

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาว

ปริญญานิพนธ์
ของ
วรรณวนัส เอกศรีรุ่งโรจน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

พฤษภาคม 2547

ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

531.1194

ว. ๒๕๓๖

๗๖

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาว

บทคัดย่อ

ของ

วรรณวนัส เอกศรีรุ่งโรจน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

พฤษภาคม 2547

วรรณวิมล เอกศรีรุ่งโรจน์. (2546). การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาว. ปรินทิพ
นิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ศิลป์สกุลสุข,
รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรสรรค์ ผลโภค.

อุปกรณ์สำหรับทดลองและสาธิตคลื่นตามยาวที่สร้างขึ้น สามารถแสดงคลื่นนิ่งตามยาว
ที่เกิดจากการโยกของแท่งไม้ทรงกระบอกยาว 60 เซนติเมตร จำนวน 80 อัน วางเรียงกันโดยมี
ตำแหน่งกลางของแท่งไม้เป็นจุดหมุน แท่งไม้แต่ละอันห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร เท่าๆกันใน
แนวระดับและเป็นแนวตรง แกนหมุนอยู่ในแนวที่ทำให้ปลายของแท่งไม้สามารถโยกไปมาในแนว
เข้าหากันหรือแยกออกจากกัน ปลายของแท่งไม้ที่จัดวางในแนวตั้งถูกตรึงกับยางยืดซึ่งขึงตึง ปลาย
ด้านหนึ่งของยางตรึงอยู่กับที่ และอีกด้านผูกติดกับคันโยกที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ อุปกรณ์ที่สร้าง
ขึ้นได้รับการทดสอบการเกิดคลื่นนิ่งโดยการแปรค่าความยืดหยุ่นของเส้นยางยืด 5 ค่า พบว่าค่าคงที่
ความยืดหยุ่นที่ลดลงทำให้เกิดคลื่นนิ่งที่มีความยาวคลื่นสั้นลง หรือคลื่นนิ่งที่สามารถแสดงจำนวน
บัพได้เพิ่มขึ้น การสั่นของแท่งไม้จะมีขนาดแอมพลิจูดสูงขึ้น สำหรับทุกค่าความยืดหยุ่นที่ใช้ เมื่อ
เกิดตำแหน่งบัพที่ตำแหน่งปลายทั้งสองของเส้นยางยืดพอดี เมื่อนำค่าความเร็วคลื่นที่คำนวณได้
จากความยาวคลื่นและความถี่ขับเคลื่อนมาเทียบกับความเร็วคลื่นที่คำนวณจากค่าคงที่ความยืด
หยุ่นของเส้นยางยืดและมวลของแท่งไม้พบว่า ค่าที่ได้จากการวัดมีความแตกต่างจากค่าคำนวณใน
ช่วงร้อยละ 7.8 ถึงร้อยละ 13.6

A DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN APPARATUS
FOR LONGITUDINAL WAVES DEMONSTRATION

AN ABSTRACT

BY

WANWANUS AKESRIRUNGROJ

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Physics
at Srinakharinwirot University

May 2004

Wanwanus Akesrirungroj. (2002) *A Design and Construction of an Apparatus for Longitudinal Waves Demonstration* . Master thesis , M.Ed. (Physics). Bangkok : Graduate School , Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Assist. Prof. Buncha Silskulsuk , Assoc. Prof. Nason Phonphok .

An apparatus for longitudinal wave demonstration and experiment is constructed. The shown longitudinal standing waves are result from oscillations of 80 pieces of 60 centimeters - long rods putting in vertical direction. Rods' centers are in such a way that a straight horizon line is formed. The centers, 2 centimeters apart, are fulcrums of the rods' oscillations. The lower ends of the rods are mounted on a stretch rubber string in such a way that the end of each rod can move close to or depart from its adjacent rods. One end of the string is fixed whereas the other one is tied to an oscillating motor driven arm. Five rubber strings with different elastic constants were tested used it reveals that decreasing values of elastic constants result in shorter wavelength of longitudinal waves or in other words more nodes are observed. Higher amplitudes, for every elastic constants, are values of observed when both ends of elastic string are nodes. The differences between wave velocities calculated from measuring wavelengths and frequencies and those calculated from string elastic constants and masses of the rods are in the range of 7.8 to 13.6 percent.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาว

ของ
นางวรรณวนัส เอกศรีรุ่งโรจน์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร หะวานนท์)
วันที่ 28 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2547

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ศิลปสกุลสุข)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรณ์ ผลโภค)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิรมล ปิยะนิละผลิน)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ สมศักดิ์ มณีรัตน์กุล)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา ศิลป์สกุลสุข ประธานควบคุมปริญญาโท และรองศาสตราจารย์ ดร.ณสรณ์ ผลโภค กรรมการควบคุมปริญญาโท ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นิรมล ปิตะนิละผลิน และอาจารย์สมศักดิ์ มณีรัตน์ ในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาโท ตลอดจนให้คำแนะนำและแก้ไขปริญญาโท ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำปริญญาโทจนสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อน นิสิตปริญญาโท วิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณจุฑามาศ พฤษพิทักษ์ อาจารย์จินตภา สุธังคะ อาจารย์แสงจันทร์ อุ้นเรือน และอาจารย์โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัว โดยเฉพาะอาจารย์พิชิต โสภณวสุ ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

วรรณวนัส เอกศรีรุ่งโรจน์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของงานวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก	4
การเคลื่อนที่แบบคลื่น	9
เส้นเชือกที่มีมวลถ่วง.....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	26
การสร้างอุปกรณ์ในงานวิจัย.....	29
ขั้นตอนการทดลอง.....	32
4 ผลการวิจัย.....	35
การหาค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืด.....	35
การทดลองแสดงการเกิดคลื่นนิ่งตามยาว.....	44
5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	55
สรุปผลการวิจัย.....	55
อภิปรายผลการวิจัย	56
ข้อเสนอแนะ.....	56

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	57
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	59

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 56 เซ็นติเมตร.....	36
2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 62 เซ็นติเมตร.....	37
3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 70 เซ็นติเมตร.....	38
4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 80 เซ็นติเมตร.....	39
5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 93 เซ็นติเมตร.....	40
6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณี ความยาวยางยืด 56 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.44 นิวตัน/เมตร.....	44
7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณี ความยาวยางยืด 62 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.40 นิวตัน/เมตร.....	45
8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณี ความยาวยางยืด 70 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.34 นิวตัน/เมตร.....	47
9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณี ความยาวยางยืด 80 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.31 นิวตัน/เมตร.....	49
10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณี ความยาวยางยืด 93 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.26 นิวตัน/เมตร.....	51
11 แสดงความเร็วที่ได้จากทฤษฎีและความเร็วที่ได้จากการทดลองของยางยืด ขนาดความยาวต่าง ๆ.....	53

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ที่เวลาใดๆ.....	5
2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์ พลังงานรวม และพลังงานจลน์ที่ตำแหน่ง ต่าง ๆ.....	9
3 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง.....	10
4 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว และการเกิดส่วนอัดส่วนขยาย.....	10
5 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นรูปไซน์ ที่เวลาต่างๆ.....	11
6 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เวลา $t = 0$ และ $t = \Delta t$	12
7 แสดงการรวมกันของคลื่นดล 2 ลูกเคลื่อนที่เข้าหากัน.....	14
8 แสดงการรวมคลื่นต่อเนื่อง 2 ขบวน เกิดคลื่นนิ่งที่เวลาต่างๆ.....	15
9 แสดงคลื่นนิ่งที่เวลาต่างๆ เส้นขาดและจุดคือคลื่นย่อย y_1 , y_2 และเส้นเต็ม คือคลื่นรวม y'	16
10 แสดงเส้นเชือกที่เกิดคลื่นนิ่งที่ความยาวคลื่นต่างๆ.....	16
11 (a) แสดงคลื่นนิ่งในท่อยาว l ซึ่งมีปลายเปิดทั้งสองข้าง (b) แสดงคลื่นนิ่งในท่อยาว l ซึ่งมีปลายเปิดข้างหนึ่ง ปิดข้างหนึ่ง.....	17
12 แสดงการเกิดคลื่นสะท้อนที่ขอบเขต.....	18
13 แสดงการตรึงอนุภาคที่ตำแหน่งต่างๆบนเส้นเชือก.....	19
14 แสดงตำแหน่งของมวลที่ $j-1$ และ $j+1$ ที่มีผลกระทบต่อมวลที่ j	19
15 รูปแบบปกติของการแกว่งของเส้นเชือก กรณี $n = 3$	22
16 (a) แสดงการติดมวลบนสปริงที่ต่ออนุกรมกัน (b) แสดงตำแหน่งของมวลที่ $j-1$ และ $j+1$ ที่มีผลกระทบต่อมวลที่ j	23
17 แสดงการออกแบบอุปกรณ์การทดลอง.....	26
18 แสดงการกระจัดของแท่งไม้สั้นที่ j , $j-1$ และ $j+1$	27
19 แสดงโครงเหล็กสำหรับยึดอุปกรณ์ทดลอง.....	29
20 แสดงการเจาะรูบนแผ่นพลาสติก.....	29
21 แสดงการผูกเส้นลวดเล็กๆกับแท่งไม้.....	30
22 แสดงการติดท่อพลาสติกอ่อนที่ปลายแท่งไม้.....	31
23 แสดงส่วนอัด ส่วนขยาย ของคลื่นตามยาว.....	34

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง(แกน Y) กับระยะยืดออกของยางยืด(แกน X) กรณียางยืดยาว 56 เซ็นติเมตร.....	41
25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง(แกน Y) กับระยะยืดออกของยางยืด(แกน X) กรณียางยืดยาว 62 เซ็นติเมตร.....	42
26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง(แกน Y) กับระยะยืดออกของยางยืด(แกน X) กรณียางยืดยาว 70 เซ็นติเมตร	42
27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง(แกน Y) กับระยะยืดออกของยางยืด(แกน X) กรณียางยืดยาว 80 เซ็นติเมตร.....	43
28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง(แกน Y) กับระยะยืดออกของยางยืด(แกน X) กรณียางยืดยาว 93 เซ็นติเมตร.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ในการสอนเรื่องคลื่น พบว่าเป็นการยากมากที่จะพยายามอธิบายการเคลื่อนที่แบบคลื่นให้นักเรียนนักศึกษาเข้าใจ ดังนั้นการศึกษาเรื่องคลื่นที่ผ่านมาจึงได้มีผู้พยายามสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่แบบคลื่น แต่มักจะเป็นคลื่นทางขวาง ดังเช่น

