



ความหนืดและความตึงผิวของน้ำเกลือ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาระสีของรูเข็มฉีดยาแบบปลายตัด
2. เพื่อหาความหนืดของน้ำเกลือ
3. เพื่อหาความตึงผิวของน้ำเกลือ

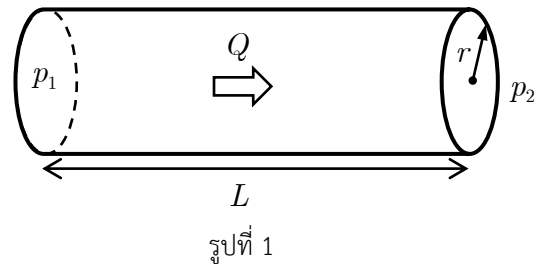
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อัตราการไหลของของไหลที่มีความหนืด

ของไหลที่ไหลภายในท่อผ่านบริเวณที่มีพื้นที่หน้าตัด A ถ้า ณ บริเวณนั้นของไหลมีอัตราเร็วเฉลี่ยเป็น u อัตราการไหล (Volume flow rate) จะมีค่าเป็น $Q = uA$ ในหน่วย m^3/s โดยที่อัตราการไหลมีค่าคงตัวที่ทุกตำแหน่งภายในท่อปิด

ของไหลที่มีความหนืด η เมื่อไหลผ่านท่อที่ยาว L พื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอรัศมี r ดังรูปที่ 1 จะมีอัตราการไหลเป็น

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta L} \quad (1)$$



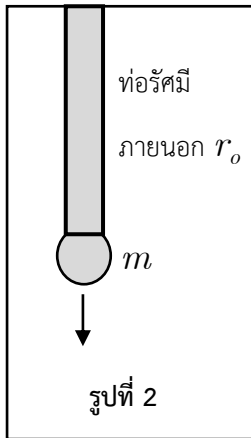
เมื่อ $\Delta p = p_1 - p_2$ คือผลต่างความดันของของไหลระหว่างปลายสองด้านของท่อยาว L นั้น โดยสมการนี้เรียกว่า Poiseuille's law ค้นพบโดย Jean Louis Poiseuille (ค.ศ. 1799–1869)

ถ้าจัดรูปสมการ (1) ใหม่ จะได้ $Q = \frac{\Delta p}{\frac{8\eta L}{\pi r^4}}$ ที่มีรูปแบบคล้ายๆ สมการกระแสไฟฟ้า $I = \frac{\Delta V}{R}$ ที่ผ่านตัวต้านทาน R เมื่อ ΔV คือความต่างศักย์ระหว่างปลายสองด้านของตัวต้านทาน เมื่อเปรียบเทียบกับ พจน์ $\frac{8\eta L}{\pi r^4}$ จึงเสมือนกับเป็น “ความต้านทานการไหลของท่อ” ดังนั้น ถ้านำท่อที่ต่างกันจำนวนสองท่อมาต่ออนุกรมกัน อัตราการไหลของของไหลผ่านท่อทั้งสองก็จะคล้ายกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานสองตัวที่ต่อกันแบบอนุกรม $I = \frac{\Delta V}{R_1 + R_2}$ สมการแสดงอัตราการไหลของของไหลผ่านท่อสองอันที่ต่ออนุกรมกันจึงเขียนได้ดังนี้

$$Q = \frac{\Delta p}{\frac{8\eta_c L_1}{\pi(r_1)^4} + \frac{8\eta_c L_2}{\pi(r_2)^4}} \quad (2)$$

เมื่อ η_c เป็นความหนืดที่คำนึงการไหลในท่ออนุกรม ในการทดลองนี้ จะปล่อยให้ให้น้ำเกลือไหลผ่านสายน้ำเกลือลงมาแล้วออกสู่อากาศที่ปลายเข็มฉีดยาแบบปลายตัด โดยตอนแรกให้คิดเฉพาะการไหลผ่านเข็ม (ท่อเดียว) เท่านั้นก่อน เพื่อหาค่าความหนืดของน้ำเกลือ จากนั้นลองวิเคราะห์ว่าถ้าคำนึงถึงสายน้ำเกลือและเข็มฉีดยาด้วย (ท่อสองอันต่ออนุกรมกัน) ค่าความหนืดของน้ำเกลือจะเป็นเท่าไร

