

# การทดลองที่ 11

## เรื่อง หลอดเรโซแนนซ์

### จุดประสงค์การเรียนรู้

1. หาคความเร็วของเสียงในอากาศ
2. หาคความยาวคลื่นในหลอดเรโซแนนซ์
3. หา End correction ของหลอดเรโซแนนซ์
4. เพิ่มทักษะในการใช้เครื่องมือ

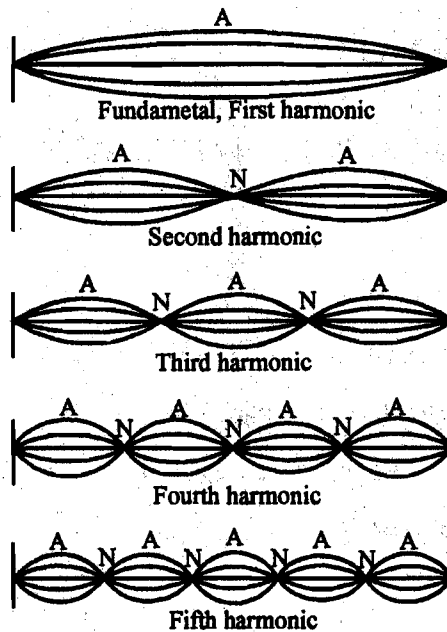
### เครื่องใช้ในการทดลอง

1. หลอดเรโซแนนซ์พร้อมทั้งกระป๋องน้ำ
2. ส้อมเสียงความถี่ต่างๆ 5 อัน และข้อนยาง
3. เทอร์มอมิเตอร์

### ทฤษฎี

#### คลื่นนิ่ง (standing wave)

กรณีเชือกตึงระหว่างจุดตรึงสองด้าน จากนั้นสลับให้เชือกสั่นผลคือเกิดคลื่นเคลื่อนไปตามเส้นเชือกและเมื่อถึงตำแหน่งปลายสุดก็จะเคลื่อนย้อนกลับมาในแนวเส้นเชือกเดิมนั่นเอง ดังนั้นคลื่นต่างๆ ที่วิ่งสวนทิศกันจึงมีโอกาสรวมกันตามกฎการรวมกันได้ของคลื่นซึ่งมีทั้งการเสริมและหักล้างกัน ที่ความยาวของเส้นเชือกที่เหมาะสมค่าหนึ่ง จะเกิดการรวมกันของคลื่นดังรูปที่ 11.1 ตำแหน่งที่คลื่นหักล้างกันจนเป็นศูนย์เรียกว่าบัพ (node) และตำแหน่งที่คลื่นรวมตัวกันเป็นค่าสูงสุดเรียกว่าปฏิบัพ (antinode) ภาพที่มองเห็นทั่วไปจะเปรียบเทียบเสมือนคลื่นนิ่ง จึงเรียกคลื่นที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของคลื่นทั้งสองขบวนว่า คลื่นนิ่ง และปฏิบัพจะมีระยะห่างจากบัพเป็น  $1/4\lambda$  โดย  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น



รูป 11.1 แสดงคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

คลื่นนิ่งที่เคลื่อนที่ในทิศทาง  $+x$  และ  $-x$  จะมีสมการเป็น

$$y_1 = A \sin(kx + \omega t)$$

$$y_2 = A \sin(kx - \omega t)$$

คลื่นรวมคือ

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = [2A \cos \omega t] \sin kx \quad (11.1)$$

ในสมการ (11.1) เป็นสมการคลื่นนิ่ง และพจน์ในวงเล็บเป็นค่าแอมพลิจูดของคลื่นแปรตามเวลา ถ้าข้อพิจารณาอยู่ที่ 11.1 โดยสมมติว่าเชือกยาว  $L$  และ  $\lambda$  ตามค่า  $n$

$$n=1, \quad L = \lambda/2$$

$$n=2, \quad L = 2(\lambda/2)$$

$$n=3, \quad L = 3(\lambda/2)$$

สรุปได้ว่า  $2L = n\lambda$  โดย  $n = 1, 2, 3, \dots$  (11.2)

