

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบความแม่นยำสูง

High Accuracy Standing Waves Apparatus

ประเมษฐ์ ปัญญาเหติก*

บทคัดย่อ

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ออกแบบเพื่อให้แลเห็นรูปแบบคลื่นนิ่ง ได้อย่างชัดเจนและ ยังมีข้อดีเป็นไปตามวัตถุประสงค์หลักสองประการคือ ประการแรกเป็นชุดทดลองที่สามารถให้ค่าความถี่เรโซแนนซ์ได้แม่นยำ โดยอาศัยสกรูปรับความตึงเชือกอย่างละเอียด ความแม่นยำนี้เท่ากับจากค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองผิดไปจากค่าที่ได้จากการซึ่งโดยตรงไม่เกิน 2% ประการที่สองชุดทดลองนี้ได้แก้ไขเครื่องกำเนิดฟังก์ชันและเครื่องขยายสัญญาณแบบธรรมดานะการใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่เคยใช้มาแต่เดิม ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนของฮาร์ดแวร์และค่าซ่อมบำรุงได้เป็นอันมาก

Abstract

The apparatus is developed for representing standing wave on a string. This purpose has resulted in two main objectives. Firstly, the apparatus can represent the resonance frequency at hight accuracy by fine adjustable tunning screw. This accuracy shown only up to 2 % error of linear mass density, μ , of a string. Secondly, the apparatus could be made compatible with function generator and power amplifier in order to save hardware and maintainance cost.

1. บทนำ

การทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก เป็นอีกการทดลองหนึ่งที่นิยมจัดให้มีไว้ในห้องปฏิบัติการหรือชั้นเรียนวิชาพิสิกส์ระดับพื้นฐานโดยทั่วไป ตามปกติ ชุดทดลองที่ต้องการเพียงแสดงรูปลักษณะของคลื่นนิ่งเพียงประการเดียว มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน กล่าวคือ มีเฉพาะเครื่องสั่น (vibrator) ความถี่เดียวจากส้อมเลี้ยงหรือจากเครื่องสั่นอย่างง่ายที่อาศัยผลทางแม่เหล็กไฟฟ้าของกระแสสั่น 50Hz (ได้ความถี่ของเครื่องสั่นเป็น

100Hz)^[1] และใช้มวลถ่วงปรับความตึงเชือกได้ตามต้องการ แสดงการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกด้วยได้ตามต้องการ แต่หากประสงค์ให้การทดลองมีความละเอียดถี่ห้ามิใช่ วิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น (linear mass density : μ) ของเส้นเชือกได้อย่างแม่นยำ หรือแสดงการเกิดคลื่นนิ่งที่สภาวะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่างๆ กัน ต้องพัฒนาชุดทดลองให้มีองค์ประกอบที่จำเป็น หลากหลายยิ่งขึ้น ด้วยวัตถุประสงค์ดังกล่าวในกระบวนการหลังนี้ ทำให้ผู้เขียนออกแบบและพัฒนา

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำมหาวิทยาลัยศาสตร์ประยุกต์ ศูนย์วิชาการศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปatum

ชุดทดลองคลื่นน้ำบันทึกแบบความแม่นยำสูงที่เน้นการใช้วัสดุสำหรับประดิษฐ์ที่ทำได้ง่ายภายในประเทศให้งานง่ายและสามารถใช้ได้ห่างกับเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (Function generator) แบบธรรมชาติและแบบที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทความนี้ผู้อ่านได้นำเสนอประดิษฐ์น้ำดัน คือวิธีสร้างชุดทดลอง แนวโน้มวิธีทดลอง และวิเคราะห์ผลเพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่ประดิษฐ์ขึ้น มีความประยุต สร้างง่าย และมีความแม่นยำของการวัดเป็นไปตามจุดประสงค์แห่งชื่อบทความนี้มาก่อนอย่างใด

2. ทฤษฎี

เมื่อทำให้เชือกซึ่งถูกตึงปะลัยทั้งสองด้านและมีความตึงเกิดการสั่น คลื่นที่เคลื่อนที่บนเส้นเชือกจะสะท้อนกลับจากปลายทั้งสองด้าน คลื่นที่เคลื่อนที่ไปและคลื่นสะท้อนกลับนี้สามารถเกิดการซ้อนทับ (superposition) ได้คลื่นลักษณะเป็นคลื่นนึง เพื่อให้ได้ฟังก์ชันของคลื่นนึงดังกล่าว เราจะสมมติให้มีคลื่นรูปโค้งสอง คลื่นเคลื่อนที่ส่วนทางก้นบนเส้นเชือกโดยคลื่นหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางขวา มีฟังก์ชันคลื่นเป็น $y_1 = A \sin(kx - \omega t)$ อีกคลื่นหนึ่งเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและมีฟังก์ชันคลื่นเป็น $y_2 = A \sin(kx + \omega t)$ เมื่อคลื่นทั้งสองเกิดการซ้อนทับย่อมได้คลื่นลักษณะเป็น $y = y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t)$ และถ้าอาศัยการเทียบเอกลักษณ์กับค่าตรีโกณมิติ $\sin a + \sin b = 2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$ ก็จะได้สมการคลื่นลักษณะดังนี้

$$y = [2A \sin kx] \cos \omega t \quad (1)$$

ฟังก์ชันคลื่นในสมการ (1) เป็นฟังก์ชันของคลื่นนึง ซึ่งมีรูปแบบต่างไปจากฟังก์ชันคลื่นเคลื่อนที่ก่อนเกิดการซ้อนทับดังกล่าว คลื่นนึงตามสมการ (1) มีความถี่เชิงมุม ω มีแอมเพลจูดที่ตำแหน่ง x เป็น $(2A \sin kx)$ ดังนั้น