ปี ค.ศ. 1995 Barry Kluger Bell ได้หาวิธีแสดงให้เห็นว่าคลื่นแสง ซึ่งเป็นคลื่นตามขวางมีการเคลื่อนที่อย่างไร โดยใช้ธงกระดาษบางๆ ยาว 10 ฟุต กว้าง 3 นิ้ว ยึดปลายด้านหนึ่งของธงกระดาษกับแกนไม้ ยาว 1 ฟุต กว้าง $\frac{1}{4}$ นิ้ว จัดวางให้ธงกระดาษตั้งฉากกับแกนไม้แล้วใช้ลมจากพัดลมเป่า ปลายแกนไม้เปรียบเป็นประจุไฟฟ้า ธงกระดาษเปรียบเป็นเส้นของสนามไฟฟ้าที่ออกมาจากประจุไฟฟ้า ถ้าแกว่งแกว่งไม้ขึ้น-ลง จะทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนที่ออกไป เปรียบได้กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ออกจากประจุ การออกแรงในการแกว่ง อัตราการแกว่ง และระยะทางการแกว่งของแกว่งไม้ สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ ความยาวคลื่น และพลังงานคลื่นได้

ปี ค.ศ. 1998 Kenneth D. Sheldom and Others ได้สร้างแบบจำลองแสดงคลื่นตามขวาง แบบจำลองประกอบด้วยไม้ที่มีลักษณะเบาหลายอันติดต่อกันที่ปลายทั้งสองข้างของไม้แต่ละอัน แล้วจัดเรียงให้ขนานกันบนสายเคเบิลเหล็ก 2 เส้น สายเคเบิลข้างหนึ่งยึดกับขอกเกี่ยวอีกข้างหนึ่งใช้แรงคนดึงไว้เพื่อให้เกิดแรงดึง ถ้าออกแรงบิดด้านนี้เพียงด้านเดียว ก็จะทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนที่ออกไป ถ้าติดลูกตุ้มด้วยสีสะท้อนแสง การเคลื่อนไหวก็จะชัดเจนขึ้น

ปี ค.ศ. 1999 Ole Anton Haugland ได้แสดงภาพคลื่นจากคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม ไมโครซอฟท์ เอ็กเซล รวมกับโปรแกรมเครื่องมือใน วิซวล เบสิก ก็สามารถแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวางในกรณีของคลื่นดลได้ และยังสามารถแสดงการรวมกันของคลื่นดล 2 คลื่นได้ด้วย

ปี ค.ศ. 2001 Thomas B. Greenslade ได้แสดงวิธีการสร้างแบบจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง โดยใช้แผ่นไม้กระดานยาวหลายๆแผ่นวางขนานกัน สามารถขับเคลื่อนให้เคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นรูปไซน์ด้วยกลไกที่ใช้มือหมุน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ และเวลาที่ใช้ ซึ่งสามารถนำมาสร้างกราฟสามมิติได้

ในปี ค.ศ. 2002 ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้าดูการสาธิตการเกิดคลื่นตามยาว ในการอบรมครูของ กรมสามัญศึกษา ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา ศิลปสกุลสุข ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สาธิตการเกิดคลื่นตามยาวประกอบด้วย ลูกตุ้มแขวนเรียงกัน ยึดกันในแนวระดับด้วยเส้นด้ายยึด เมื่อต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดความถี่ ทำให้เห็นส่วนอัด – ขยาย ของคลื่นได้ แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ เช่น มวล ค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยึด และความถี่ เป็นต้น

ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาว มีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อการศึกษาคลื่นตามยาวของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเป็นอย่างมาก จึงทำการศึกษาและออกแบบสร้าง อุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาวขึ้น เพื่อให้นักเรียนจะได้ทำการทดลองและวิเคราะห์หาความยาว ความถี่ และความเร็ว ของคลื่นตามยาวได้ และสามารถแสดงให้เห็นการเกิดบัพ (Node) ได้ชัดเจน รวมถึงโรงเรียนมัธยมศึกษาต่างๆ ที่จะสามารถทำอุปกรณ์ชิ้นนี้ได้เอง เพราะอุปกรณ์ที่มีราคาถูก และหาง่าย และสามารถประยุกต์หาปริมาณอื่นๆ ที่สนใจได้

1.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้อุปกรณ์แสดงการเกิดคลื่นตามยาว ที่สามารถ แสดงให้เห็นการขยับของตัวกลางขณะเกิดคลื่นนิ่ง

1.2.2 สามารถทำการทดลองวัด ความถี่ ตำแหน่งของบัพ และการกระจัดของตัวกลางเพื่อคำนวณความยาวคลื่น และความเร็วคลื่นได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว

1.3.2 ทดสอบการเกิดคลื่นนิ่ง ให้เห็นส่วนอัด – ขยาย และบัพที่ชัดเจน โดยการเปลี่ยนค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยึด และความถี่ขยับเคลื่อน จนได้เครื่องมือแสดงการเกิดคลื่นที่สามารถวัดตำแหน่งบัพ ได้ไม่น้อยกว่า 2 จุดในช่วงความถี่ขยับเคลื่อนที่แปรค่าจาก 0 ไปถึง 1 Hz โดยประมาณ

1.3.3 ทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดยทำการวัดตำแหน่งบัพ ความถี่ การกระจัดของตัวกลาง และคำนวณความเร็วคลื่น ความยาวคลื่น

1.4 ความสำคัญของงานวิจัย

1.4.1 ได้อุปกรณ์แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว

1.4.2 สามารถนำอุปกรณ์นี้ ไปใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาวของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยสามารถวัดความยาว ความถี่ และความเร็วของคลื่นได้

บทที่ 2

ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple Harmonic Motion)

การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกเป็นการเคลื่อนที่แบบสั่นของวัตถุ(Oscillation of Motion) ที่มีลักษณะเฉพาะ คือ มีแอมพลิจูด พลังงานรวม และเวลาครบรอบ ของการเคลื่อนที่คงที่

จำนวนรอบของการสั่นที่เกิดขึ้นในแต่ละวินาที คือ ความถี่ (f) และเวลาที่สั่นครบ 1 รอบ เรียกว่า คาบของการสั่น (T) เขียนได้ดังสมการ(1)

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(1)$$

2.1.1 การกระจัดของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก เมื่อการกระจัดของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่เป็นฟังก์ชันของเวลา เขียนได้ดังสมการ(2)

$$y(t) = y_m \sin(\omega t + \phi) \dots\dots\dots(2)$$

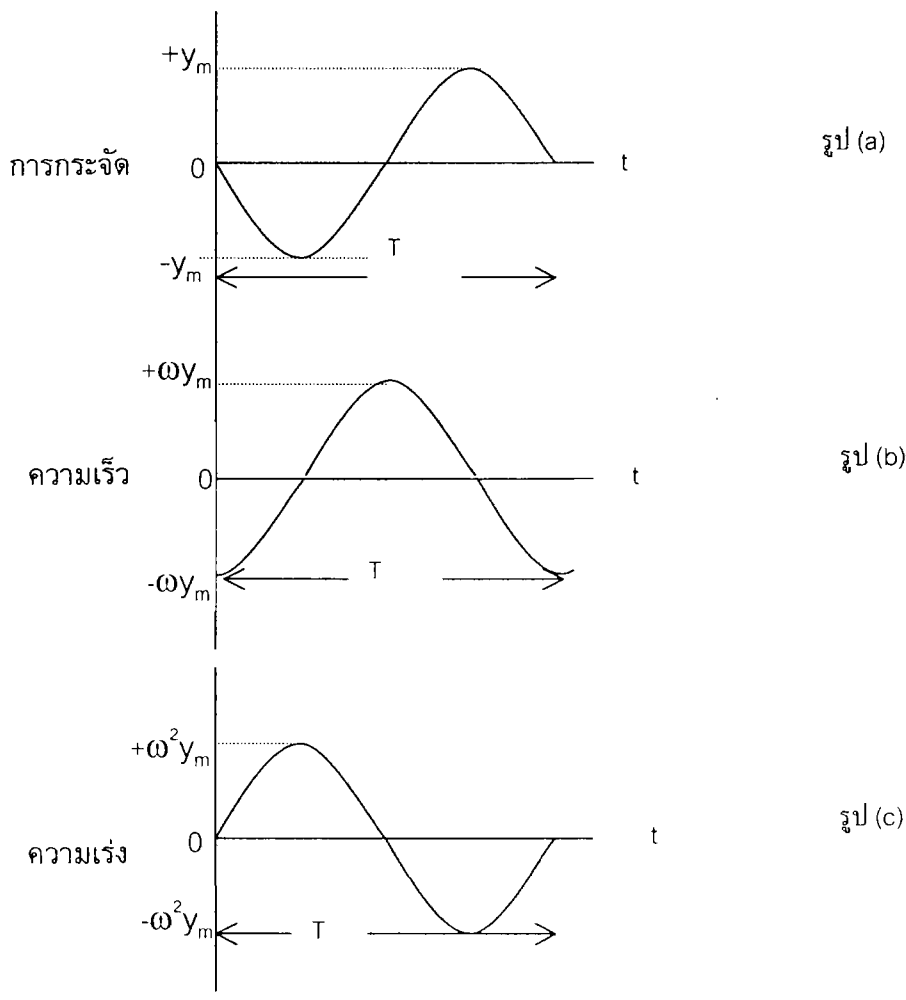
เมื่อ

- $y(t)$ คือ การกระจัดที่เวลา t ใดๆ
- y_m คือ แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่
- ω คือ ความถี่เชิงมุมของการเคลื่อนที่
- ϕ คือ มุมเฟสเริ่มต้นของการเคลื่อนที่
- $\omega t + \phi$ คือ มุมเฟสของการเคลื่อนที่

ถ้า T เป็นคาบของการเคลื่อนที่ จะได้

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \dots\dots\dots(3)$$

โดย y_m, ϕ และ ω เป็นค่าคงที่ ปริมาณ y_m เป็นค่าคงที่เชิงบวก โดยค่าของ y_m บอกถึง การกระจัดสูงสุดของตัวกลาง ส่วน ϕ บ่งบอกสภาพการเคลื่อนที่เริ่มต้น ฟังก์ชันไซน์ในสมการ(2) แปรเปลี่ยนระหว่าง ± 1 ดังนั้นการกระจัด $y(t)$ จึงแปรเปลี่ยนระหว่าง $\pm y_m$ และเขียนกราฟได้ดังภาพ ประกอบ 1(a)