ความตึงผิว

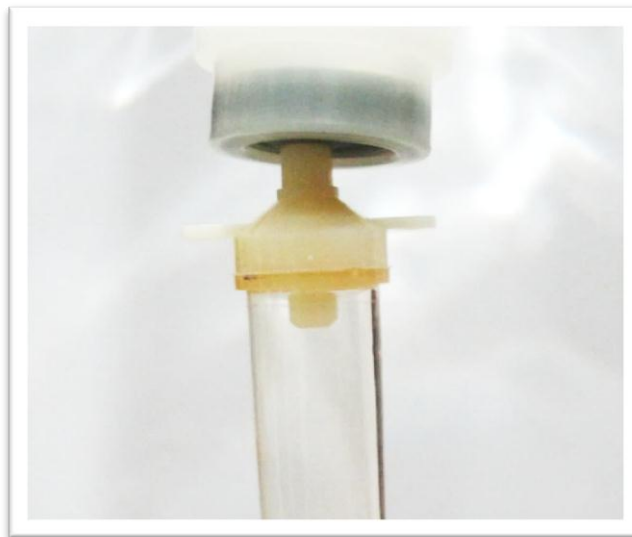


วิธีการหนึ่งที่สามารถหาค่าความตึงผิว γ ของของเหลวได้คือ การหามวล m ของหยดของเหลวที่ค่อยๆ หลุดออกจากปลายท่อแนวตั้ง ดังแสดงรูปที่ 2 ถ้าใช้เข็มปลายตัดที่มีให้ในการทดลองนี้ มาตั้งให้ตรงในแนวตั้ง แล้วค่อยๆ ปลดให้น้ำเกลือหยดออกมาจากปลายเข็มอย่างช้าๆ พบว่า น้ำหนักของหยดน้ำเกลือหนึ่งหยดขึ้นกับรัศมีภายนอกของเข็ม r_o และความตึงผิวของน้ำเกลือ ดังนี้

$$mg = 1.4(\pi r_o)\gamma \quad (3)$$

อุปกรณ์

- ชุดถุงน้ำเกลือพร้อมน้ำเกลือปริมาตร 1 ลิตร กำหนดให้ น้ำเกลือมีความหนาแน่นเป็น $\rho = 1.03 \text{ g/cm}^3$
- คำแนะนำ:
- 1) ถุงน้ำเกลือถูกเจาะรูไว้ ทำให้อากาศในถุงเหนือผิวน้ำเกลือมีความดันเท่ากับบรรยากาศด้านนอกถุง
 - 2) กระเปาะที่อยู่ด้านล่างถุงน้ำเกลือต้องมีน้ำเกลืออยู่เกือบเต็มกระเปาะตลอดเวลาที่ทำการทดลอง (ดูรูปที่ 3) นั่นคือ จะต้องไม่มีน้ำเกลือค่อยๆ หยดลงไปในกระเปาะให้เห็น หากมีปัญหา ให้ยกมือเรียกกรรมการ
 - 3) **!!! สำคัญ !!!** น้ำเกลือมีจำนวนจำกัด ไม่สามารถขอเพิ่มได้ ควรเปิดให้น้ำเกลือไหลเฉพาะช่วงที่ทำการวัดเท่านั้น



