การทดลองที่ 11
ความหนืด

จุดประสงค์การเรียนรู้

หาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดได้

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันหล่อลื่น
2. กระบอกแก้ว
3. วัตถุทรงกลมที่มีความหนาแน่นและขนาดต่าง ๆ กัน
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ไม้บรรทัด

ทฤษฎี

เนื่องจากในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น สีทา และอื่น ๆ จะได้ผลดี หรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติประการหนึ่งคือ ความหนืดของสารเหล่านี้ด้วย ดังนั้นการวัดค่านี้ของสารให้ถูกต้องจึงมีความสำคัญ ซึ่งจะวัดค่าที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของความหนืด และมีวิธีวัดได้หลายแบบ โดยทั่วไปความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความกดดันและความเข้มข้นจะทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้ แต่สำหรับก๊าซทั้งหลายกลับจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในที่นี้จะกล่าวถึงความหนืดของของเหลวโดยเฉพาะ ดังนี้

ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านไปในของเหลวจะเกิดแรงต้านทานกระทำต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ จึงมีแรงกระทำต่อวัตถุในกรณีนี้ 3 ประการ คือ

1. แรงโน้มถ่วงของโลก
2. แรงพยุงขึ้นในของเหลว
3. แรงต้านทานเนื่องจากความหนืดของของเหลว

โดยปรากฏว่าในตอนเริ่มแรกวัตถุจะเคลื่อนที่ในของเหลวด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้นทุกขณะ จนในที่สุดอัตราเร็วจะคงที่

สำหรับวัตถุทรงกลมที่มีรัศมี r เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ v ในของเหลวที่มีสัมประสิทธิ์ความหนืด η จะเป็นไปตามกฎของสโตก ดังนี้แรงต้านทานเนื่องจากความหนืดของของเหลว $= 6\pi\eta r v$

ดังนั้น เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีทิศทางลง แต่แรงพยุงขึ้นในของเหลวและแรงต้านทานเนื่องจากความหนืดของของเหลวมีทิศทางขึ้น จึงได้ว่า

$$mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g + 6\pi\eta r v \qquad \text{.....(11.1)}$$

เมื่อ m = มวลของวัตถุ

g = อัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

ถ้าวัตถุมีความหนาแน่น = d จะได้

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 d \qquad \text{.....(11.2)}$$

โดยการแทนค่าสมการ (14.2) ลงใน (14.1) จะได้

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2 g (d-\rho)}{v} \qquad \text{.....(11.3)}$$

ในระบบเมตริก η มีหน่วยเป็น ไดน์-วินาที/ซ.ม.^{2} หรือ กรัม/ซ.ม.-วินาที หรือ "ปัวส์" ซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่นายแพทย์ยีน ปัวเซย์ (พ.ศ. 2342-2412) ผู้ที่ได้ค้นคว้าการไหลผ่านหลอดรูเล็กด้วยเหตุที่เขาสนใจในการไหลของโลหิตภายในร่างกาย หน่วยของ η จึงหมายถึงแรงที่กระทำเพื่อให้แผ่นระนาบสองแผ่นซึ่งขนานกัน โดยที่ต่างก็มีพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ให้เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง 1 ซ.ม. ด้วยอัตราเร็ว 1 ซ.ม./วินาที โดยที่แผ่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 1 ซ.ม. เพราะมีของเหลวบรรจุอยู่ระหว่างแผ่นทั้งสอง

ปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดสำหรับน้ำอ้อย น้ำ และอากาศ จะเป็นดังนี้ 2,000, 0.01 และ 0.00018 ปัวส์ ตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด สำหรับของไหลบางชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 11.1

วิธีทำ

1. นำของเหลวที่ต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดมาบรรจุลงในกระบอกแก้วจนเต็มและถ้าเป็นของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนาแน่นต้องหาความหนาแน่นเสียก่อน