ภาพประกอบ 1 แสดงการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ที่เวลาใดๆ

2.1.2 ความเร็วของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

การหาความเร็วของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบ SHM หาได้โดยการหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาของการกระจัด มีค่าดังสมการ(4)

$$v(t) = \omega y_m \cos(\omega t + \phi) \quad \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ $v(t)$ คือ ความเร็วที่เวลาใดๆ

จากสมการ(4) ถ้าให้ $\phi = 0$ จะเขียนกราฟได้ดังภาพประกอบ 1(b) ความเร็วของอนุภาคแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง $\pm v_m = \pm \omega y_m$ ค่าบวกของ ωy_m เรียกแอมพลิจูดของความเร็ว จากภาพประกอบ 1(a) และ 1(b) เมื่อ $y(t) = y_m$ ค่าของ $v(t) = 0$ และถ้า $y(t) = 0$ ค่าของ $v(t) = v_m = \omega y_m$

2.1.3 ความเร่งของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

การหาความเร่งของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก หาได้โดยการหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาของความเร็ว ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$a(t) = -\omega^2 y_m \sin(\omega t + \phi) \quad \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ $a(t)$ คือความเร่งที่เวลาใดๆ

สมการ(5) สามารถเขียนกราฟได้ดังภาพประกอบ 1(c) ในกรณีที่ $\phi = 0$ ค่าบวกของ $\omega^2 y_m$ ในสมการ(5) เรียก แอมพลิจูดของความเร่ง ความเร่งเปลี่ยนแปลงระหว่าง $\pm a_m = \pm \omega^2 y_m$ ดังภาพประกอบ 1(c) จากสมการ(2) และสมการ(5) เขียนได้ดังสมการ(6)

$$a(t) = -\omega^2 y(t) \quad \dots\dots\dots(6)$$

สมการ(6) แสดงให้เห็นว่าความเร่งแปรผันตามการกระจัด แต่มีทิศตรงข้ามซึ่งเป็นลักษณะของซิมเปิลฮาร์โมนิก

จากภาพประกอบ 1(a) และ 1(c) เมื่อการกระจัดมีค่าบวกสูงสุด ค่าความเร่งจะมีค่าลบสูงสุด และเช่นเดียวกันเมื่อการกระจัดมีค่าเป็นศูนย์ ความเร่งก็จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วย

2.1.4 แรงและพลังงานของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน แรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งตามสมการ(6) มีค่าเป็น

$$F = ma = -m\omega^2 y \quad \dots\dots\dots(7)$$

จากสมการ(7) แสดงว่าแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกแปรผันตามการกระจัด แต่มีทิศตรงข้าม แรงนี้จะดึงมวล m กลับสู่สมดุล เรียก แรงดึงกลับ ซึ่งเป็นแรงตามกฎของฮุค ในกรณีของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกของวัตถุที่ติดกับสปริง โดยแรงดึงกลับ (F) ของสปริงแปรผันตามการกระจัดของวัตถุ (y) และมีทิศตรงข้าม ถ้า k เป็นค่าคงที่ความยืดหยุ่นของสปริง สมการตามกฎของฮุคเขียนได้เป็น

$$F = -ky \quad \dots\dots\dots(8)$$

จากสมการ(7) และ (8) จะได้ $k = m\omega^2$ นั่นคือ

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

จากสมการ(3) และสมการ(9) สามารถหาคาบและความถี่ ได้ตั้งสมการ(10) และ (11)

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

และ

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกพลังงานกลจะแปรเปลี่ยนกลับไปกลับมาระหว่างพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ ในขณะที่ผลรวมของพลังงานมีค่าคงที่

พลังงานศักย์ $U(t)$ ของการเคลื่อนที่มีค่าขึ้นอยู่กับการกระจัด

$$U(t) = \frac{1}{2}ky^2 = \frac{1}{2}ky_m^2 \sin^2(\omega t + \phi) \quad \dots\dots\dots(12)$$

พลังงานจลน์ $K(t)$ ของการเคลื่อนที่มีค่าขึ้นอยู่กับความเร็ว

$$K(t) = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2y_m^2 \cos^2(\omega t + \phi) \quad \dots\dots\dots(13)$$

แทนค่าคงที่ $k = m\omega^2$ ลงในสมการ(13) เขียนใหม่ได้เป็น

$$K(t) = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}ky_m^2 \cos^2(\omega t + \phi) \quad \dots\dots\dots(14)$$

พลังงานกลรวม (E) เขียนได้ดังนี้

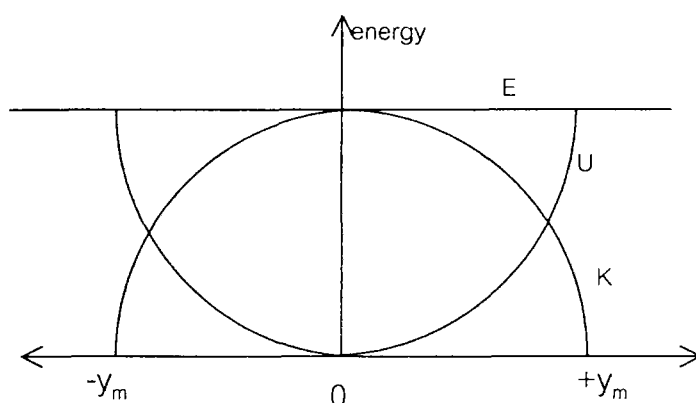
$$E = U + K$$

$$= \frac{1}{2}ky_m^2 \sin^2(\omega t + \phi) + \frac{1}{2}ky_m^2 \cos^2(\omega t + \phi)$$

$$= \frac{1}{2}ky_m^2 [\sin^2(\omega t + \phi) + \cos^2(\omega t + \phi)]$$

$$= \frac{1}{2}ky_m^2 \quad \dots\dots\dots(15)$$

พลังงานรวมของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกคงที่ในทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ แสดงได้ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานศักย์ พลังงานรวมและพลังงานจลน์ที่ตำแหน่ง ต่างๆ

2.2 การเคลื่อนที่แบบคลื่น(Waves Motion)

คลื่น (waves) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรบกวนแหล่งกำเนิดหรือตัวกลาง ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและมีการถ่ายโอนพลังงานจากการสั่นสะเทือนไปยังจุดอื่นๆ โดยที่อนุภาคของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่น

สำหรับคลื่นกล (Mechanical waves) เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เมื่อมีพลังงานคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง จะทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นกลับไปกลับมาแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก การเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางที่คลื่นแผ่ผ่านจะเป็นตามสมการ

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi)$$

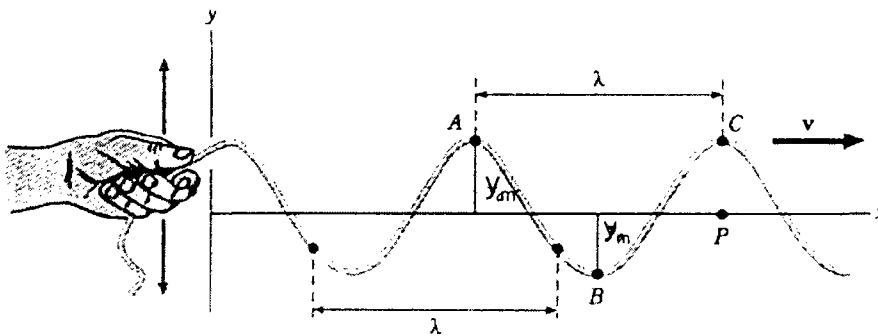
ในกรณีที่เฟสเริ่มต้น $\phi = 0$ จะเขียนสมการการกระจัดของอนุภาคในตัวกลางได้เป็น

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad \dots\dots\dots(16)$$

2.2.1 ชนิดของคลื่นกล

แบ่งคลื่นกลตามทิศการสั่นของอนุภาคตัวกลางเทียบกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นได้เป็น คลื่นตามขวางและคลื่นตามยาว

คลื่นตามขวาง (transverse waves) หมายถึงคลื่นซึ่งเมื่อส่งผ่านตัวกลางใดไปจะทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นในแนวตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นในเส้นเชือกที่ถูกสะบัดในแนวตั้งฉากกับความยาวของเชือก

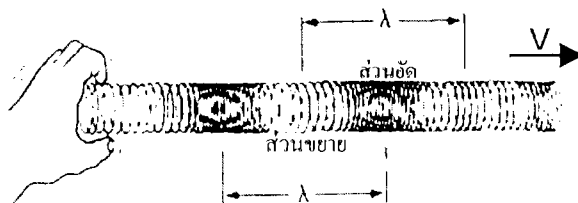


ภาพประกอบ 3 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามขวาง

ที่มา : Bueche & Jerde. (1995). *Principle Of Physics*. p.416

$$\lambda = \text{ความยาวคลื่น} \qquad y_m = \text{แอมพลิจูดของคลื่น}$$

คลื่นตามยาว (longitudinal waves) หมายถึงคลื่นซึ่งเมื่อส่งผ่านตัวกลางใดไป จะทำให้อนุภาคของตัวกลางนั้นสั่นในแนวเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น และตัวกลางไม่อยู่ในสมดุล ทำให้เกิด ส่วนอัด และ ส่วนขยาย เช่น คลื่นในสปริงที่ถูกแรงดันไปตามความยาวของสปริง ดังภาพประกอบ

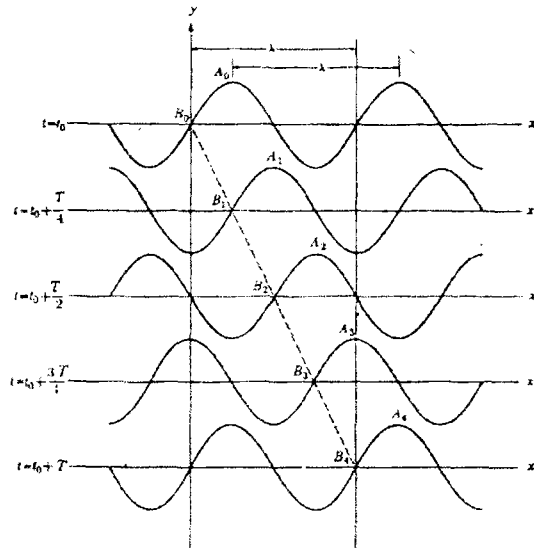


ภาพประกอบ 4 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว และการเกิดส่วนอัดส่วนขยาย

