

การทดลองที่ 10

เรื่องหลอดเรโซแนนซ์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. หาความเร็วของเสียงในอากาศ
2. หาความยาวคลื่นในหลอดเรโซแนนซ์
3. หา End correction ของหลอดเรโซแนนซ์
4. เพิ่มทักษะในการใช้เครื่องมือ

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. หลอดเรโซแนนซ์พร้อมทั้งกระป๋องน้ำ
2. ส้อมเสียงความถี่ต่างๆ 5 อัน และฆ้องยาง
3. เทอร์โมมิเตอร์

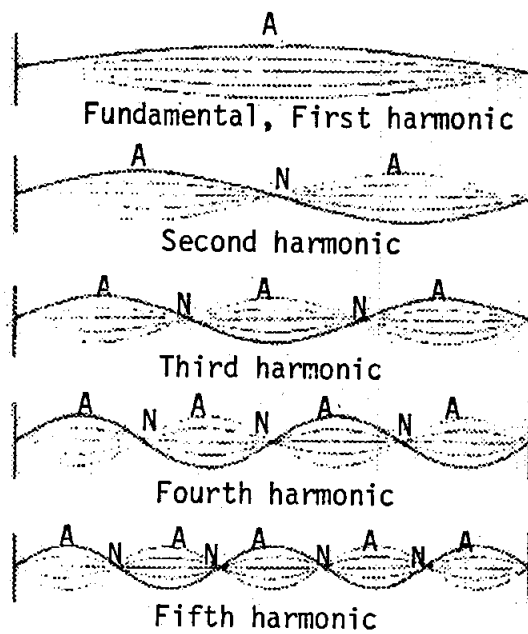
ทฤษฎี

คลื่นนิ่ง (standing wave)

กรณีซึ่งเชือกตึงระหว่างจุดตรึงสองด้าน จากนั้นกระตุ้นให้เชือกสั่น ผลคือเกิดคลื่นเคลื่อนไปตามเส้นเชือกและเมื่อถึงตำแหน่งปลายสุดก็จะเคลื่อนย้อนกลับมาในแนวเส้นเชือกเดิมนั่นเอง ดังนั้นคลื่นต่างๆ ที่วิ่งสวนทิศกันจึงมีโอกาสรวมกันตามกฎของคลื่นซึ่งมีทั้งการเสริมและหักล้างกันตามรูป 1 ตำแหน่งที่คลื่นหักล้างกันจนเป็นศูนย์เรียกว่าบัพ (node) และตำแหน่งที่คลื่นรวมตัวกันเป็นค่าสูงสุดเรียกว่าปฏิบัพ (antinode) ภาพที่มองเห็นทั่วไปจะเปรียบเทียบเสมือนคลื่นนิ่งคงรูปดังแสดงในรูป 10.1 จึงเรียกว่า **คลื่นนิ่ง** และปฏิบัพจะมีระยะห่างจากบัพเป็น $1/4 \lambda$ โดย λ เป็นความยาวคลื่น



ภาพแสดงการใช้อุปกรณ์ในการทดลองที่ 10



รูป 10.1 แสดงคลื่นนิ่งในเส้นเชือกซึ่งตรึงปลายทั้งสองข้าง

คลื่นหนึ่งที่เคลื่อนที่ในทิศทาง $+x$ และ $-x$ จะมีสมการเป็น

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

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

คลื่นรวมคือ

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = [2A \cos \omega t] \sin kx \quad (10.1)$$

ในสมการ (10.1) เป็นสมการคลื่นนิ่ง และพจน์ในวงเล็บเป็นค่าแอมพลิจูดของคลื่นนิ่งซึ่งแปรตามเวลา ถ้าย้อนพิจารณารูป 10.1 โดยสมมุติว่าเชือกยาว f และ λ ตามค่า n

$$n = 1,$$

$$l = \lambda/2$$

$$n = 2,$$

$$l = 2(\lambda/2)$$

$$n = 3,$$

$$l = 3(\lambda/2)$$

สรุปได้ว่า

$$2l = n\lambda \quad \text{โดย } n = 1, 2, 3, \dots \quad (10.2)$$

พารามิเตอร์ที่น่าสนใจคือความเร็วของเสียง v ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็น

$$v = f\lambda \quad (10.3)$$

โดย f เป็นความถี่ของคลื่นเสียงในตุ่กลางที่กำหนด มีค่าเป็น

$$f_n = v/\lambda \quad (10.4)$$

$$nv/2 \quad (10.5)$$

การเรียกชื่อ มักกำหนดโดยพิจารณาค่า n คือถ้า $n = 1$ มักเรียกเป็นความถี่หลักมูลหรือความถี่พื้นฐาน (fundamental frequency) หรือเรียกเป็นฮาร์โมนิกที่ 1 (first harmonic)