ทุก ๆ อนุภาคบนเส้นเชือกต่างแก่วงกวัดแบบซิมเพลาร์มอนิกด้วยความถี่เท่ากัน โดยมีแอมเพลจูดขึ้นกับตำแหน่ง x สถานการณ์ เช่นนี้ยอมต่างกับกรณีคลื่นยาร์มอนิกเคลื่อนที่ ซึ่งทุก ๆ อนุภาคในตัวกลางต่างแก่วงกวัดด้วยความถี่และแอมเพลจูดเท่ากันเสมอ^[3]

เนื่องจากแอมเพลจูดของคลื่นนึงที่ตำแหน่ง x ใด ๆ เท่ากับ $2A \sin kx$ เราจะเห็นว่าแอมเพลจูดสูงสุดของคลื่นนึงอยู่เมื่อเท่ากับ $2A$ และเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง x ใด ๆ เมื่อ $\sin kx = \pm 1$ หรือเกิดขึ้นเมื่อ

$$kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots$$

ตำแหน่ง x ที่ทำให้ค่าแอมเพลจูดสูงสุดนี้เรียกว่าบูนิบับ (antinode) ของคลื่นนึง ถ้าแทนค่าเลขคลื่น $k = 2\pi/\lambda$ จะได้ตำแหน่งของบูนิบับเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นดังนี้

$$x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots = \frac{n\lambda}{4} \quad (2)$$

เมื่อ $n = 1, 3, 5, 7, \dots$ ให้สังเกตด้วยว่า จุดบูนิบับที่อยู่ติดกันมีระยะห่างกันเท่ากับ $\lambda/2$ เสมอ

ในการนองเดียวกัน ค่าแอมเพลจูดต่ำสุดของคลื่นนึงเท่ากับ 0 ซึ่งเราเรียกตำแหน่ง x ที่แอมเพลจูดเป็นศูนย์นี้ว่าบัพ (node) ของคลื่นนึง เมื่อพิจารณาจากค่าแอมเพลจูด $2A \sin kx$ บัพจะเกิดขึ้นเมื่อ $\sin kx = 0$ หรือเกิดขึ้นเมื่อ $kx = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ ถ้าแทนค่าเลขคลื่น $k = 2\pi/\lambda$ จะได้ตำแหน่งบัพเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นดังนี้

$$x = 0, \frac{\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \dots = \frac{n\lambda}{2} \quad (3)$$

เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ บัพของคลื่นนึงที่อยู่ติดกัน จะห่างกันเป็นระยะ $\lambda/2$

ถ้าจัดรูปสมการ (1) ใหม่ให้อยู่ในรูป $y_{(x,t)} = (2A \cos \omega t) \sin kx$ สมการนี้ได้แสดงรูปร่างของ

คลื่นที่เวลา t ไม่รูปร่างของคลื่นนั้น ในการนีบันเดินเชือก “ต้องยกฐานะ” ด้วยปราภูมิตำแหน่งชัดเจน^[5]

เชือกที่สามารถมีรูปแบบแบบการสั่นเพียงจ่าเดียวที่ความถี่กับโมดูลื่นนึงที่สั่นเป็นแบบเชกเมนต์

แบบชิมเปลี่ยน
ลิจูดขึ้นกับ
บกรณีคลีน
ห้ากลางต่าง
เหมือน^[3]

ต่ำเห็นง x
เลิญดสูงสุจ
ที่ต่ำเห็นง
มือ

สูงสุดนี้
แก่นค่า
ปฏิบัพเป็น

(2)