พารามิเตอร์ที่น่าสนใจคือความเร็วของเสียง  $v$  ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น

$$v = f\lambda \quad (11.3)$$

โดย  $f$  เป็นความถี่ของคลื่นเสียงในตัวกลางที่กำหนด มีค่าเป็น

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \quad (11.4)$$

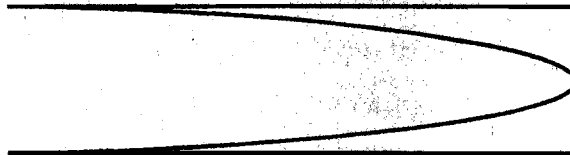
$$f_n = \frac{nv}{2} \quad (11.5)$$

การเรียกชื่อความถี่ มักกำหนดโดยพิจารณาค่า  $n$  คือ ถ้า  $n = 1$  มักเรียกเป็นความถี่หลัก  
มูล หรือความถี่พื้นฐาน(fundamental frequency) หรือเรียกเป็นฮาร์โมนิกที่ 1 (first harmonic)

ถ้า  $n = 2$  เรียกเป็น โอเวอร์ โทนที่ 1 (first overtone) หรือฮาร์โมนิกที่ 2 (second harmonic)

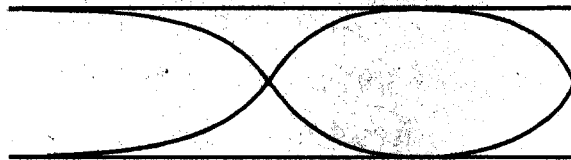
ถ้า  $n = 3$  เรียกเป็น โอเวอร์ โทนที่ 2 (second overtone) หรือฮาร์โมนิกที่ 3 (third harmonic)

คลื่นนิ่งในท่อปลายปิดข้างเดียว ปลายที่ปิดจะเป็นบัพ ส่วนปลายด้านเปิดจะเป็นปฏิบัพ  
ของคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 11.2



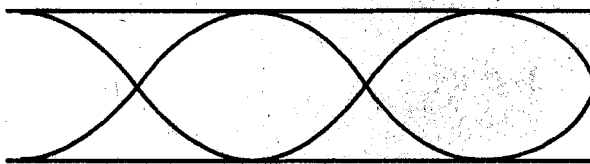
$$\lambda_1 = 4L$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}$$



$$\lambda_2 = \frac{4}{3}L$$

$$f_2 = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$



$$\lambda_3 = \frac{4}{5}L$$

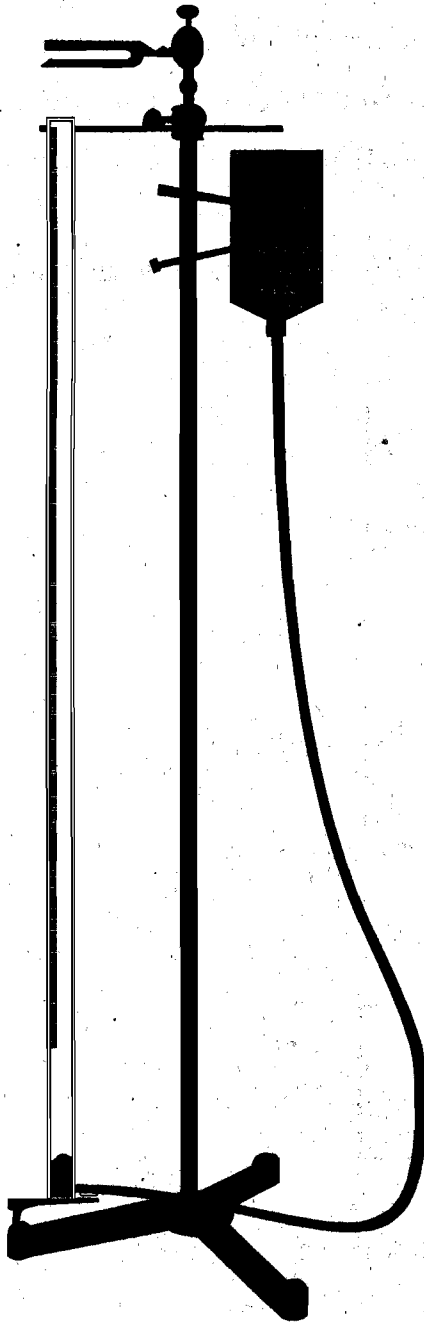
$$f_3 = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