ถ้า $n = 2$ เรียกเป็นโอเวอร์โทนที่ 1 (first overtone) หรือฮาร์โมนิกที่ 2 (second harmonic)

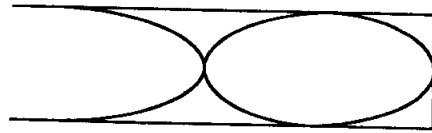
ถ้า $n = 3$ เรียกเป็นโอเวอร์โทนที่ 2 (second overtone) หรือฮาร์โมนิกที่ 3 (third harmonic)

คลื่นนิ่งในท่อปลายปิดข้างเดียว ปลายที่ปิดจะเป็นบัพ ส่วนปลายด้านเปิดเป็นปฏิบัพของคลื่น ดังแสดงในรูป 10.2



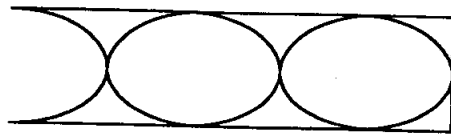
$$\lambda_1 = 4L$$

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



$$\lambda_3 = \frac{4}{3}L$$

$$f_3 = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$



$$\lambda_5 = \frac{4}{5}L$$

$$f_5 = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

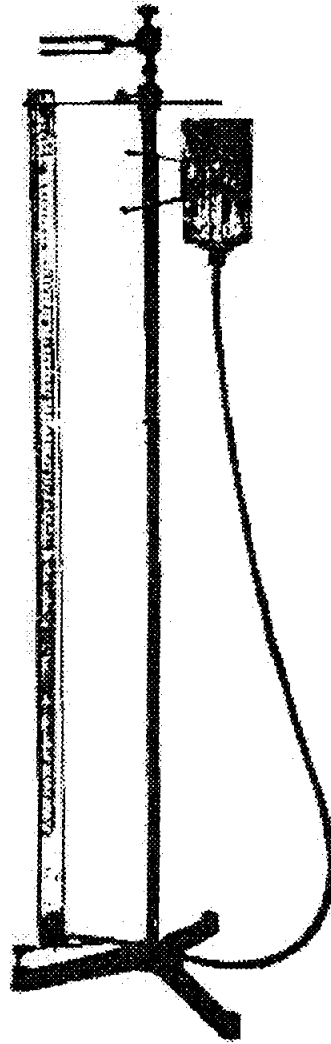
รูป 10.2 คลื่นในท่อปลายปิดข้างเดียว

ในทำนองเดียวกับคลื่นในเส้นเชือก แต่กรณีให้ท่อมีความยาวเป็น ℓ และจากรูป 10.2 เขียนความสัมพันธ์ โดยเรียงลำดับจากความถี่พื้นฐานคือ f_1 ซึ่งสุดท้ายเขียนเป็นความสัมพันธ์ ในรูปทั่วไปคือ

$$f_n = nv/4\ell ; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (10.6)$$

สังเกตว่า n มีค่าเป็นเลขคี่เท่านั้น

ในห้องปฏิบัติการ ชุดการทดลองแสดงในรูป 10.3 ซึ่งกระป๋องน้ำด้านขวาสามารถเลื่อนขึ้น/ลงได้ ผลคือระดับน้ำในหลอดแก้วด้านซ้ายจะแปรค่าตามการเลื่อนกระป๋องดังกล่าว