1/2 เสมอ

สำนักงาน
อุตสาหกรรม
พิจารณา
ด้วยเมื่อ

୧୮

3

แบบเรียน
ภาษาไทย

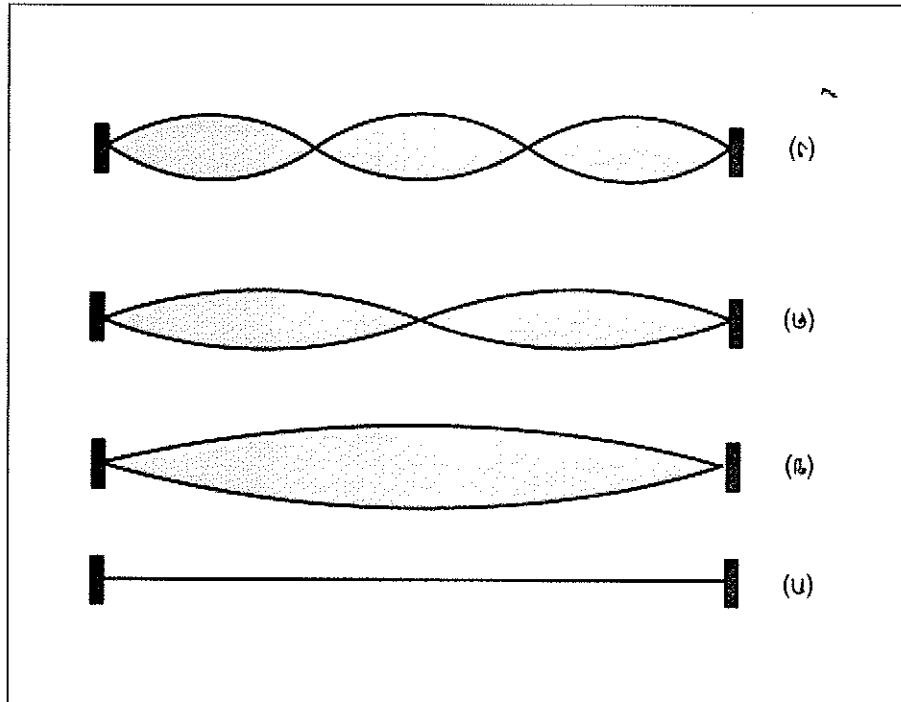
คลื่นที่เวลา t ได้ θ โดยมีแอมเพลจูดขึ้นกับ $\cos \omega t$ รูปวงของคลื่นนี้ที่เวลาต่างกันเจ้มแอมเพลจูดต่างกัน ดังนั้น ในกรณีที่คลื่นมีความถี่สูงเรายอมเห็นคลื่นนี้เป็นเส้นเชือก “สั้นพร่า” เป็นแบบเซกามเนต์ของคลื่นนี้โดยปรากฏทำແղ່ນของบັນແລະປັບປຸນເສັ້ນເຫຼືກອຢ່າງຂັດເຈນ [5]

เชือกที่ถูกขึงและริบป้ายหั้งสองข้างดังรูป ๑ สามารถมีรูปแบบการสั่นได้หลายรูปแบบ เรายังคงรูปแบบการสั่นเหล่านี้ว่า โมดูลาร์ (normal mode) ของการสั่น การสั่นแต่ละโมดูลมีค่าความถี่จำเพาะเพียงค่าเดียวเท่านั้น เราสามารถหาความสัมพันธ์ของความถี่กับโมดูลการสั่นได้ด้วย โดยเริ่มพิจารณาจากการณฑ์คลื่นผิวที่สั่นเป็นวงแหวนต์เดียว ดังรูป ๑ ฯ การสั่นแบบวงแหวนนี้เดียวกับป้ายเชือกหั้งสองข้างเป็นตำแหน่ง

บัพของคลื่นนึง และต่ำเท่านั้งปฏิบัพอยู่ตรงแนวลิ้น
แบ่งครึ่งความยาวของเชือกพอดี ดังนั้น ความยาว
เชือกย่อมมีค่าเท่ากับ $\lambda/2$ หรือเท่ากับระยะห่าง
ระหว่างบัพพอดี ถ้าให้ L เป็นความยาวเชือก และ
 λ_1 เป็นความยาวคลื่นของคลื่นนึงที่สั่นเป็นหนึ่ง
เชิงเมเนต์จะได้ $\lambda_1 = 2L$ ในท่านองเดียว กัน ถ้า
ทำให้เชือกลันเป็นสองเชิงเมเนต์และสามเชิงเมเนต์ ก็จะ
ได้ $\lambda_2 = L$ และ $\lambda_3 = 2L/3$ ตามลำดับ จึงสรุปได้
ว่าความยาวคลื่นของคลื่นนึงสำหรับไม่ดักจี๊ด ฯ หา
ได้จาก

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (4)$$

เมื่อ " เป็นจำนวนเชกเมเน็ตหรือเลขอันดับ
ไม่ดูของ การสั่น



รูป 1 แสดงโมเดลบทเรียนของการสื่อสารของครุภัณฑ์แบบแลนเชอร์ (ก) เชือกยาว L ถูกซึ้งตึงปลายทั้งสองข้าง (ข) เชือกสั้นด้วยความตึงหลักภูมิหรือ ชาร์มอนิกที่หนึ่ง (ค) ชาร์มอนิกที่สอง (ง) ชาร์มอนิกที่สาม

เนื่องจากความถี่ $f = v / \lambda$ เมื่อ v เป็นความเร็วคลื่นในสัมภารีที่ตั้งนั้น ความถี่ที่รวมชาติของคลื่นนั่นในสัมภารีจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนเชิงเมทริกซ์ของ การสั่นตามสมการ

$$f_n = \frac{\mathbf{v}}{\lambda_n} = \frac{n\mathbf{v}}{2L} \quad (5)$$

แต่ความเร็ว v ของคลื่นในเรือขึ้นกับความตึง T ของเชือก และความหนาแน่นมวลเชิงเส้น (μ) ของเชือกด้วย $v = \sqrt{T/\mu}$ ซึ่งเมื่อแทนค่าลงในสมการ (5) แล้วแก้สมการหาความสัมพันธ์ของความตึงเชือก กับจำนวนแซมเบนต์ k จะได้สมการที่น่าไปสู่การทดลอง เป็น ⁽⁶⁾

$$T = \left(4\mu L^2 f_n^2\right) \frac{1}{n^2} \quad (6)$$

ผู้คือ ถ้ากำหนดให้ความยาวเชือกับความถี่คงที่ gravitational ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ดังนี้

$$f = \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{4\pi^2 g}{L^2 f_n^2}}$$