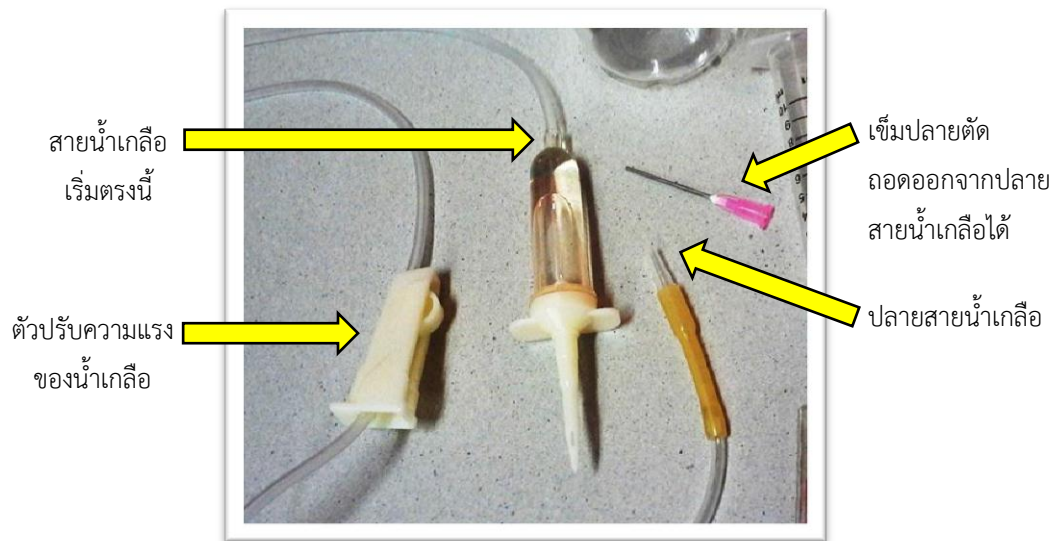
รูปที่ 3: กระเปาะด้านล่างถุงน้ำเกลือ ผิวหน้าในกระเปาะต้องสัมผัสกับท่อเล็กๆ ตลอดเวลา
 (ต้องไม่มีน้ำหยดออกจากท่อเล็กๆ ลงมาในกระเปาะให้เห็น)

- สายน้ำเกลือ (ท่ออ่อน) รัศมีภายใน $R = 1.1 \text{ mm}$ ต่อจากกระเปาะเข้ากับเข็มฉีดยา

คำแนะนำ:

- 1) ความยาวของสายน้ำเกลือ เริ่มต้นจากใต้กระเปาะ จนถึงปลายอีกด้านหนึ่ง (ดูรูปที่ 4)
- 2) บนสายนี้มีตัวปรับความแรงของน้ำติดอยู่ (ดูรูปที่ 4) ใช้สำหรับเปิด-ปิดน้ำและปรับความแรงของน้ำ

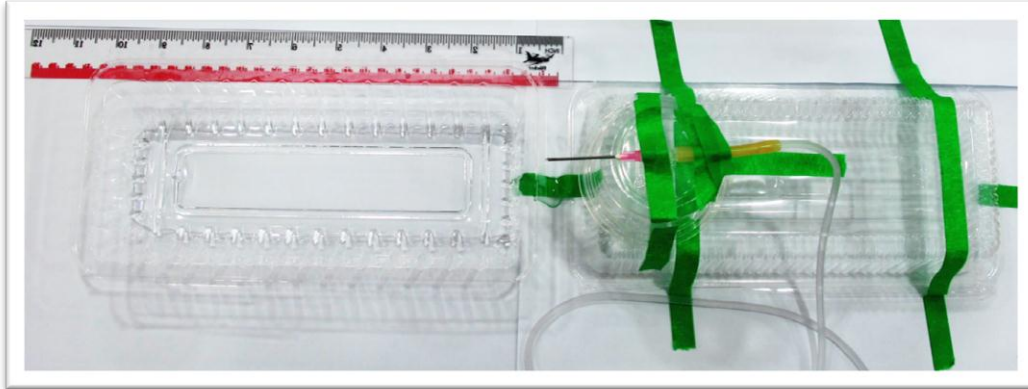
!!! สำคัญ !!! สำหรับการทดลองในตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ให้หมุนตัวปรับความแรงของน้ำไปให้สุด คือเปิดให้น้ำเกลือไหลได้เต็มที่ที่สุด ส่วนในตอนที่ 3 ค่อยๆ หมุนตัวปรับจนมีน้ำเกลือค่อยๆ หยดออกจากปลายเข็ม