ที่มา : Michael E Browne. (1998). *Physics for Engineering and Science*. p.192

2.2.2 คุณลักษณะของคลื่น

จากสมการ(16) สามารถเขียนกราฟระหว่างการกระจัด y ของตัวกลาง ที่ตำแหน่ง (x) ขณะเวลาต่าง ๆ กัน ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นรูปไซน์ ที่เวลาต่างๆ
ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย. (1982). ฟิสิกส์ 2. หน้า 117

จากภาพประกอบ 5 ที่เวลา $t = 0$ สมการ (16) เขียนได้

$$y(x,0) = y_m \sin kx \dots\dots\dots(17)$$

และการกระจัด y จะเท่ากันที่ตำแหน่ง $x = x_1$ และ $x = x_1 + \lambda$ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} y_m \sin kx_1 &= y_m \sin k(x_1 + \lambda) \\ &= y_m \sin(kx_1 + k\lambda) \\ &= y_m \sin(kx_1 + 2\pi) \dots\dots\dots(18) \end{aligned}$$

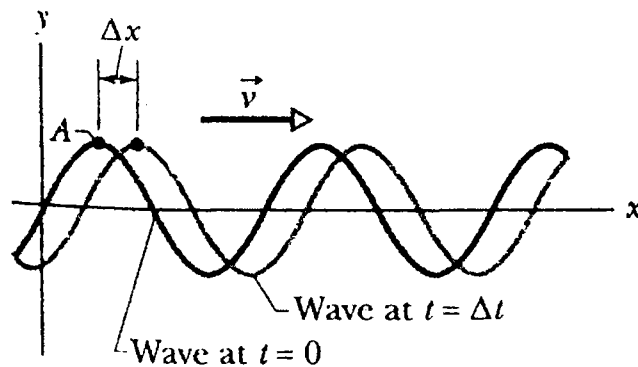
จากสมการ(18) และภาพประกอบ 5 จะเห็นว่ากราฟรูปไซน์ จะเริ่มต้นใหม่เมื่อเพิ่มมุมทุกๆ 2π เรเดียน นั่นคือ $k\lambda = 2\pi$ หรือ

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \dots\dots\dots(19)$$

ค่า k เรียกว่า เลขคลื่น (wave number) มีหน่วยในระบบ SI เป็นเรเดียนต่อเมตร

2.2.3 อัตราเร็วของคลื่น

ภาพประกอบ 6 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่น เมื่อเวลาผ่านไป Δt ในทิศ $+x$ ตามสมการ(16) (มีทิศไปทางขวา) และเคลื่อนที่ได้ระยะทาง Δx อัตราส่วน $\Delta x / \Delta t$ เป็นอัตราเร็วคลื่น (Wave Speed)



ภาพประกอบ 6 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เวลา $t = 0$ และ $t = \Delta t$
ที่มา : ที่มา : Halliday , Resnick & Walker. (1994). *Fundamentals of Physics*. p.375

จากภาพประกอบ 6 พิจารณาการเคลื่อนที่ของคลื่นในทิศ $+x$ ด้วยอัตราเร็ว v จุดใดๆบนคลื่นมีการกระจัด y คงที่ เมื่อเวลาผ่านไป Δt จะเลื่อนไปเป็นระยะทาง Δx แสดงว่ามุมเฟสตามสมการ(16) ต้องคงที่นั่นคือ

$$kx - \omega t = \text{ค่าคงที่} \quad \dots\dots\dots(20)$$

ถึงแม้ว่า $kx - \omega t$ คงที่ แต่ x และ t จะเปลี่ยนแปลง เช่นถ้า t เพิ่ม x ก็เพิ่มตาม เพื่อที่จะทำ
ให้ค่า $kx - \omega t$ คงที่ ตำแหน่งที่เฟสคงที่ของคลื่นจึงต้องเคลื่อนที่ไปตามทิศ $+x$
อัตราเร็วคลื่น (v) สามารถหาได้โดยการหาอนุพันธ์ของสมการ(20)

$$k \frac{dx}{dt} - \omega = 0$$

หรือ
$$\frac{dx}{dt} = v = \frac{\omega}{k} \dots\dots\dots(21)$$

แทนค่า $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ และ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ลงในสมการ(21) จะได้อัตราเร็วคลื่นเป็น

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \dots\dots\dots(22)$$

สมการ(16) แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นไปตามทิศ $+x$ เราสามารถหาสมการ
การเคลื่อนที่ในทิศ $-x$ ได้ในทำนองเดียวกัน ดังนี้

$$kx + \omega t = \text{ค่าคงที่} \dots\dots\dots(23)$$

สมการ(23) แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไปค่า x ลดลง คลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามทิศ $-x$
เขียนเป็นสมการการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$y(x, t) = y_m \sin(kx + \omega t) \dots\dots\dots(24)$$

หาอัตราเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามทิศ $-x$ ได้โดยการหาอนุพันธ์ของสมการ(23)

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{\omega}{k} \dots\dots\dots(25)$$

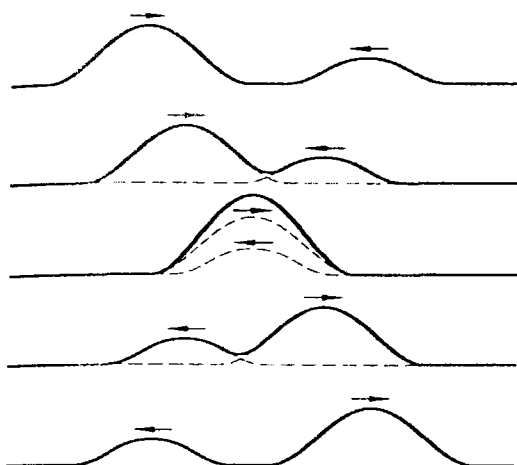
จากสมการ(16) และสมการ(24) เขียนรวมกันเป็นสมการการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังนี้

$$y(x, t) = y_m \sin(kx \pm \omega t) \quad \dots\dots\dots(26)$$

2.2.4 หลักการรวมคลื่น (The Principle of Superposition for Waves)

เมื่อคลื่นดล 2 ลูก เคลื่อนที่เข้าหากัน มันจะรวมกันตามหลักการรวมคลื่น

ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงการรวมกันของคลื่นดล 2 ลูกเคลื่อนที่เข้าหากัน

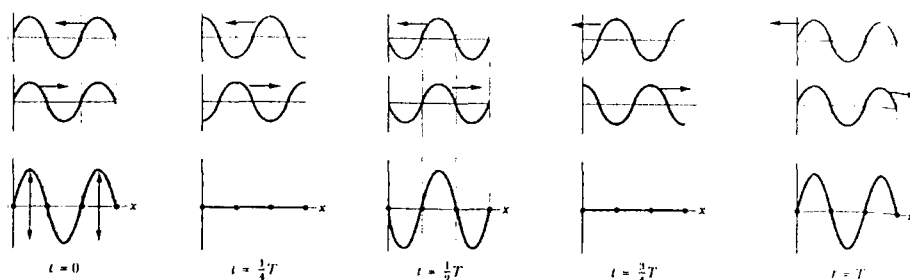
ที่มา : David Halliday Robert Resnick & Jearl Walker. (1994). *Fundamentals of Physics*.p.383

ถ้าให้ $y_1(x, t)$ และ $y_2(x, t)$ เป็นการกระจัดของคลื่นทั้ง 2 ลูก เมื่อเคลื่อนที่มาพบกัน การกระจัดจะรวมกัน ดังนี้

$$y'(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad \dots\dots\dots(27)$$

2.2.5 คลื่นนิ่ง (Standing Waves)

คลื่นนิ่งเกิดจากการที่คลื่นรูปไซน์เหมือนกัน 2 ขบวน ที่มีความยาวคลื่นและแอมพลิจูดเท่ากัน เคลื่อนที่เข้าหากัน และเกิดการรวมกัน เป็นดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงการรวมคลื่นต่อเนื่อง 2 ขบวน เกิดคลื่นนิ่ง ที่เวลาต่างๆ
 ที่มา : David Halliday Robert Resnick & Jearl Walker. (1994). Fundamentals of Physics.p.388.

จากภาพประกอบ 8 กำหนดให้คลื่นทั้ง 2 ขบวน มีสมการคลื่นเป็น

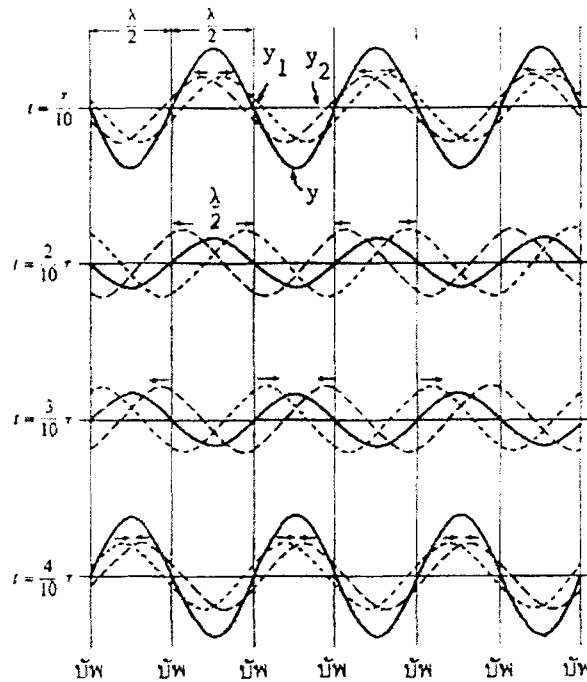
$$y_1(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad \text{เคลื่อนที่ไปทาง +X} \quad \dots\dots\dots(28)$$

$$y_2(x, t) = y_m \sin(kx + \omega t) \quad \text{เคลื่อนที่ไปทาง -X} \quad \dots\dots\dots(29)$$

จากหลักการรวมคลื่น จะได้

$$\begin{aligned} y'(x, t) &= y_1(x, t) + y_2(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) + y_m \sin(kx + \omega t) \\ &= y_m [(\sin kx \cos \omega t - \cos kx \sin \omega t) + (\sin kx \cos \omega t + \cos kx \sin \omega t)] \\ &= [2y_m \sin kx] \cos \omega t \quad \dots\dots\dots(30) \end{aligned}$$