 และจากค่าความชันดังกล่าว เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเชือกได้
 นอกจากนี้ ถ้าแก้สมการ (6) หาความสัมพันธ์ของความถี่ กับจำนวนเชกเมนต์ จะได้สมการที่นี้ไปสู่การทดลอง
 ออกเงื่อนไขหนึ่งเป็น [6]

$$f_n = \left(\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \right) n \quad (7)$$

ทำให้หาค่า μ ได้จากความชันของกราฟ
เส้นตรงที่เขียนขึ้นจากการลงจุดระหว่างความถี่ f_n
กับจำนวนหนูซากเมนต์ n

ความถี่ต่ำสุดของคลื่นนิ่ง เป็นความถี่เมื่อเชือกสั้นเมินหางเชกเกนเด็ต หรือ $n = 1$ ความถี่ต่ำสุดของการสั่นดังกล่าวเรียกว่า ความถี่หลักมูล (fundamental frequency) : f_1 โดยของการสั่นที่มีความถี่ต่ำสุดนี้เรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า ฮาร์มอนิกที่หนึ่ง (first harmonic) ซึ่งมีค่า $n = 1$ ดังนั้น ฮาร์มอนิกที่สอง

คือการสับที่ มีค่า $n = 2$ ยกเว้นนิกที่สาม คือการสับที่มีค่า $n = 3$ และเรียกไปตามลำดับ [ดูรูป 1] เราก็สามารถเรียงลำดับของอนุกรมอนิกิ (ที่เป็นไปได้) เหล่านี้ เป็น อนุกรมชาร์มอนิก (harmonic series)^[3] และเรียกค่า n ว่า เลขชาร์มอนิก (harmonic number)

การเกิดและแพร่ระบาดของเชื้อรา

เราทราบแล้วว่าเชือกที่มีความตึงสามารถสั่นด้วยโมเดลปกติได้หลายแบบ ถ้าออกแรงกระทำให้เชือกดังกล่าว สั่นด้วยโมเดลแบบใดแบบหนึ่งแล้วหยุดกระทำและเผยแพร่พลิจูดของการสั่นย่อ默ಟลิง ๆ เป็นลำดับเนื่องจากสัญญาณที่จุดตรึงทั้งสองและจากความเสียดทานของอากาศ จะกระแทกหินที่สุดอย่างไร ก็ตามถ้าป้อนแรงยกมอนิกให้แก่เชือกด้วยความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติค่าได้ค่าหนึ่งของเชือก ย่อมทำให้เชือกนั้นสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเรารอคอยการณ์นี้ว่าเรซโซแนนซ์ (resonance)^[4] การทดลองคลื่นนิ่งส่วนมากนิยมทดลองให้เห็นสภาวะเรโซแนนซ์โดยเฉพาะการทดลองที่ต้องการวิเคราะห์หาความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือกที่ใช้ เพราะที่สภาวะเรโซแนนซ์ดังกล่าวสามารถรับน้ำใจได้กว่าความถี่ของเครื่องสัมเมค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของเชือกที่ความเยาและความตึงในเงื่อนไขที่กำหนดนั้น ๆ

3. วิธีสร้างข้อมูล

ເຄືອງສັນ

3.1 ใช้ลำโพง 8.0 Ω Norm. 35 W Max.
 100 W ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0 cm ตัดกระแส
 ที่ปิดกลางได้ละเอียดมาก ของล้ำโพงออก ให้เหลือเฉพาะ
 รากลมที่แกนกลางขององค์ประกอบดังกล่าว

3.2 ทำแกนสันด้วยไม้เบา เช่น ไม้คอร์ก หรือไม้เบาอื่นๆ หนาประมาณ 1.0 cm เส้นผ่าศูนย์กลางให้พอดีกับรูกลมของไดอะแฟรมที่จะไว้ในข้อ 3.1 เสียงแกนจะล้มเหลวเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 mm เช้ากับแกนไม้เบาให้แน่นและตั้งตรง แล้วสอดแกนไม้เบา

เข้ากับรูกลางได้
หยุดดรบข้างแ
ล้ำโพง เตี้ยองระ^๔
ของแม่เหล็กของ
สันยากเนื่องจาก

3.3 ८८

ໂຕກວ່າຫຼັກ
ປະມາດ 10-11
ວັງແຫວນຈຳນວນ
ສູນຍົກລາງວັດຈາກ
ຂອງທ່ອພົວເຮົາ
ສອດເປັນບ່ານຄໍາ
ຂອບບນຂອງທ່ອພົວ
ຫຼານຂອງຂອບລຳໄ
ຈາກນັ້ນໃຫ້ວາງຄໍາ
ປ່າງວັງແຫວນດັກກະ
0.5 cm ສອດທ້າ
ມັນໄລໄດ້ວ່າລໍາໄພ
ເນື້ອໄຊໃຈວັນສຸນຍາ