รูปที่ 4: ชุดสายน้ำเกลือและเข็มปลายตัด

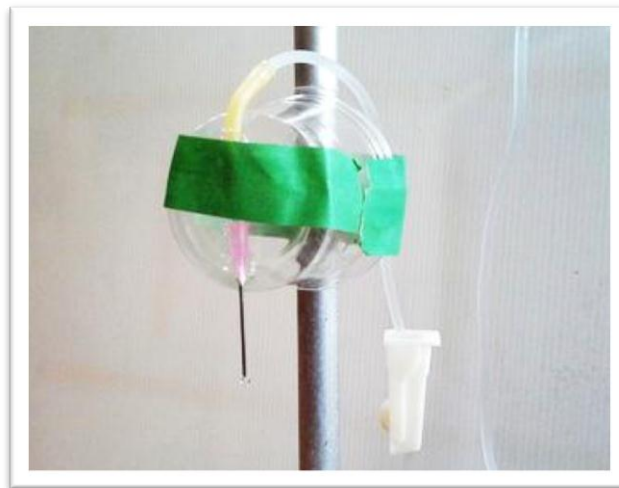
- เข็มฉีดยาแบบปลายตัด ยาว $\ell = 4.0 \text{ cm}$
- เสาค้ำสำหรับแขวนถุงน้ำเกลือ สามารถปรับระดับความสูงของการแขวนได้
คำแนะนำ: ไม่ควรจัดให้ระดับผิวหน้าในถุงน้ำเกลือสูงจากปลายเข็มเกิน 70 cm เนื่องจากจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนมากเกินไป
- กระบอกฉีดยาขนาด 10 ml จำนวน 2 อัน และ กระบอกฉีดยาขนาด 3 ml จำนวน 1 อัน
คำแนะนำ: ถ้าต้องการใช้กระบอกฉีดยาอันใดสำหรับตวงปริมาตรน้ำเกลือ ให้ตั้งก้านสูบออก แล้วใช้เทปขาวพันปลายล่าง (ปลายที่มีท่อเล็กยื่นออกมา) ตามด้วยดินน้ำมันเพื่ออุดไว้ ไม่ให้น้ำไหลออกมา
!!! ระวัง !!! ขีดศูนย์ของกระบอกฉีดยาไม่ได้ตรงกับปลายล่างสุดของกระบอกฉีดยา
- นาฬิกาจับเวลา
- ไม้บรรทัดขนาด 30 cm
- สายวัด (ระมัดระวังในการอ่านตัวเลขบนสายวัด เนื่องจากตัวเลขไม่ได้อยู่ตรงกับขีดสเกล ศึกษาการอ่านก่อนใช้)
- ถ้วยน้ำพลาสติกใสขนาดเล็ก คว่ำลงเพื่อใช้ทำเป็นแท่นสำหรับยึดเข็ม (ดูรูปที่ 5)
- ถาดพลาสติกใส 2 อัน อันหนึ่งสำหรับรองรับน้ำ อีกอันหนึ่งใช้เป็นแท่นสำหรับวางถ้วยพลาสติกที่ใช้ยึดเข็ม (ดูรูปที่ 5)

- ถ้วยน้ำพลาสติกขนาดใหญ่สำหรับเหน้าเกลือทิ้ง (ถ้าไม่พอ ให้ยกมือเรียกกรรมการ)
- อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ กระดาษชำระ เทปกาว ดินน้ำมัน



รูปที่ 5: ตัวอย่างการจัดชุดอุปกรณ์ สำหรับการทดลองตอนที่ 1 และ 2

จัดให้เข็มวางตัวอยู่ในแนวขนานกับโต๊ะ ใช้เทปกาวยึดเข็มไว้บนถ้วยน้ำพลาสติกขนาดเล็กและยึดถ้วยน้ำไว้กับภาตพลาสติกใสที่คว่ำอยู่อีกต่อหนึ่ง ส่วนภาตพลาสติกใสอีกอันใช้รองรับน้ำที่พุ่งออกมาจากเข็ม



รูปที่ 6: ตัวอย่างการจัดชุดอุปกรณ์ สำหรับการทดลองตอนที่ 3

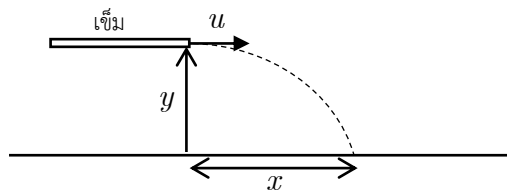
จัดให้เข็มวางตัวอยู่ในแนวตั้ง ยึดถ้วยน้ำไว้กับเสาด้วยเทปกาว

การทดลอง (มีทั้งหมด 3 ตอน รวม 20 คะแนน)

ในการทดลองต่อไปนี้ให้ใช้ค่าอัตราเร่งโน้มถ่วง $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