สมการ(30) คือสมการของคลื่นนิ่ง โดยมี $[2y_m \sin kx]$ เป็นแอมพลิจูดของคลื่นนิ่ง การกระจัด (y') ขึ้นกับตำแหน่ง x ในตัวกลาง ที่แอมพลิจูดของคลื่นนิ่งเป็น 0 คือตำแหน่ง $kx = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$ เรียกว่า บัพ (node) และที่แอมพลิจูดของคลื่นนิ่งเป็น $2y_m$ คือตำแหน่ง $kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots$ เรียกว่า ปฏิบัพ (antinode) คลื่นนิ่งจะมีตำแหน่งบัพและปฏิบัพสลับกันไป กราฟของคลื่น y_1, y_2, y' แสดงไว้ดังภาพประกอบ 9

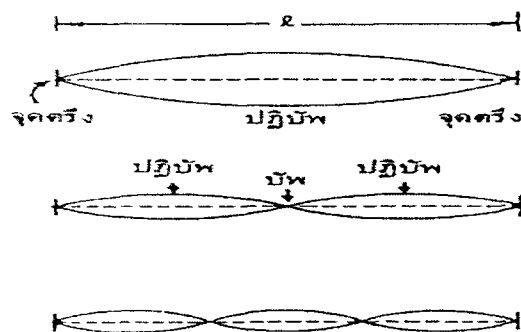


ภาพประกอบ 9 แสดงคลื่นนิ่งในเวลาต่างๆ เสนอขนาดและจุดคอดกนขอย y_1 y_2 และเส้นเต็ม คือคลื่นรวม y'

ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย. (1982). ฟิสิกส์ เล่ม 2. หน้า 134.

2.2.5.1 คลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่ตรึงทั้งสองปลาย

ถ้าผูกเชือกไว้ที่ปลายข้างหนึ่ง ดึงให้ตึงแล้วทำให้เกิดคลื่นขึ้นในเส้นเชือก เมื่อคลื่นตกกระทบเคลื่อนที่ไปถึงปลายที่ผูกไว้ จะเกิดคลื่นสะท้อนกลับในทิศตรงข้าม มีมุมเฟสต่างจากเดิม π เรเดียน คลื่นทั้งสองชุดรวมกันจะได้คลื่นนิ่ง ถ้าเชือกถูกตรึงไว้ทั้งสองปลาย ก็จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับไปที่ปลายทั้งสอง ตำแหน่งที่ผูกไว้ทั้งสองปลายจึงเป็นบัพ ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แสดงเส้นเชือกที่เกิดคลื่นนิ่งที่ความยาวคลื่นต่างๆ

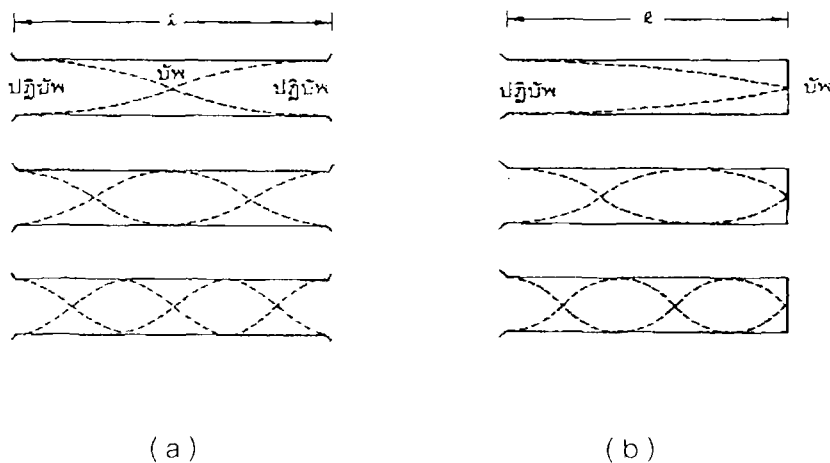
ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย. (1982). ฟิสิกส์ เล่ม 2. หน้า 135.

จากภาพประกอบ 10 ระยะห่างของบัพที่ติดกันมีค่า $\frac{\lambda}{2}$ เนื่องจากความยาวของเชือก

คงที่แต่ λ อาจเป็น $\frac{\lambda}{2}, 2\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, \dots, \frac{n\lambda}{2}$ (เมื่อ $n = 1, 2, 3, \dots$) พิจารณากรณีความเร็วของคลื่นคงที่ ความถี่คลื่นหนึ่งที่เกิดในแต่ละรูปแบบจึงไม่เท่ากัน เรียกรูปแบบต่างๆของการสั่นที่เกิดขึ้นได้นี้ว่า ฮาร์มอนิก โดยความถี่ต่ำสุด (f_1) เรียก ฮาร์มอนิกที่ 1 ความถี่ถัด ๆ ไปเรียกฮาร์มอนิกที่ 2, 3, สำหรับเชือกที่ขึงให้ตึงทั้ง 2 ปลายนี้ เกิดได้ทุกฮาร์มอนิก

2.2.5.2 คลื่นนิ่งของคลื่นตามยาว

คลื่นตามยาว เช่น คลื่นที่เกิดจากการอัดตัวของก๊าซในท่อ หรือคลื่นเสียง จะมีการสะท้อนที่ปลายท่อ เกิดเป็นคลื่นนิ่งได้ ตรงปลายปิดของท่อจะเป็นตำแหน่งบัพ ตรงปลายเปิดจะเป็นตำแหน่งปฏิบัพ ลักษณะของท่อมี 2 แบบ ท่อปลายเปิด คือ เปิดทั้ง 2 ข้าง และท่อปลายปิด คือ ปลายเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง จะเกิดคลื่นนิ่งได้ทั้ง 2 แบบ ดังภาพประกอบ 11



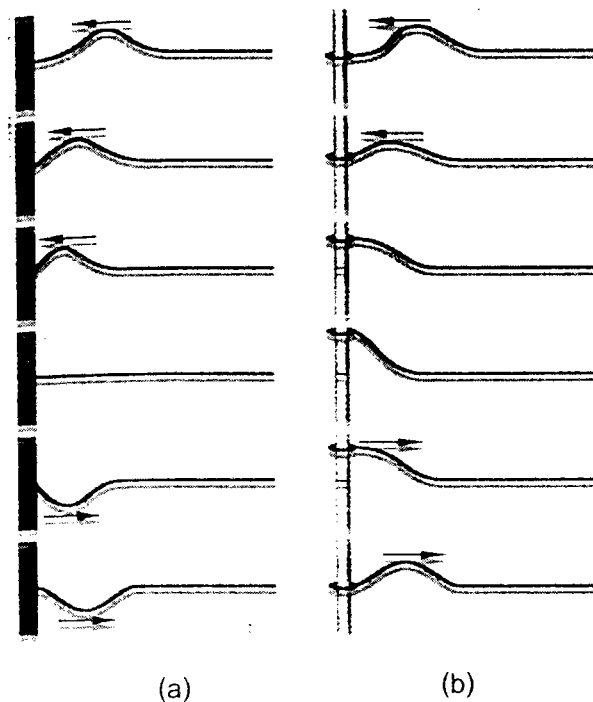
ภาพประกอบ 11 (a) แสดงคลื่นนิ่งในท่อยาว | ซึ่งมีปลายเปิดทั้งสองข้าง (b) แสดงคลื่นนิ่งในท่อ ยาว | ซึ่งมีปลายเปิดข้างหนึ่ง ปิดข้างหนึ่ง

ที่มา : ทบวงมหาวิทยาลัย. (1982). *ฟิสิกส์ เล่ม 2*. หน้า 136.

กรณีปลายเปิดทั้ง 2 ข้าง จะมีตำแหน่งปฏิบัพที่ปลายทั้ง 2 คลื่นนิ่งจะเกิดขึ้นได้
ทุกฮาร์มอนิก สำหรับท่อปลายเปิดข้างหนึ่งปิดข้างหนึ่ง จะเกิดบัพที่ปลายปิด และเกิดปฏิบัพที่
ปลายเปิด จะเห็นว่าความถี่ $f_1 = \frac{v}{4l}$ ดังนั้น ความถี่ต่อไปที่อาจจะเกิดขึ้นได้ คือ $f_3 = 3\frac{v}{4l}$,
 $f_5 = 5\frac{v}{4l}$ ไปเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นฮาร์มอนิกคือ

2.2.6 การสะท้อนที่ขอบเขต (Reflection at a Boundary)

การสะท้อนของคลื่นที่ขอบเขต มี 2 กรณี คือ ปลายตรึงแน่น กับ ปลายอิสระ
แสดงดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงการเกิดคลื่นสะท้อนที่ขอบเขต

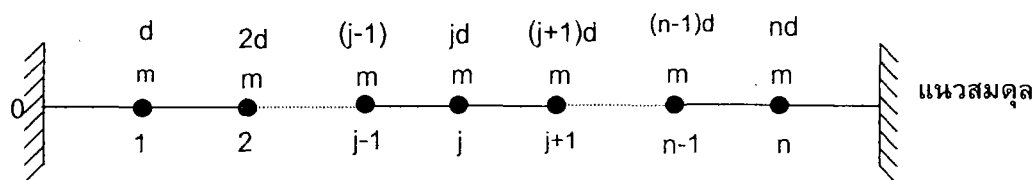
ที่มา : David Halliday Robert Resnick & Jearl Walker. (1994). *Fundamentals of Physics*.p.389.