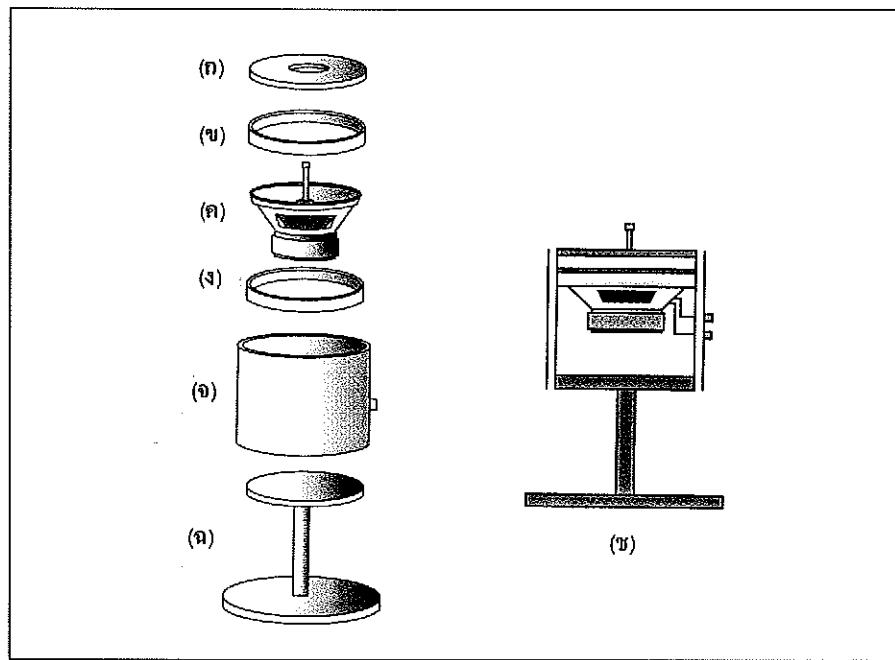
เข้ากับรูกล่างได้อย่างแฟร์มตั้งกล่าว ใช้การ epoxy และหยอดครุบขึ้น้ำเงาไม่ให้ติดเน้นกับปูได้อย่างแฟร์มของลำโพง แต่ต้องระวังไม่ให้การเย็บติดกับล่วนได้ส่วนหนึ่งของแม่เหล็กของลำโพง ซึ่งจะทำให้ลำโพงไม่สั่นหรือเสียหายเนื่องจากความผิดตัวที่เกิดขึ้น

3.3 ตัดท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
โดยกว้างหน้าตัดของลำโพงเล็กน้อยให้ได้ความยาว
ประมาณ 10-15 cm และตัดท่อพีวีซีที่สองให้เป็น^{วง}
วงแหวนจำนวนสองอัน โดยวงแหวนนี้ ต้องมีเส้นผ่า
ศูนย์กลางวัดจากผิวนอกพอดีกับเส้นผ่าศูนย์กลางผิวใน
ของท่อพีวีซีแรก วงแหวนอันแรกตัดให้สูง 2 cm ใช้
สอดเป็นปาร์วัลลำโพง (รูป 2) ให้สอดวงแหวนนี้เข้ากับความ
ของขอบของท่อพีวีซีให้ญ่ร้าว 1.5 - 2 cm ขึ้นกับความ
หนาของขอบลำโพงที่ใช้ หยอดดาวให้วางแหวนติดแน่น
กันนั้นให้วางลำโพงที่ตัดแปลงแล้วจากข้อ 3.2 ลงบน
บ่าวงแหวนดังกล่าวแล้วใช้วางแหวนอีกอันหนึ่ง ชี้งสูง
0.5 cm สอดหันลำโพงอีกครั้งหนึ่ง (รูป 2) ทำให้
ผันใจได้ว่าลำโพงไม่หลุดหรือโยกไปไหนลงขณะเกิดการรั่น
เมื่อได้รับสัญญาณความถี่ในขณะดำเนินการทดสอบ

3.4 ต่อสายไฟพื้นจากลำโพงเข้ากับ banana plug ข้างท่อพีวีซี ปิดด้านบนด้วยฝากลมที่เจาะรูตรงกลางเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 cm (รูป 2 ก) เพื่อให้แกนอะลูมิเนียมโผล่พ้นออกจากมา แล้วนำหัวหงมดไปติดบนฐานตั้ง (รูป 2 จ) ก็จะได้เครื่องสั่นสำหรับทดลองและสาธิตคลื่นนิรบันสีแล้วเชือกได้ตามความประสงค์ (รูป 2 ช)