รูปที่ 11.2 คลื่นนิ่งในท่อปลายปิดข้างเดียว

ในการทำงานเดียวกับคลื่นในเส้นเชือก ในแต่ละกรณีให้ท่อมีความยาวเป็น  $L$  และจากรูป 11.2 เขียนเป็นความสัมพันธ์ โดยเรียงลำดับจากความถี่พื้นฐานคือ  $f_1$  ซึ่งสุดท้ายเขียนเป็นความสัมพันธ์ในรูปทั่วไปคือ

$$f_n = \frac{nv}{4L} ; n = 1, 2, 3, \dots \quad (11.6)$$

สังเกตว่า  $n$  มีค่าเป็นเลขคี่เท่านั้น

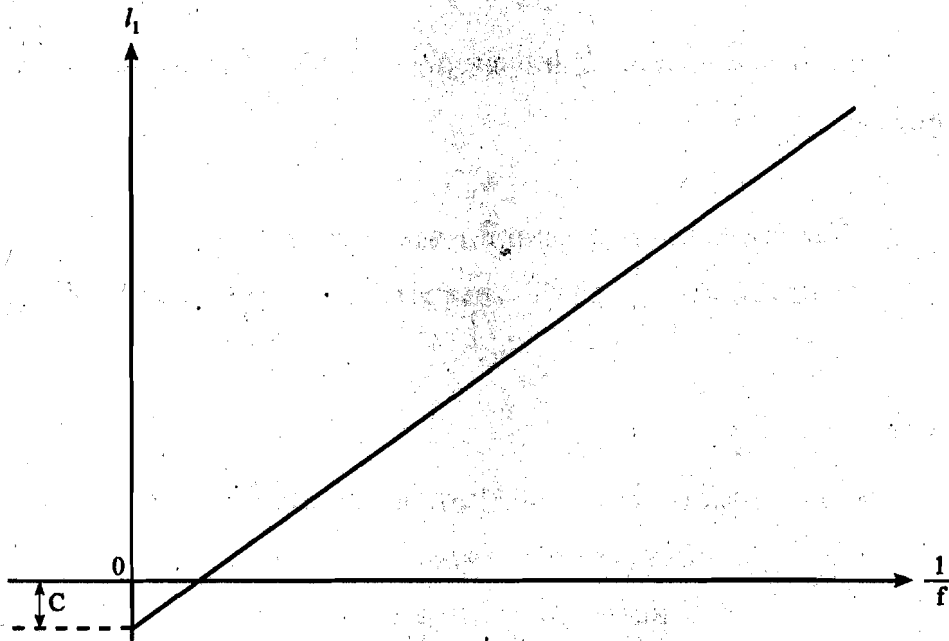


ในห้องปฏิบัติการ ชุดการทดลองแสดงในรูปที่ 11.3 ซึ่งกระป๋องน้ำด้านขวาสามารถเลื่อน ขึ้นลงได้ ผลคือระดับน้ำในหลอดในด้านซ้ายจะแปรค่าตามการเลื่อนกระป๋องดังกล่าวเมื่อเคาะส้อมเสียงซึ่งจัดให้มีสันตำแหน่งไว้เหนือปากหลอดแก้ว การสั่นของส้อมเสียงจะทำให้อากาศโดยรอบนั้นสั่นไปด้วย ถ้าความถี่ของส้อมเสียงเท่ากับความถี่ของลึ่อากาศภายในหลอดแก้วนั้นมีการสั่นเท่ากับการสั่นของส้อมเสียง เราพูดได้ว่าลึ่อากาศภายในหลอดแก้วนั้นเกิดกำทอน (resonance) ซึ่งเกิดเพื่อลึ่อากาศมีความยาวเฉพาะค่าหนึ่งเท่านั้นถ้าความยาวแปรค่า (โดยการเลื่อนกระป๋องน้ำขึ้นไปจากตำแหน่งดังกล่าว) เสียงที่เกิดขึ้นจะแผ่วลงไปเรื่อยๆ ถ้าให้  $L_1$  เป็นความยาวของท้ออากาศ เมื่อเกิดกำทอนครั้งแรก จึงเขียนความสัมพันธ์เป็น