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

3. นำวัตถุทรงกลมที่มีความหนาแน่นต่าง ๆ ที่ทราบค่าและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง แล้วมาหย่อนลงไปในของเหลวข้างต้นโดยเริ่มจากผิวหน้าของเหลวลงไปตรงกลางกระบอก

4. จับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุขณะที่ผ่านช่วงซึ่งวัตถุมีอัตราเร็วคงที่โดยจะสังเกตได้จากการที่วัตถุเคลื่อนที่ต่ำจากผิวของเหลวเล็กน้อย

5. ทำการทดลองจับเวลา 3 ครั้ง และหาอัตราเร็วเฉลี่ย

6. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวโดยการแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (14.3) สำหรับการทดลองใช้วัตถุต่าง ๆ 3 ชนิดด้วยกัน

7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (รัศมี)^2 กับอัตราเร็วของวัตถุทรงกลมชนิดเดียวกันที่มีขนาดต่าง ๆ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ในของเหลวเดียวกันนั้น

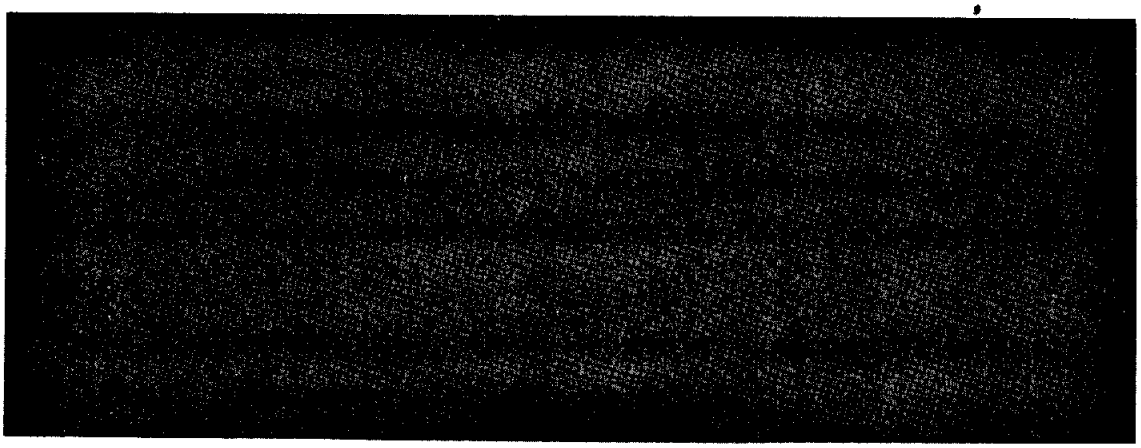
8. หาค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดของของเหลวจากกราฟในข้อ 7. ดังนี้