ระบบวัดความตึงเชือก

3.4 ทำเส้นตั้งด้วยเหล็ก หรืออะลูมิเนียม
 เส้นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.0 cm สูง 1.0 m
 เส้นที่ตั้งตรงบนฐานแผ่นเหล็ก (หรือแบบติดกับกบชอน
 โต๊ะ) มีเคลมป์ที่ปรับเลื่อนขึ้นลงได้สองอัน เคลมป์
 ด้านล่างมีไว้สำหรับติดรอกและเคลมป์ด้านบนมีไว้
 สำหรับแขวนเครื่องวัดความตึงเชือก ซึ่งเป็นเครื่องซัง
 สปริงที่มีสเกลละเอียดและมีช่วงการวัด 0-2.00 N
 ทั้งนี้ การแขวนเครื่องวัดความตึงเชือกให้แขวนไว้กับ
 ถ้วยของปุ่มปรับลับละเอียด (ดูรูป 3) เพื่อปรับความตึงเชือก
 ให้ได้ค่าแม่นยำที่สุดสำหรับการทดสอบคลื่นนิ่งใน
 สภาวะరิโซแนนซ์



รูป 2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบและลำดับการประดิษฐ์เครื่องสั่นจากลำโพง

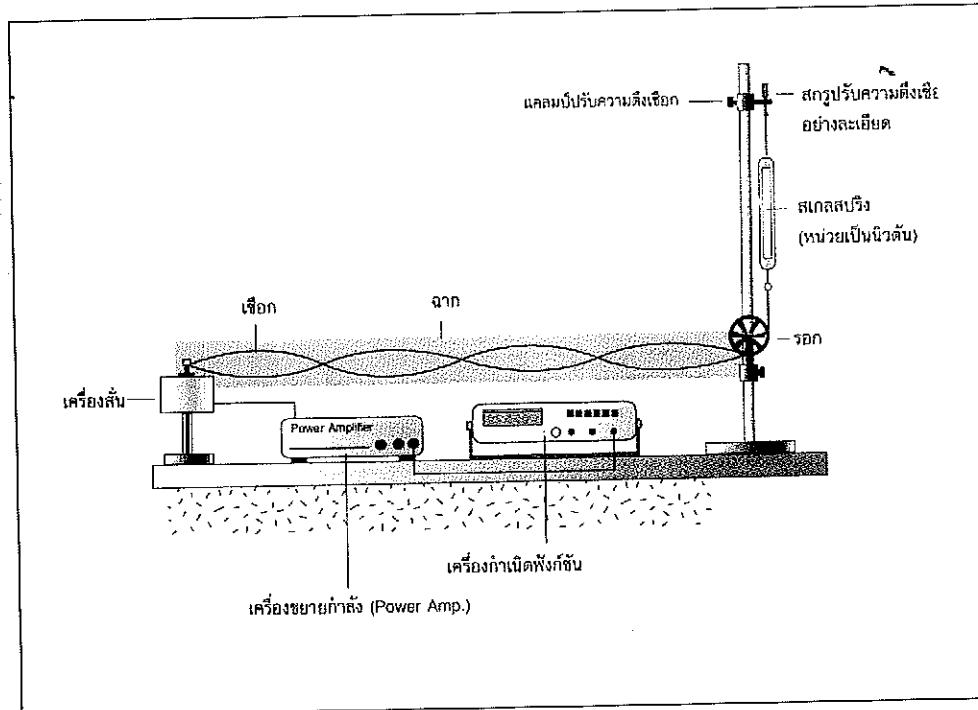
4. วิธีทดสอบ และผลการทดสอบ

4.1 เนื่องในไฟที่ 1 กำหนดให้ความยาวเทือกและความกว้างของการลับคันที่

จัดวางอุปกรณ์การทดลองดังรูป 3 ใช้ด้วยเห็นยาที่มีความยาวประมาณ 2 เมตร ผูกกับแขนสั้นของเครื่องลับ อีกปลายหนึ่งโยงคล้องผ่านรอบผู้ติดกับเครื่องซั่งสวิงที่อ่อนนิ่วตัน (ช่วง 0-2 N) จัดความยาวเชือกตามต้องการโดยวัดจากปลายแขนสั้นของเครื่องลับมายังตำแหน่งกึ่งกลางรอบ ต่อสายสั้นสัญญาณจากข้อเอาร์พุตของเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน เท้ากับข้อหัวอินพุตของเครื่องขยายกำลัง และจากเครื่องขยายกำลังต่อเท้ากับเครื่องลับ แล้วเปิดสวิทช์ของเครื่องกำเนิดฟังก์ชันและของเครื่องขยายกำลังตามลำดับตั้ง สัญญาณคลื่นรูปไอน์ความถี่ระหว่าง 30Hz - 60Hz (ชั่ว ตั้งไว้ที่ 50Hz) และปรับปุ่มแอมเพลิจูดของ