$$L_1 = \frac{\lambda}{4}$$

รูปที่ 11.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

แต่จากการพล็อตกราฟโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองจะได้กราฟเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิด  
 ดังแสดงในรูปที่ 11.4 ซึ่งที่ค่า  $\frac{1}{f}$  เป็นค่าน้อยๆ จนถึงว่าเป็นศูนย์นั้น  $L_1$  ไม่เป็นศูนย์แต่เป็นค่าติด  
 ลบสมมติให้เป็น  $c$



รูป 11.4

สรุปได้ว่า ตำแหน่งที่เกิดขึ้นครั้งแรกต้องมีค่าน้อยกว่า  $L_1$  นั่นเอง ดังนั้นต้องเขียน  
 ความสัมพันธ์เป็น

$$L_1 + c = \lambda/4 \quad (11.7)$$

กล่าวได้ว่า  $c$  เป็นค่าของระยะที่คลาดเคลื่อนจากปากหลอดแก้ว (end correction) ของตำแหน่งที่  
 เกิดก้ำทอนของคลื่นนั่นเอง

ถ้าเพิ่มความยาวของลำอากาศในหลอดแก้ว (โดยเลื่อนระดับน้ำลง) จะเกิดเรโซแนนซ์ครั้ง  
 ที่สองให้ตำแหน่งดังกล่าวมีค่าเป็น  $L_2$  ดังนั้น

$$L_2 + c = 3/4\lambda \quad (11.8)$$

$$L_2 - L_1 = \lambda/2$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \lambda = 2(L_2 - L_1) = 2d \quad (11.9)$$

ถ้า  $f =$  ความถี่ของส้อมเสียงซึ่งเท่ากับความถี่ของคลื่นภายในหลอดแก้วขณะเกิดเรโซแนนซ์  
 $v =$  ความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ

จาก  $v = f\lambda$   
 ดังนั้น  $v = 2fd$  (11.10)

ความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศที่อุณหภูมิห้อง หาได้จากความสัมพันธ์โดยประมาณกับ อุณหภูมิห้องตามสมการ

$$v_t = v_0 + 0.6t$$

โดย  $v_t$  เป็นความเร็วของเสียง ณ อุณหภูมิ  $t$  องศาเซลเซียส

$v_0$  เป็นความเร็วเสียง ณ อุณหภูมิ  $0$  องศาเซลเซียส = 331.50 เมตร/วินาที

### วิธีทดลอง

1. บันทึกค่าของ - ความถี่ของส้อมเสียงที่ใช้ในการทดลองแต่ละค่า
  - อุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง
  - วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในหลอดแก้ว
2. ปฏิบัติ
  - เติมน้ำลงในกระป๋องให้ระดับน้ำขึ้นถึงปากหลอดแก้ว
  - เคาะส้อมเสียงอันที่มีความถี่สูงสุดก่อนด้วยพียงข้างให้สั้นแล้วนำไปไว้เหนือปากหลอดแก้วห่างประมาณ 3 - 5 เซนติเมตร
  - ขณะเดียวกันค่อยๆ เลื่อนกระป๋องลงจนเกิดเสียงดังที่สุด (resonance) วัดค่าดังกล่าวเป็น  $L_1$  (จากระยะปากหลอดปลายเปิดถึงระดับน้ำ)
  - ขณะเดียวกันค่อยๆ เลื่อนกระป๋องลงจนเกิดเรโซแนนซ์ครั้งที่สอง วัดระยะ  $L_2$
  - หาค่าทั้งสองดังกล่าวกับทุกๆ ส้อมเสียง
3. คำนวณ
  - พล็อตกราฟระหว่าง  $L_1$  กับ  $1/f$
  - slope ของกราฟ =  $v/4$
  - ที่กราฟ  $1/f = 0$ ,  $L_1 = -c$  เรียกเป็นค่าแก้ของหลอดแก้ว (end correction)
  - หาค่า  $-c$
  - หาค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองแต่ละครั้ง