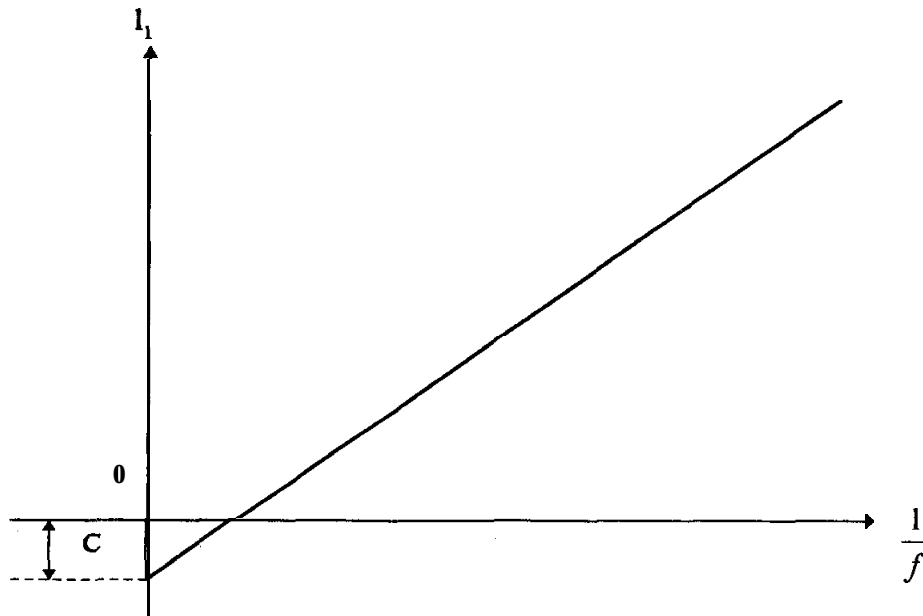


รูป 10.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อเคาะส้อมเสียงซึ่งถูกจัดให้มีสันตำแหน่งไว้เหนือปากหลอดแก้ว การสั่นของส้อมเสียงจะทำให้อากาศโดยรอบนั้นสั่นไปด้วย ถ้าความถี่ส้อมเสียงเท่ากับความถี่ของลำอากาศภายในหลอดแก้วนั้นมีการสั่นสะท้อนเท่ากับการสั่นสะท้อนของส้อมเสียง เราพูดได้ว่าลำอากาศภายในหลอดแก้วนั้นเกิดกำทอน (resonance) ซึ่งจะเกิดเมื่อลำอากาศมีความยาวเฉพาะค่าหนึ่งเท่านั้นถ้าความยาวแปรค่า (โดยการเลื่อนกระป๋องน้ำขึ้นไปจากตำแหน่งดังกล่าว) เสียงที่เกิดขึ้นจะแผ่วลงไปเรื่อย ๆ ถ้าให้ l_1 เป็นความยาวของท่ออากาศ เมื่อเกิดกำทอนครั้งแรก จึงเขียนสมการความสัมพันธ์เป็น

$$l_1 = \lambda/4$$

แต่จากการพล็อตกราฟโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองจะได้กราฟเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิด ดังแสดงในรูป 10.4 ซึ่งที่ค่า $1/f$ เป็นค่าน้อยๆ จนถือว่าเป็นศูนย์นั้น l_1 ไม่เป็นศูนย์แต่เป็นค่าติดลบ สมมุติให้เป็น c



ในรูป 10.4 l_1 vs $1/f$

สรุปได้ว่า ตำแหน่งที่เกิดครั้งแรกต้องมีค่าน้อยกว่า l_1 นั่นเอง ดังนั้นต้องเขียนความสัมพันธ์เป็น

$$l_1 + c = \lambda/4 \quad (10.7)$$

กล่าวได้ว่า c เป็นค่าของระยะที่คลาดเคลื่อนจากปากหลอดแก้ว (end correction) ของตำแหน่งที่เกิดกำหนดของคลื่นนั่นเอง

ถ้าเพิ่มความยาวของลำอากาศในหลอดแก้ว (โดยเลื่อนระดับน้ำลง) จนเกิดเรโซแนนซ์ครั้งที่สองให้ตำแหน่งดังกล่าวมีค่าเป็น l_2 ดังนั้น

$$l_2 + c = 3/4\lambda \quad (10.8)$$

$$l_2 - l_1 = \lambda/2$$

ดังนั้น $\lambda = 2(l_2 - l_1) = 2d \quad (10.9)$

ถ้า $f =$ ความถี่ของส้อมเสียงซึ่งเท่ากับความถี่ของคลื่นภายในหลอดแก้วขณะเกิดเรโซแนนซ์

$v =$ ความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ

จาก $v = f\lambda$

ดังนั้น $v = 2fd \quad (10.10)$

แต่ความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศสัมพันธ์กับอุณหภูมิเป็น

$$V_t = V_0 + 0.6t$$

โดย V_t เป็นความเร็วเสียง ณ อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส

V_0 เป็นความเร็วเสียง ณ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส = 331.50 เมตร/วินาที

แบบทดสอบการทดลองที่ 10

1. หลอดเรโซแนนซ์ยาว 20 เซนติเมตร ให้เสียงที่มีความถี่ต่างๆ กันออกมาหลายค่า อยากทราบว่าคนปกติจะได้ยินเสียงจากหลอดเรโซแนนซ์นี้ในช่องความถี่เท่าใด ถ้าระดับความเข้มของเสียงที่แต่ละความถี่สูงพอที่ทุกคนเราจะได้ยินและช่องความถี่ของเสียงที่ทุกคนปกติจะได้ยินคือ 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 ตำแหน่งของลูกสูบที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ต่อเนื่องกันจะห่างกันเท่าไร

- | | |
|-------------|-------------|
| (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 จะต้องใช้ท่อปลายปิดสั้นที่สุดเท่าไรจึงจะทำให้เกิดการสั่นพ้องเป็นฮาร์โมนิกที่ 3

- | | |
|--------------|--------------|
| (1) 20.5 ซม. | (2) 30.7 ซม. |
| (3) 32.3 ซม. | (4) 37.5 ซม. |