จากสมการ (14.3), η = ความชัน×ค่าคงที่

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

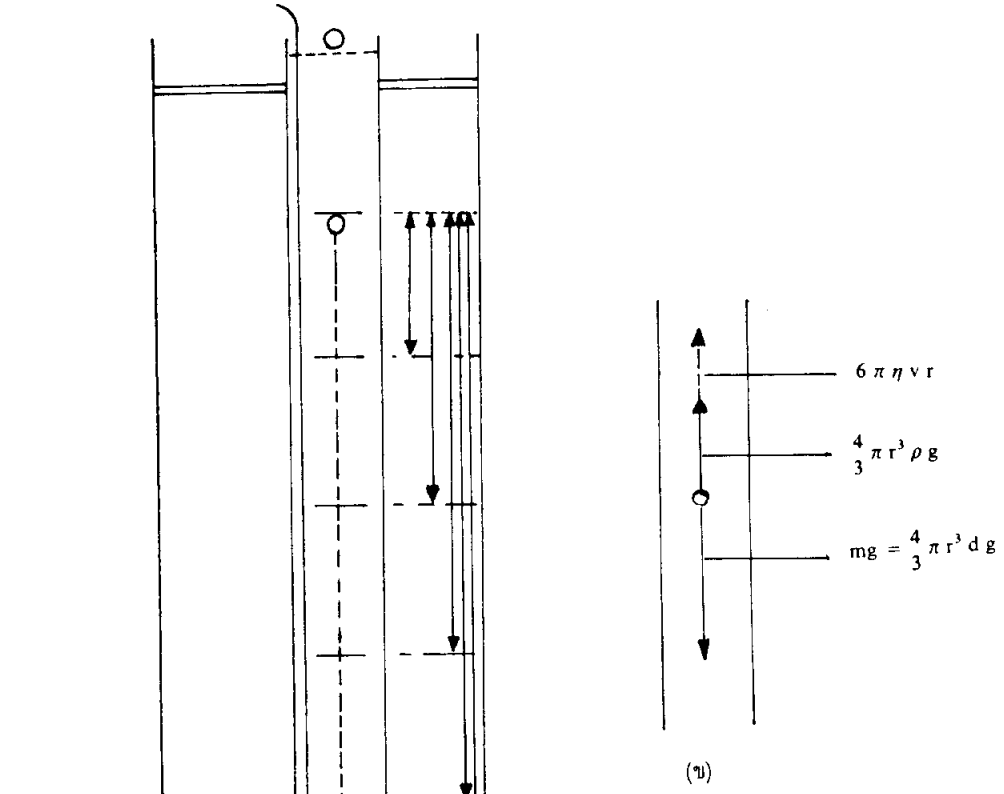
สรุปประเด็นสำคัญ

โดยธรรมชาติสำหรับของเหลวและก๊าซซึ่งต่างมีความหนืด ทำให้เกิดแรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวและก๊าซ การวัดความหนืดจะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ความหนืด ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยตามความหนืดของสารที่มีมากหรือน้อยด้วย



ตารางที่ 11.1 สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหลบางชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

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	$\approx 4 \times 10^{-2}$
พลาสมาของเลือด	37	$\approx 1.5 \times 10^{-2}$
เอทิลแอลกอฮอล์	20	1.2×10^{-2}
น้ำมันเครื่อง (เอสเออี 10)	30	200×10^{-2}
กลีเซอรีน	20	1500×10^{-2}


ตะแกรงสำหรับ
ตักวัตถุขึ้น
(ก)
$6\pi\eta v r$
$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$
$mg = \frac{4}{3}\pi r^3 d g$
(ข)

รูปที่ 11.1

แบบทดสอบการทดลองที่ 11

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. ของความหนืดหรือ "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. กระบอกบรรจุของเหลวชนิดใดชนิดหนึ่ง 2. วัตถุทรงกลมชนิดต่าง ๆ หลาย ๆ 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. ความชันของกราฟระหว่าง (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

เรื่องความหนืด

ผู้รายงาน ชื่อ.....เลขรหัส.....

ผู้ร่วมงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....

2. ....

3. ....

4. ....

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

ตอนที่ 1 หาความหนาแน่นของเหลวโดยใช้ขวด ถ.พ.

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

ตอนที่ 2 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

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2 g (d-\rho)}{v}$$ กรัม/ซ.ม.-วินาที หรือปัวส์

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

ตัวอย่างการคำนวณ สำหรับวัตถุขนาด _____

ความหนืดของเหลว = _____

= _____

ตอนที่ 4 หาความหนืดของเหลวโดยกราฟ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (รัศมี)^2 กับอัตราเร็ว

(สำหรับวัตถุทรงกลมชนิดเดียวกันที่มีขนาดต่าง ๆ)

(เนื้อที่นี้สำหรับปิดกระดาษกราฟ)

ความชันของกราฟ = _____

ความหนาแน่นของวัตถุ = _____

ความหนาแน่นของเหลว = _____

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

ความหนืดของเหลว = ความชัน×ค่าคงที่

= _____

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์