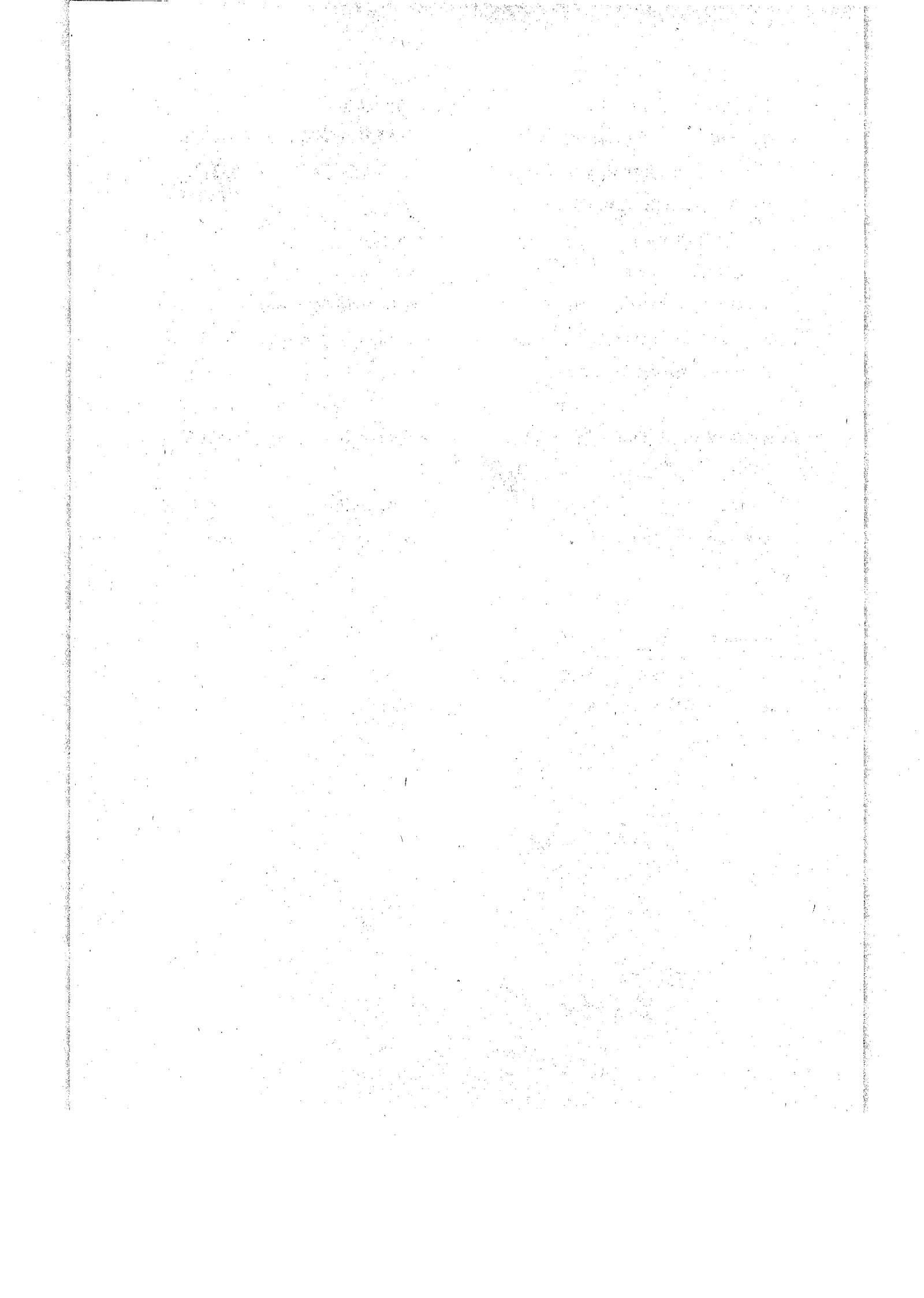
- เปรียบเทียบค่า  $v$  ที่ได้จากการทดลองกับค่าจาก  $v_t = v_0 + 0.6t$
- เปรียบเทียบค่า  $v$  ที่ได้จากกราฟของการทดลองกับค่าจาก  $v_t = v_0 + 0.6t$
- อธิบายสาเหตุของความแตกต่างของค่า  $v$  ดังกล่าว