ภาพประกอบ 12(a) แสดงการสะท้อนของคลื่นที่ปลายตรึง ซึ่งคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงข้ามกับคลื่น
ตกกระทบ และภาพประกอบ 12(b) แสดงการเกิดคลื่นสะท้อนที่ปลายอิสระ ซึ่งคลื่นสะท้อนมีเฟสเดียว
กันกับคลื่นตกกระทบ

2.3 เส้นเชือกที่มีมวลถ่วง (The Loaded String)

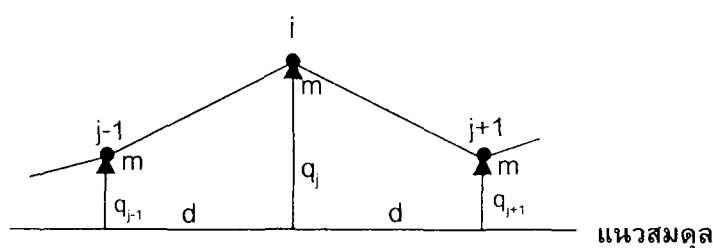
ระบบเส้นเชือกที่มีมวลถ่วง เป็นระบบของเชือกยืดหยุ่น หรือสปริง ที่มีการนำอนุภาคหลายๆอนุภาค ขนาดมวลเท่ากัน มาตรึงบนเชือก ด้วยระยะห่างเท่ากัน และปลายเชือกทั้งสองถูกตรึงให้อยู่ในสภาวะสมดุล

ถ้าพิจารณากรณีมีวัตถุ n อนุภาค แต่ละอนุภาคมีมวล m ถูกตรึงบนเส้นเชือกยาว l ระยะห่างระหว่างอนุภาค (ดังภาพประกอบ 13) จะเป็น d ที่ทำให้ $l = (n + 1)d$



ภาพประกอบ 13 แสดงการตรึงอนุภาคที่ตำแหน่งต่างๆบนเส้นเชือก

พิจารณาการสั่นตามขวาง (transverse oscillation) ของอนุภาคที่ $j-1$, j และ $j+1$ ที่มีการกระจัดแนวตั้ง (vertical displacement) เป็น q_{j-1} , q_j และ q_{j+1} ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 แสดงตำแหน่งของมวลที่ $j-1$ และ $j+1$ ที่มีผลกระทบบต่อมวลที่ j

ถ้าการกระจัดแนวตั้ง q_{j-1}, q_j และ q_{j+1} มีค่าน้อยๆ จะประมาณได้ว่า แรงดึงเชือก T คงที่ และมีค่าเท่ากับที่ตำแหน่งสมดุล

สำหรับกรณีที่มีการกระจัดมีค่าน้อยๆ ส่วนของเชือกระหว่างคู่ของอนุภาค จะทำมุมเล็กๆ กับแนวสมดุล และจะประมาณได้ว่า ค่าไซน์ของมุมเล็กๆนี้มีค่าเท่ากับค่าแทนเจนต์ของมุมนี้ ดังนั้น จะได้แรงที่ดึงอนุภาค j กลับสู่ตำแหน่งสมดุล เป็น

$$F_j = -\frac{T}{d}(q_j - q_{j-1}) - \frac{T}{d}(q_j - q_{j+1}) \quad \dots\dots\dots(31)$$

จากกฎของนิวตัน แรง F_j จะทำให้อนุภาคมวล m มีความเร่งตามสมการ

$$\ddot{q}_j = \frac{T}{md}(q_{j-1} - 2q_j + q_{j+1}) \quad \dots\dots\dots(32)$$

หรืออาจเขียนเป็น

$$\ddot{q}_j = \omega_0^2(q_{j-1} - 2q_j + q_{j+1}) \quad \dots\dots\dots(33)$$

โดยที่ $\omega_0 = \sqrt{\frac{T}{md}}$

สมการ (33) เป็นสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ j ระบบนี้เป็นระบบที่เชื่อมติดกัน (coupled) ซึ่งแรงที่กระทำบนอนุภาคที่ j ขึ้นกับตำแหน่งของอนุภาคตัวที่ $j-1$ และ $j+1$

การหาคำตอบของสมการ (33) ต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ที่จุดปลายทั้งสองของเชือก (จุดตรึง) เป็น $q_0 = 0$ และ $q_{n+1} = 0$

เพื่อที่จะหาคำตอบของระบบที่ประกอบด้วย n สมการของรูปแบบการสั่นแบบปกติ(normal mode of oscillation) สมมติให้อนุภาคทุกตัวบนเส้นเชือกมีการสั่นแบบไซน์(sinusoidal)ด้วยความถี่เดียวกัน การกระจัดของการสั่นจะเป็น

$$q_j(t) = A_j \exp(i\omega t) \dots\dots\dots(34)$$

โดย A_j เป็นแอมพลิจูดของการสั่นซึ่งเป็นเชิงซ้อน
แทนสมการ (34) ลงในสมการ (33) ทำให้ได้สมการของแอมพลิจูดดังนี้

$$(-\omega^2 + 2\omega_0^2)A_j - \omega_0^2(A_{j-1} + A_{j+1}) = 0, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(35)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตที่ $q_0 = 0$ และ $q_{n+1} = 0$ ซึ่งทำให้ได้ $A_0 = 0$ และ $A_{n+1} = 0$

เพื่อที่จะหาค่า ω จำนวน n ตัว ซึ่งเป็นคำตอบของสมการ(35) สมมติให้แอมพลิจูดของอนุภาค j เป็นไปตามรูปแบบ

$$A_j = A \sin(j\phi) \dots\dots\dots(36)$$

ϕ เป็นมุมมุมหนึ่ง ซึ่งจะหาคำตอบในลำดับต่อไป แทนค่าสมการ(36) ลงในสมการ(35)

โดยให้ A_{j-1} และ A_{j+1} มีรูปแบบเช่นเดียวกับสมการ(36) จะได้

$$(-\omega^2 + 2\omega_0^2)\sin(j\phi) - \omega_0^2[\sin(j-1)\phi + \sin(j+1)\phi] = 0$$

ซึ่งลดรูปลงได้เป็น

$$\omega^2 = \omega_0^2(2 - 2\cos\phi) = 4\omega_0^2 \sin^2 \frac{\phi}{2}$$

$$\omega = 2\omega_0 \sin \frac{\phi}{2} \dots\dots\dots(37)$$

สมการ(37) แสดงความสัมพันธ์ของความถี่ปกติในเทอมของมุม ϕ ค่าของมุมนี้สามารถหาได้โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต $A_j = 0$ เมื่อ $j = 0$ และ $j = n + 1$ กับสมการ(36) ซึ่งผลที่ได้คือ

$$(n + 1)\phi = N\pi, \quad N = 1, 2, 3, \dots \dots\dots(38)$$

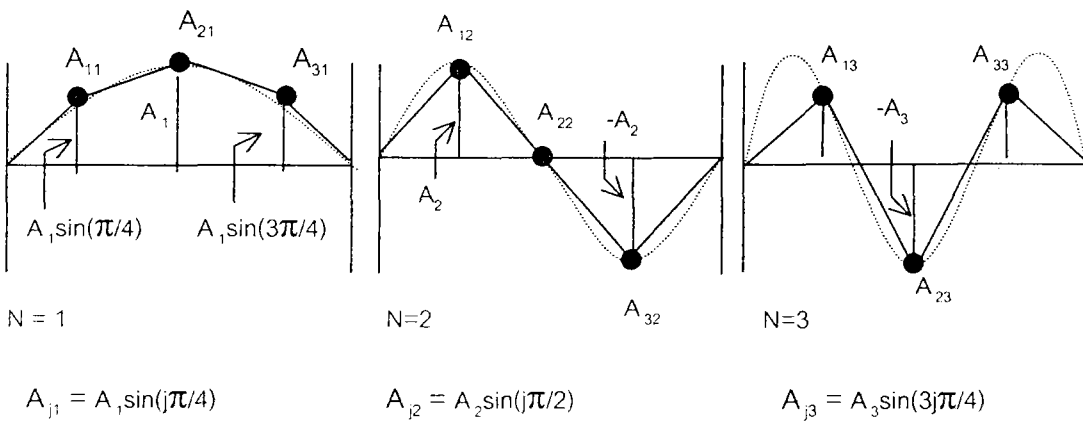
แทนค่า ϕ จากสมการ(38) ลงในสมการ(37) จะได้ความถี่ทั่วไปเป็น

$$\omega_N = 2\omega_0 \sin \frac{N\pi}{2(n+1)} \dots\dots\dots(39)$$

และแอมพลิจูดสำหรับการสั่นทั่วไปหาได้โดย

$$A_{jN} = A_N \sin \frac{N\pi j}{(n+1)} \dots\dots\dots(40)$$

ค่า $j = 1, 2, \dots, n$ แทนอนุภาคบนเส้นเชือกและ $N = 1, 2, \dots$ แทนรูปแบบของการสั่น รูปแบบการสั่นที่แตกต่างกันของมวล 3 อัน แสดงดังภาพประกอบ 15



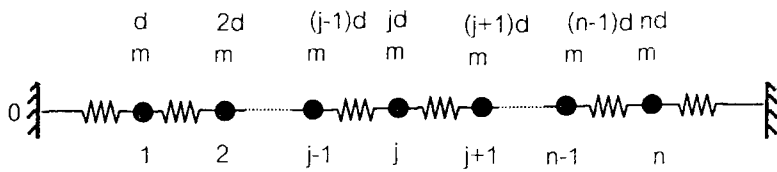
ภาพประกอบ 15 รูปแบบปกติของการแกว่งของเส้นเชือกกรณี $n = 3$

แทน A_{jN} จากสมการ(40) ลงในสมการ(34) และพิจารณาในส่วนที่เป็นค่าจริง จะได้สมการการกระจัดทั่วไปของอนุภาคตัวที่ k ในรูปแบบที่ N เป็น

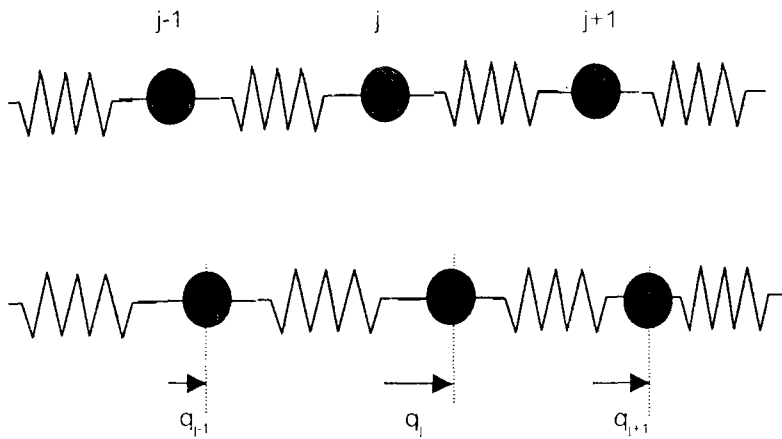
$$q_{jN}(t) = A_N \sin \frac{N\pi j}{(n+1)} \cos(\omega_N t) \dots\dots\dots(41)$$