ตอนที่ 1 การหาค่ารัศมีของรูเข็มฉีดยา [7.8 คะแนน]

- 1.1 ถ้าประมาณว่าน้ำที่พุ่งออกมาจากเข็มเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ จงเขียนสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเกลียว Q ที่ออกจากปลายเข็ม กับความสูงของปลายเข็มเหนือพื้น y , ระยะตก x ของลำน้ำ และรัศมีของรูเข็ม r (เขียนสมการลงในกระดาษสรุปคำตอบด้วย) [1.5 คะแนน]



- 1.2 จากสมการที่ได้ในข้อ 1.1 จงออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาค่ารัศมีของรูเข็มฉีดยา โดยใช้วิธีการเขียนกราฟเส้นตรง

คำสั่ง: ให้เขียนบรรยายวิธีทดลองโดยอาจวาดภาพประกอบ บันทึกผลการวัด เขียนกราฟเส้นตรง แสดงการวิเคราะห์ผล และรายงานผลพร้อมค่าคลาดเคลื่อนในหน่วย mm (เขียนรายงานผลลงในกระดาษสรุปคำตอบด้วย) [6.3 คะแนน]

ตอนที่ 2 การหาความหนืดของน้ำเกลียว [8.8 คะแนน]

เนื่องจากของไหลในการทดลองเป็นของไหลที่มีความหนืด ไม่สามารถใช้สมการของ Bernoulli ในการวิเคราะห์ได้

ให้ใช้ $\Delta p = \rho g H$ เมื่อ H คือความสูงจากปลายเข็มถึงผิวน้ำในถุงน้ำเกลียว

- 2.1 ถ้าคำนึงถึงการไหลของน้ำเกลียวผ่านเข็มอย่างเดียว จงใช้สมการที่ (1) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเกลียว Q , รัศมีของรูเข็ม r , ความยาวของเข็ม ℓ , ความสูงของผิวน้ำในถุงน้ำเกลียววัดจากพื้น h , ความสูงของเข็มวัดจากพื้น y , ความหนาแน่นของน้ำเกลียว ρ , และความหนืดของน้ำเกลียว η (เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ลงในกระดาษสรุปคำตอบด้วย) [0.5 คะแนน]

- 2.2 จากความสัมพันธ์ที่ได้ในข้อ 2.1 จงออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาความหนืดของน้ำเกลียว โดยใช้วิธีการเขียนกราฟเส้นตรง [6.3 คะแนน]

คำสั่ง: ให้เขียนบรรยายวิธีทดลองโดยอาจวาดภาพประกอบ บันทึกผลการวัด เขียนกราฟเส้นตรง แสดงการวิเคราะห์ผล และรายงานผลพร้อมค่าคลาดเคลื่อนในหน่วย Pa·s (เขียนรายงานผลลงในกระดาษสรุปคำตอบด้วย)



- 2.3 ถ้าคำนึงถึงการไหลของน้ำเกลียวผ่านท่อสองอันที่ต่อเนื่องกัน นั่นคือ คำนึงถึงการไหลของน้ำเกลียวผ่านสายน้ำเกลียวรัศมีภายใน $R = 1.1 \text{ mm}$, ความยาว L ก่อนไหลต่อไปยังเข็ม จะได้ค่าความหนืดของน้ำเกลียว η_c เป็นเท่าใด โดยไม่ต้องวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อน (เขียนรายงานผลลงในกระดาษสรุปคำตอบด้วย) [2 คะแนน]

ตอนที่ 3 การหาความตึงผิวของน้ำเกลียว [3.4 คะแนน]

จงออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาค่าความตึงผิวของน้ำเกลียว

คำสั่ง: ให้เขียนบรรยายวิธีทดลองโดยอาจวาดภาพประกอบ บันทึกผลการวัด แสดงการวิเคราะห์ผล และรายงานผล พร้อมค่าคลาดเคลื่อน (เขียนรายงานผลลงในกระดาษสรุปคำตอบด้วย)

กำหนดให้: ความหนาของผนังเข็มเท่ากับ 0.220 mm

คำแนะนำ: ค่อยๆ หมุนตัวปรับความแรงของน้ำ จนมีน้ำเกลียวค่อยๆ หยดออกมาจากปลายเข็ม