## แบบทดสอบการทดลองที่ 11

1. หลอดเรโซแนนซ์ยาว 20 เซนติเมตร ให้เสียงที่มีความถี่ต่างๆ กันออกมาหลายค่า อยากทราบว่าคนปกติจะได้ยินเสียงจากเรโซแนนซ์นี้ในช่วงความถี่ใด ถ้าระดับความเข้มของเสียงที่แต่ละความถี่สูงพอที่หูของพวกเราจะได้ยินและช่วงความถี่ของเสียงที่หูคนปกติจะได้ยินคือ 20 – 20,000 Hz (กำหนดให้ความเร็วเสียงในอากาศ = 360 เมตรต่อวินาที)
  1. 450 – 19350 Hz
  2. 450 – 19800 Hz
  3. 900 – 18900 Hz
  4. 900 – 20000 Hz
2. จากการทดลองการสั่นพ้องของเสียง ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงมีความถี่ 4000 เฮิรตซ์ และทำการทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิ 20°C ตำแหน่งของลูกสูบที่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์ต่อเนื่องกันจะห่างกันเท่าไร
  1. 2.3 ซม.
  2. 3.3 ซม.
  3. 4.3 ซม.
  4. 5.3 ซม.
3. ถ้าขณะที่ทำการทดลองอากาศมีอุณหภูมิ 15°C ส้อมเสียง 5 อัน หนึ่งมีความถี่ 680 Hz จะต้องใช้ท่อปลายปิดสั้นที่สุดเท่าไรจึงจะทำให้เกิดการสั่นพ้องเป็นฮาร์มอนิกที่ 3
  1. 20.5 ซม.
  2. 30.7 ซม.
  3. 32.3 ซม.
  4. 37.5 ซม.
4. ในการทดลองหลอดเรโซแนนซ์โดยใช้ส้อมเสียงความถี่ 1000 Hz ปรากฏว่าเกิดเรโซแนนซ์ครั้งแรกและครั้งที่สองเมื่อระดับน้ำปลายปิดอยู่ห่างจากปลายหลอด 8.1 ซม. และ 25.3 ซม. ความยาวคลื่นจะเป็นเท่าใด
  1. 34.4 ซม.
  2. 32.4 ซม.
  3. 33.4 ซม.
  4. 36.4 ซม.
5. เมื่อเกิดเรโซแนนซ์ในหลอดแก้วหลอดหนึ่ง ถ้าเป็นอุณหภูมิ 18°C ระยะระหว่างจุดบัพที่ติดกันเท่ากับ 60 ซม. ถ้าอุณหภูมิลดลงจนเหลือ 10°C ระยะระหว่างจุดบัพที่ติดกันจะเหลือกี่เซนติเมตร โดยที่ความถี่มีค่าคงเดิม
  1. 32.7 ซม.
  2. 34.5 ซม.
  3. 59.2 ซม.
  4. 60 ซม. เท่าเดิม
6. ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 340 เมตรต่อวินาที ส้อมเสียงจะต้องสั้นด้วยความถี่เท่าใดจึงจะทำให้เกิดเรโซแนนซ์ได้เมื่อจ่อกลักระบอกดวงยาว 20 เซนติเมตร
  1. 325 Hz
  2. 425 Hz
  3. 525 Hz
  4. 625 Hz
7. ให้เลือกหลอดเรโซแนนซ์ที่สั้นที่สุด เพื่อใช้กับคลื่นที่มีความถี่ 700 Hz แล้วเกิดการสั่นพ้องได้ 3 ครั้ง ถ้ากำหนดให้ความเร็วเสียงเท่ากับ 350 เมตรต่อวินาที
  1. หลอดยาว 50 ซม.
  2. หลอดยาว 21 ซม.