จำนวนรูปแบบทั้งหมดของการเกิดคลื่นหนึ่งสำหรับการสั่นเชิงเส้นที่มีมวล n ก้อน จะมีรูปแบบการสั่น n รูปแบบ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ โดยอาศัยสมการ(38) และสมการ(39) ส่วนรูปแบบที่สูงกว่า $N = n$ สมการนี้ไม่ได้ให้ความหมายเชิงฟิสิกส์ที่แตกต่างจาก $N = 1$ ถึง $N = n$ ซึ่งจะมีความถี่ N ค่าที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด

พิจารณาการสั่นตามยาว(longitudinal oscillation) ในกรณีการสั่นตามแนวสปริง ดังภาพประกอบ16 ซึ่งสามารถอธิบายรูปแบบปกติของการสั่นและความถี่ได้ในทำนองเดียวกันดังนี้



(a)



(b)

ภาพประกอบ16(a) แสดงการติดมวลบนสปริงที่ต่ออนุกรมกัน (b) แสดงตำแหน่งของมวลที่ $j-1$ และ $j+1$ ที่มีผลกระทบต่อมวลที่ j

แรงที่กระทำต่ออนุภาค j ตามสมการ(31) จะเป็นสัดส่วนกับการกระจัดในแนวตามยาวของสปริง ดังนั้นเราสามารถเขียนแรงที่กระทำกับอนุภาค j ดังสมการ(42)

$$F_j = -k(q_j - q_{j-1}) - k(q_j - q_{j+1}) \dots\dots\dots(42)$$

ค่า k เป็นค่าคงที่ความยืดหยุ่นของสปริง และสมการการเคลื่อนที่ของคลื่นจากสมการ(32) จะเป็น

$$\ddot{q}_j = \frac{k}{m}(q_{j-1} - 2q_j + q_{j+1}) \dots\dots\dots(43)$$

เปรียบเทียบสมการ(43) กับสมการ(33) จะได้ค่า ω_0 เป็น

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (44)$$

ด้วยวิธีการได้มาเช่นเดียวกับสมการ(39) ความถี่เชิงมุมในการสั่นของรูปแบบที่ N สำหรับคลื่นตามยาวเขียนได้ดังสมการ(45)

$$\omega_N = 2\sqrt{\frac{k}{m}} \sin\left(\frac{N\pi}{2(n+1)}\right) \dots\dots\dots(45)$$

จากคลื่นนิ่งเกิดจากคลื่นสองขบวนเคลื่อนที่สวนทางกัน เมื่อเทียบเคียงกับสมการคลื่นนิ่งสมการ(30) สำหรับการสั่นของอนุภาคบนสปริง จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$A_N \sin\left(\frac{j}{n+1} N\pi\right) \cos \omega_N t = \frac{A_N}{2} \sin\left[\frac{N\pi}{n+1} (j + v_N t)\right] + \frac{A_N}{2} \sin\left[\frac{N\pi}{n+1} (j - v_N t)\right] \dots\dots\dots(46)$$

เมื่อ v_N เป็นความเร็วคลื่นในรูปแบบ N ซึ่งด้านซ้ายของสมการ(46) เป็นสมการรูปแบบคลื่นนิ่ง และด้านขวาเป็นสมการคลื่นเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและทางขวาตามลำดับ ความเร็วคลื่น v_N จะสัมพันธ์

กับเลขคลื่น $k_N = \frac{N\pi}{(n+1)}$ โดย $k_N v_N = \omega_N$ ซึ่งจะได้รูปแบบสมการความเร็วคลื่นดังนี้

$$v_N = \frac{2\omega_0(n+1)}{N\pi} \sin\left(\frac{N\pi}{2(n+1)}\right) \dots\dots\dots(47)$$

และสามารถหาความยาวคลื่นในรูปแบบ N โดย

$$\lambda_N = \frac{2(n+1)}{N} \dots\dots\dots(48)$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ. 1993 Vincent Santarelli, Joyce Carolla, และ Michael Ferner ได้ทำการทดลองหาความเร็วคลื่นเสียงในอากาศโดยใช้ท่อ Card board mailing tube ปลายด้านหนึ่งของท่อมีลำโพงติดอยู่ อีกด้านสอดไมโครโฟนที่เลื่อนไปมาได้เพื่อหาดำแหน่ง เรโซแนนซ์ ได้ความยาวคลื่น แล้วนำไปคำนวณหาความเร็วคลื่นเสียงในอากาศได้

ปี ค.ศ. 1993 Roset Khosropour, Rawlings Lamberton, และ Scott Paulinsky ได้ทำการทดลองวัดความเร็วคลื่นเสียงในอากาศ โดยใช้สเปส โฟน ซึ่งประกอบด้วยหลอดสลิ้งขดเป็นวง ๆ ยาว (ขณะยังไม่ยืด) ประมาณ 1 เมตร ปลายทั้งสองของหลอดเชื่อม แมกกาโฟน 2 อัน เข้าด้วยกัน แต่ละอันประกอบด้วย ไดอะแฟรมบาง ๆ ที่ยึดหยุ่นได้เชื่อมต่อกับกรวยพลาสติก แล้วนำไปต่อกับ ออสซิลโลสโคป เพื่อวัดคาบและความถี่ของคลื่นเสียง

ปี ค.ศ. 1997 E. Kashy, D.A. Johnson, J. McIntyre, และ S,L, Wolfe ได้ทำการทดลองเรื่องคลื่นนิ่งตามขวางในเส้นเชือกปลายเปิด การทำให้เส้นเชือกเป็นปลายเปิด ทำโดยนำเชือกไปต่อกับแหวนไรรู้น้ำหนักที่เลื่อนไปมาอย่างอิสระบนเสาเส้น เพื่อไม่ทำให้เกิดแรงตามขวางบนเสา

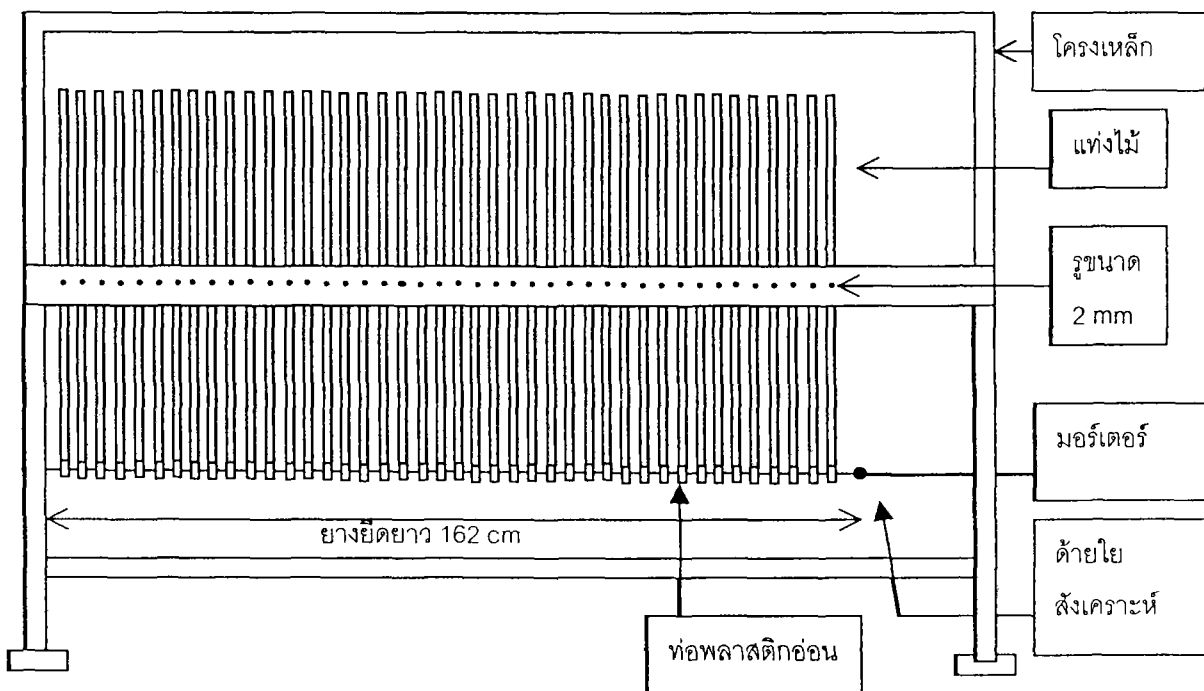
ปี ค.ศ. 1996 David Kerports ได้ทำการทดลองหาความเร็วคลื่นเสียงในอากาศ อุปกรณ์ประกอบด้วยกรวยขยายเสียงพลาสติก 2 อัน ต่อกับสปริง โดยช่วงสำคัญอยู่ที่เสียงที่เกิดจากอุปกรณ์สาธิตเมื่อสปริงถูกยืดออกและกระตุก ทำให้เกิดการสั่นมีเสียงสะท้อนไปมาระหว่างกรวย 2 อัน ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงแปลก ๆ เหมือนเสียงของเกมส์ตู้ที่ออกไมค์ และสามารถทดลองได้ว่าความเร็วคลื่นที่วัดได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวสปริง

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนที่แบบคลื่นตามยาว ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนอัด ส่วนขยาย ของคลื่นหนึ่ง และการขยับตัวของอนุภาคตัวกลางขณะที่ คลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่าน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