เครื่องขยายกำลังให้เครื่องลับฯ แรงพอประมาณ

เลื่อนแคลิบเปรียบความตึงเชือกให้ได้รูปแบบ การลับคันที่นี่นั่งเป็นจำนวนเชกเมนต์ตามต้องการ และมีคอมพิวเตอร์วัดที่สุดโดยประมาณ อย่างไรก็ตาม ชุดทดลองที่ผลิตขึ้นและทดลองตามเงื่อนไขนี้หมายถึงรับจำนวน 2 - 6 เชกเมนต์ เพราหากให้ลับเป็น 1 เชกเมนต์ความตึงเชือกอาจมากกว่า 2N ซึ่งทำให้แขนสั้นของเครื่องลับเสีย เมื่อได้จำนวนเชกเมนต์ของคลื่นนี้ดังกล่าว ให้หมุนปุ่มปรับความตึงเชือก อย่างละเอียดเพื่อให้ได้ความตึงเชือกที่ลับในสภาวะเรโซแนนซ์ด้วยความถี่ที่ตั้งไว้พอดี ทดลองปรับความตึงเชือกให้ได้จำนวนเชกเมนต์ของคลื่นนี้ที่สภาวะเรโซแนนซ์สำหรับตัวเครื่องที่ตั้งไว้ ไปตามลำดับ แล้วบันทึกค่าความตึงเชือกและจำนวนเชกเมนต์ของการลับที่ปรากฏแต่ละครั้ง



รูป 3 แสดงการติดตั้งชุดทดลองคลื่นนิ่งบนลับคันที่มีรูปแบบความแม่นยำสูงที่ประดิษฐ์ขึ้น (ยกเว้นคือของขยายกำลังและเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน) เป็นชุดทดลองที่ประยุกต์ใช้จ่ายมากเมื่อเทียบกับระบบมืออาชญากรรมความต้องการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในแผนภาพนี้มีการเกิดคลื่นนี้ในสภาวะเรโซแนนซ์แบบสี่เชกเมนต์

4.2 เนื่อง
และความตึงเชือก
จัดอุ
ในเนื่องในไฟที่ 1 ไฟ
พังก์ชันไว้ที่ 20
ตั้งกล่าวให้ปรับห
การเลื่อนเครื่องลับฯ
เรโซแนนซ์แบบโนโน^๒
ไอล์เดียงบันค่าสูง
ตึงเชือกอย่างละเอียด
ด้วยคอมพิวเตอร์
ที่ปรับไว้ล่าสุดนี้
เนื่องในไฟที่ 2 ทดลอง
ได้คลื่นนี้ในสภาวะ
สองและสามเชกmen
ขยายกำลังที่ซื้อมา^๓
สัญญาณความถี่ที่

4.3 ผล
ผล
แสดงไว้ในตาราง
นี้

ตาราง 1 คลื่นนี้
เมื่อค่า
1.70
(link
2.30)

จำนวนเชกเมนต์	2	3	4	5	6
ค่า	2	3	4	5	6

งาน
ครุภัณฑ์
เพื่อการ
บริการ
พื้นที่
ที่ตั้งเป็น^{ที่}
ที่ใช้สำหรับ
น้ำท่วม
ที่ต้องการ
ให้ความ
ปลอดภัย
แก่ผู้ใช้
และลด
ความเสี่ยง
ของภัยธรรมชาติ

เครื่อง
สำรวจ

4.2 เมื่อในที่ 2 กำหนดให้ความยาวเชือก และความตึงเชือกคงที่

จุดอุปกรณ์ที่ 2 ให้ตั้งความถี่เริ่มต้นของเครื่องกำเนิดฟังก์ชันไว้ที่ 20Hz เมื่อเครื่องสั่นสั่นด้วยความถี่ดังกล่าวให้ปรับหากความยาวเชือกที่เหมาะสม โดยการเลื่อนเครื่องสั่นจนกระทั่งปรากฏคลื่นนึงในสภาวะเรโซแนร์แบบไม่คลักกุมูล (1 เซกาунด) ที่มีแอมเพลจูดใกล้เคียงกับค่าสูงสุด จากนั้น จึงหมุนปุ่มปรับความตึงเชือกอย่างละเอียดจนกระทั่งได้ความตึงที่เชือกสั่นด้วยแอมเพลจูดสูงสุด ให้ความยาวเชือกและความตึงที่ปรับไว้ล่าสุดนี้เป็นค่าตั้งต้นสำหรับการทดลองตามเมื่อในที่ 2 ทดลองปรับเพิ่มความถี่เรื่อยไปจนกระทั่งได้คลื่นนึงในสภาวะเรโซแนร์ที่มีจำนวนเซกามนต์เป็นสองและสามเซกามนต์ตามลำดับ (ต้องไม่ลีมว่าเครื่องขยายกำลังที่ซื้อขายกันตามห้องตลาดส่วนมากใช้ได้กับสัญญาณความถี่กระแสสลับไม่เกิน 60Hz)

4.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองตามเมื่อในที่ 1 และที่ 2 แสดงไว้ในตาราง 1 และตาราง 2 ตามลำดับดังต่อไปนี้

ตาราง 1 คลื่นนึงบนเส้นเชือกในสภาวะเรโซแนร์ เมื่อความถี่คงที่ 50Hz ความยาวเชือก 1.70 m และความหนาแน่นมวลเชิงเส้น (linear mass density : μ) ของเชือก $2.303 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$

จำนวนเซกามนต์ของคลื่นนึง	ความตึงเชือก
(n)	T(N)
2	1.64
3	0.74
4	0.40
5	0.26
6	0.18