4. ในการทดลองหลอดเรโซแนนซ์โดยใช้ส้อมเสียงความถี่ 1000 Hz ปรากฏว่าการเกิดเรโซแนนซ์ครั้งแรกและครั้งที่สองเมื่อระดับน้ำปลายปิดอยู่ห่างจากปลายหลอด 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 ส้อมเสียงจะต้องสั่นด้วยความถี่เท่าใดจึงจะทำให้เกิดเรโซแนนซ์ได้เมื่อจ่อใกล้กระบอกตวงยาว 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 40 ซม. (2) หลอดยาว 50 ซม.
(3) หลอดยาว 60 ซม. (4) หลอดยาว 70 ซม.

8. ในการทดลองการเกิดเรโซแนนซ์ในหลอด ปรากฏว่าเมื่อใช้ส้อมเสียงที่มีความถี่ 500 เฮิรตซ์มากกระจายเสียงที่ปลายปิดของหลอด ระยะระหว่างระดับน้ำที่ทำให้เกิดเสียงดังสองครั้งติดกันมีค่า 35 เซนติเมตร อุณหภูมิของอากาศขณะนั้นจะเป็นเท่าใด

- (1) -2 องศาเซลเซียส (2) 21 องศาเซลเซียส
(3) 32 องศาเซลเซียส (4) 40 องศาเซลเซียส

9. เมื่อความเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเท่ากับ 330 เมตรต่อวินาที ส้อมเสียงซึ่งมีความถี่ 256 Hz จะทำให้เกิดเรโซแนนซ์ขึ้นในหลอดปลายปิดข้างเดียว อยากราบว่าจะต้องตัดด้านปลายเปิดให้สั้นลงเท่าใด จะทำให้เกิดเสียงความถี่สูงขึ้น 4 Hz (ไม่คิดค่า end-correction)

- (1) 0.3 ซม. (2) 0.4 ซม.
(3) 0.5 ซม. (4) 0.6 ซม.

10. คุณสมบัติทางเสียงข้อใดต่อไปนี่ที่ทำให้เราสามารถแยกเสียงใดๆ ได้ค่าเสียงนั้นเป็นขลุ่ย เสียงไวโอลินหรือเสียงกีตาร์

- (1) ความถี่เสียง (2) จำนวนฮาร์โมนิก
(3) ความเข้มเสียงในฮาร์โมนิกนั้นๆ (4) ถูกเฉพาะ (2) และ (3)

แนวตอบ

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

วิธีการทดลอง

1. บันทึกค่าของ
 - ความถี่ของส้อมเสียงที่ใช้ในการทดลองแต่ละค่า
 - อุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง
 - วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในหลอดแก้ว
2. ปฏิบัติ
 - เต็มน้ำลงในกระป๋องให้ระดับน้ำขึ้นถึงปากหลอดแก้ว
 - เคาะส้อมเสียงอันที่มีความถี่สูงสุดก่อนด้วยฆ้องยางให้สั้นแล้วนำไปไว้เหนือปากหลอดแก้วห่างประมาณ 3-5 เซนติเมตร
 - ขณะเดียวกันค่อยๆ เลื่อนกระป๋องลงจนเกิดเสียงดังที่สุด (resonance) วัดค่าดังกล่าวเป็น l_1 (ระยะจากปากหลอดปลายเปิดถึงระดับน้ำ)
 - ขณะเดียวกันค่อยๆ เลื่อนกระป๋องลงจนเกิดเรโซแนนซ์เป็นครั้งที่สอง วัดระยะ l_2
 - หาค่าทั้งสองดังกล่าวกับทุกๆ ส้อมเสียง
3. คำนวณ
 - พล็อตกราฟระหว่าง l_1 vs l/f
 - slope ของกราฟ = $V/4$ m/sec
 - ที่กราฟ $l/f = 0$, $l_1 = -c$ เรียกเป็นค่าแก้ของหลอดแก้ว (end correction)
 - หาค่า $-c$ / รัศมีปากหลอดแก้ว
 - หาค่าความยาวคลื่นของการทดลองแต่ละครั้ง
 - เปรียบเทียบค่า v ที่ได้จากการทดลองได้กับค่าจาก $V_t = V_0 + 0.6t$ m/sec
 - อธิบายสาเหตุของความแตกต่างของค่า v ทั้งสองดังกล่าว

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความถี่ของเสียง (Hz)	l_1 (cm)	l_2 (cm)	$2(l_2 - l_1) = 2d$	$v = 2fd$ (m/sec)
			ค่าเฉลี่ย	

การคำนวณ

เนื้อที่นี้สำหรับปิดกระดาษกราฟ

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์