## บันทึกผลการทดลอง เรื่อง หลอดเรโซแนนซ์

ผู้รายงาน ชื่อ..... เลขรหัส.....

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

2. ชื่อ..... เลขรหัส.....

3. ชื่อ..... เลขรหัส.....

4. ชื่อ..... เลขรหัส.....

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

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ \_\_\_\_\_

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

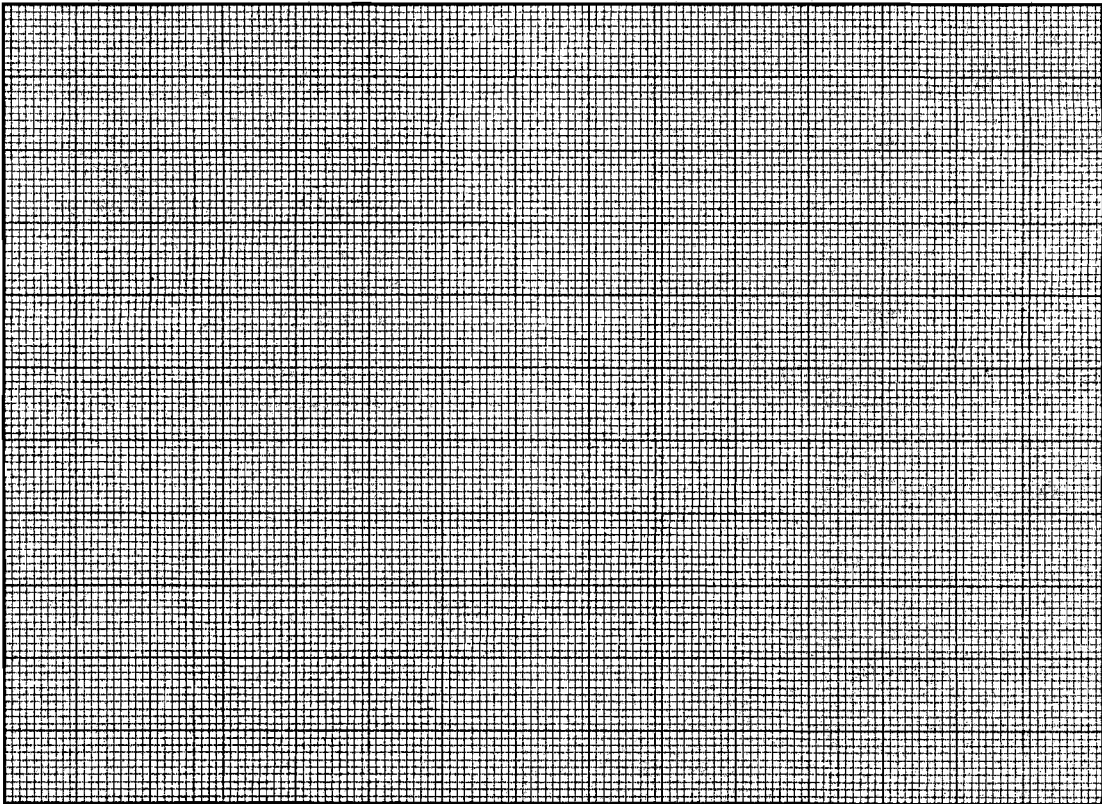
ความถี่เสียง (Hz)	L <sub>1</sub> (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L <sub>2</sub> - L <sub>1</sub> (m)	v = fλ (m/s)
ค่าเฉลี่ย				

.....

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ

การคำนวณ

.....  
 .....  
 .....



จากกราฟ

ความชัน = ..... ความเร็วเสียง = .....

C = .....

**สรุปและวิจารณ์**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....