ตาราง 2 คลื่นนึงบนเส้นเชือกที่สภาวะเรโซแนร์เมื่อความตึงเชือกคงที่ 1.12N ความยาวเชือก 1.73 m และความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเชือก $2.303 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$

จำนวนเซกามนต์ของคลื่นนึง	ความถี่ $f_n(\text{Hz})$
1	20.0
2	40.0
3	60.0

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองตามเมื่อในที่ 1 : ผลการทดลองตามตาราง 1 เมื่อลงจุดระหว่างความตึงเชือก T กับ $1/n^2$ ได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน 6.584 และมีนำความชันนี้ไปเทียบกับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในสมการ (6) คำนวนหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเชือกที่ใช้ได้ $2.277 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$ ซึ่งผิดไปจากค่าที่วัดโดยตรงจากการซั่ง ($2.303 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$) ประมาณ 1.13%

5.2 ผลการทดลองตามเมื่อในที่ 2 : ผลการทดลองตามตารางหมายเหตุ 2 เมื่อลงจุดระหว่างความถี่ f_n กับ n ได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน 20.0 เมื่อนำความชันนี้ไปเทียบกับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในสมการ (7) คำนวนหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเชือกได้ $2.339 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$ ซึ่งผิดไปจากค่าที่วัดโดยตรงจากการซั่งประมาณ 1.55%

6. บทสรุป

ชุดทดลองคลื่นนึงบนเส้นเชือกเป็นอีกชุดทดลองหนึ่งที่หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ได้ออกแบบและพัฒนามาเป็นลำดับ จนกระทั่งในปัจจุบันถือได้ว่าเป็นรูปแบบที่ดีที่สุด ให้ผลการวัดที่แม่นยำโดยมีค่าความผิดพลาดของการทดลองไม่เกิน 2% เนื่องจากมีส่วนรับความลับละเอียดของความตึงเชือก

จึงอ่านค่าความตึงเชือกໄได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งเชือกสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติเท่ากับความถี่ที่ตั้งไว้มากที่สุด นอกจากนี้ การใช้แผ่นยางสีดำทันทีไม่วัดหนังกลังยังช่วยให้แลลเพิ่มการเพิ่ม หรือลดขนาดของเซกเมนเตชันของคลื่นนิ่งในสภาวะเรโซแนนซ์ขณะปรับความตึงเชือกอย่างละเอียดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ชุดทดลองที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้แม้มีข้อดีในเรื่องประหยัดค่าใช้จ่าย และมีความแม่นยำของการวัดสูง ตั้งกล่าวข้างต้น แต่มีข้อเสียตรงที่เครื่องขยายสัญญาณแบบธรรมดายังไม่สามารถรับคลื่น 60 Hz เท่านั้น ทำให้การทดลองโดยเฉพาะตามเงื่อนไขที่ 2 มีข้อจำกัดกล่าวคือได้ค่าความถี่เรโซแนนซ์ไม่เกิน 3 ค่า ในกรณี

ที่ใช้ความถี่ต่ำทำให้คลื่นนิ่งขาดความคงตัวที่ควรอย่างไรก็ตาม ถ้าผู้ทดลองมีความประสงค์ใช้ช่วงความถี่ของการสั่นที่มากขึ้น ก็สามารถกระทำได้โดยสร้างเครื่องขยายกำลังแบบพิเศษ อาทิ เครื่องขยายกำลังด้วยระบบคอมพิวเตอร์ของ PASSCO^[2] และอื่น ๆ ในระบบเดียวกันมาใช้แทนเครื่องขยายกำลังแบบธรรมด้า ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นเป็นจำนวนมากตัว แต่ในความเห็นของผู้เขียนแล้วขอเรียนเสนอว่าควรพยายามดัดแปลงเครื่องขยายกำลังแบบธรรมด้าที่ใช้อยู่ให้มีขีดความสามารถให้ได้กับช่วงสัญญาณความถี่ที่กว้างกว่า 60 Hz โดยวิธีใดก็หนึ่ง ซึ่งผู้เขียนได้ตั้งเป้าหมายพัฒนาไปในทิศทางนี้อยู่ เช่นกัน □

- [1] David H. Publishing.
- [2] PASCO, S. Scientific I.
- [3] Serway, R. Philadelphia.
- [4] Tipler, A. J. 1999.
- [5] Young, H. 2000.
- [6] ปราเมชัย บ. มหาวิทยาลัย.

บรรณานุกรม

- [1] David H. Loyd. **Physics Laboratory Manual**, 2nd ed. Fort Worth, Saunders College Publishing, 1997.
- [2] PASCO. **Science Workshop**, Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Model CI-6550, 1993.
- [3] Serway, Raymond A. **Physics For Scientists & Engineers with Modern Physics**, 5 th ed. Philadelphia : Suanders, 2000.
- [4] Tipler, A. Paul, **Physics For Scientists & Engineers**, 4 th ed. W.H. Freeman and company, 1999.
- [5] Young, Hugh D. and Freeman A. Roger, **University Physics**, 10 th ed. Addison -Wesley, 2000.
- [6] ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. **ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1**, พิมพ์ครั้งที่ 8, ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา ฝ่ายเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2544.