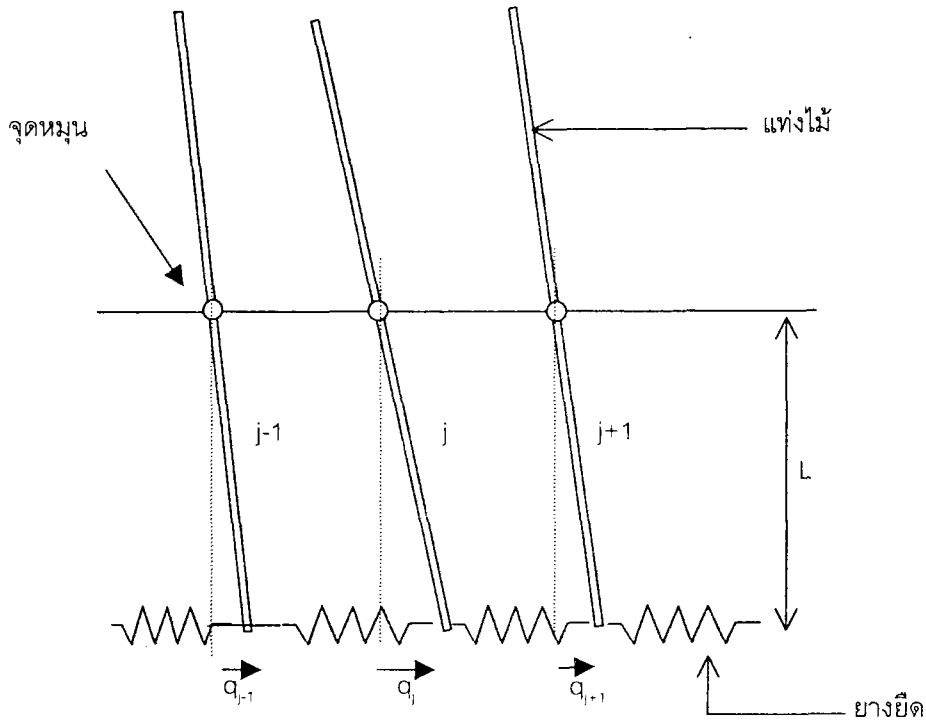
3.1 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์เพื่อแสดงถึง ส่วนอัด ส่วนขยาย ของคลื่นหนึ่ง และการขยับ ตัวของอนุภาคตัวกลางขณะมีคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่าน โดยใช้แท่งไม้ทรงกระบอก ยาว 60 เซนติเมตร จำนวน 80 อัน จัดวางเรียงเป็นระเบียบให้แท่งไม้แต่ละอันห่างกันในแนวระดับ 2 เซนติเมตร แล้วใช้ยางยืดยึดติดกับปลายแท่งไม้ด้วยท่อพลาสติกอ่อน ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนผ่าน คานโยกให้เกิดคลื่น ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 แสดงการออกแบบอุปกรณ์การทดลอง

จากทฤษฎีคลื่นตามยาวในบทที่ 2 สามารถนำมาใช้อธิบายกับอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาวได้ดังนี้ พิจารณาที่ปลายแท่งไม้แท่งที่ j ที่เชื่อมต่อกับแท่งไม้ที่อยู่ข้างเคียง $j-1$ และ $j+1$ ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงการกระจัดของแท่งไม้อันที่ j , $j-1$ และ $j+1$

สมการของแรงที่กระทำต่อปลายแท่งไม้อันที่ j เป็นดังสมการ(42)

จากสมการ(42)

$$F_j = -k(q_j - q_{j-1}) - k(q_j - q_{j+1})$$

ในที่นี้แทนค่า k ด้วยค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืด และจาก ทอร์ก(τ) ที่กระทำบนแท่งไม้ คือ $I\alpha$ เมื่อ I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของแท่งไม้ และ α คือความเร่งเชิงมุมรอบจุดหมุน พิจารณาจากภาพประกอบ18 ทอร์กจะประมาณเท่ากับระยะจากจุดหมุนถึงจุดที่แรงกระทำ(L) คูณด้วยแรงกระทำจากยางยืด(F) ดังนั้น

$$\tau_j = I\alpha = F_j L \dots\dots\dots(49)$$

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของแท่งไม้ หาได้จาก

$$I = \frac{1}{12} ml^2 \quad \dots\dots\dots(50)$$

เมื่อ m คือมวลของแท่งไม้ l คือความยาวแท่งไม้

แทน F_j จากสมการ(42) ลงในสมการ(49) จะได้

$$I\alpha_j = -kL[(q_j - q_{j-1}) + (q_j - q_{j+1})] \quad \dots\dots\dots(51)$$

ถ้าให้การกระจัด q_j มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับระยะห่างของแรงจากจุดหมุน เราจะสามารถประมาณว่า $\alpha_j = \ddot{q}_j / L$ ดังนั้น

$$\ddot{q}_j = k \frac{L^2}{I} (q_{j-1} - 2q_j + q_{j+1}) \quad \dots\dots\dots(52)$$

ซึ่งสมการการเคลื่อนที่นี้มีรูปแบบเดียวกับสมการ(43) และมีคำตอบของสมการ เป็นสมการคลื่น เช่นเดียวกับสมการ(41) ที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงหาความถี่เชิงมุม ความเร็วคลื่น ได้ตั้งสมการ(45) และ (47) ตามลำดับ โดยมี

$$\omega_0 = L\sqrt{\frac{k}{I}} \quad \dots\dots\dots(53)$$

แทนค่าสมการ(53) ลงในสมการ(39) จะได้ความถี่เชิงมุม

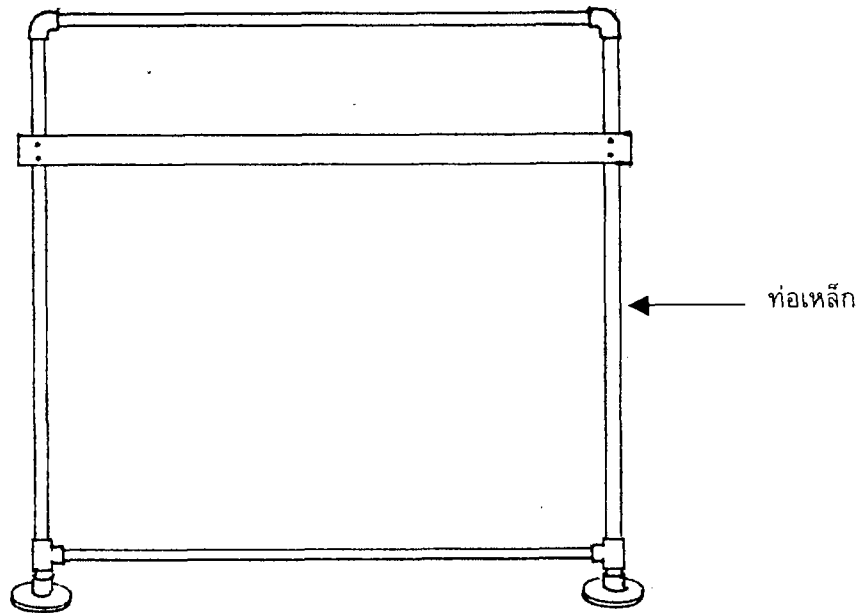
$$\omega_N = 2L\sqrt{\frac{k}{I}} \sin \frac{N\pi}{2(n+1)} \quad \dots\dots\dots(54)$$

แทนค่าสมการ(53) ลงในสมการ(47) จะได้ ความเร็วคลื่นเป็น

$$v_N = \frac{2L\sqrt{\frac{k}{I}}(n+1)}{N\pi} \sin\left(\frac{N\pi}{2(n+1)}\right) \quad \dots\dots\dots(55)$$

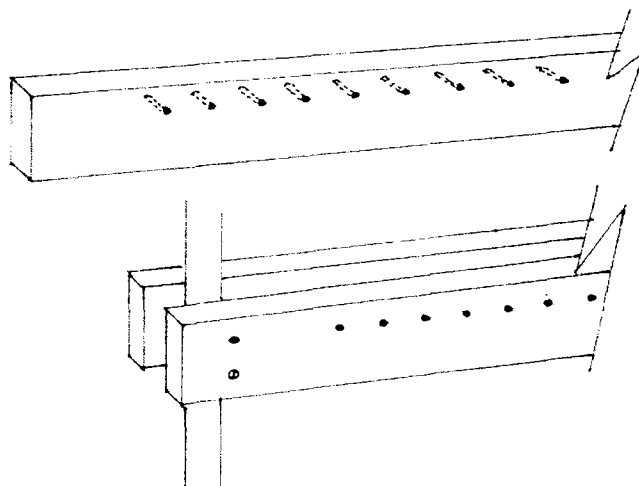
3.2 การสร้างอุปกรณ์ในงาหวิจัย

3.2.1 เตรียมโครงเหล็กสำหรับยึดอุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยท่อเหล็กน้ำประปา ขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 2 เมตร จำนวน 4 เส้น ข้องอ ข้อสามทาง จัดวางดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงโครงเหล็กสำหรับยึดอุปกรณ์ทดลอง

3.2.2 เตรียมแผ่นพลาสติก 2 แผ่น ขนาดกว้าง 7 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร แล้วเจาะรู โดยมีระยะห่างแต่ละช่วงเป็น 2 เซนติเมตร ให้เป็นดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 แสดงการเจาะรูบนแผ่นพลาสติก

3.2.3 เตรียมยางยืด ดังนี้

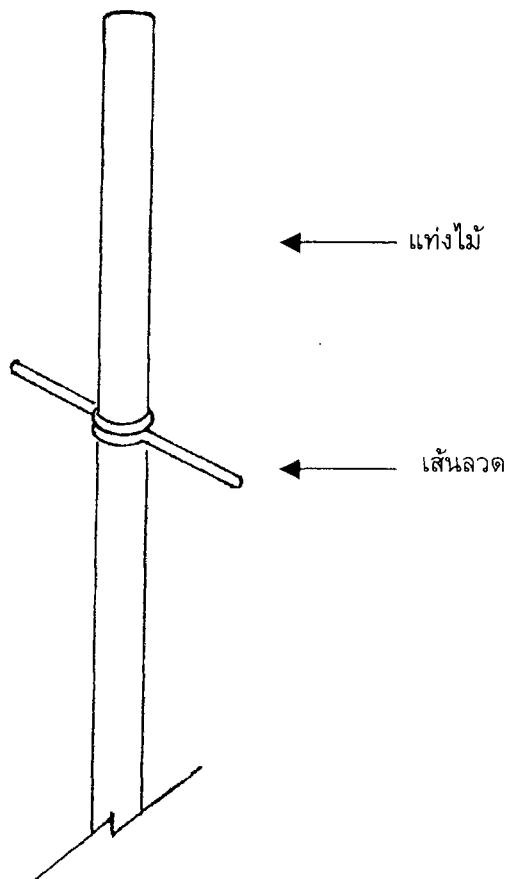
1. จัดเตรียมด้ายยืดยาวประมาณ 400 เซ็นติเมตร (ด้ายยืดเป็นด้ายที่ใช้กับเสื้อผ้า ภายในเป็นยางยืดซึ่งถูกหุ้มด้วยเส้นด้าย 2 ชั้น)

2. นำด้ายยืดในข้อ 1 มาเลาะเอาเส้นด้ายออก โดยการยืดปลายหนึ่งไว้ ปลายอีกด้านปล่อยอิสระแล้วดึงด้ายที่หุ้มยางยืด 2 ชั้นออก จะได้ยางยืดตามต้องการ

3. ตัดยางยืดให้ยาว 5 ขนาด คือ 56, 62, 70, 80, 93 เซ็นติเมตร

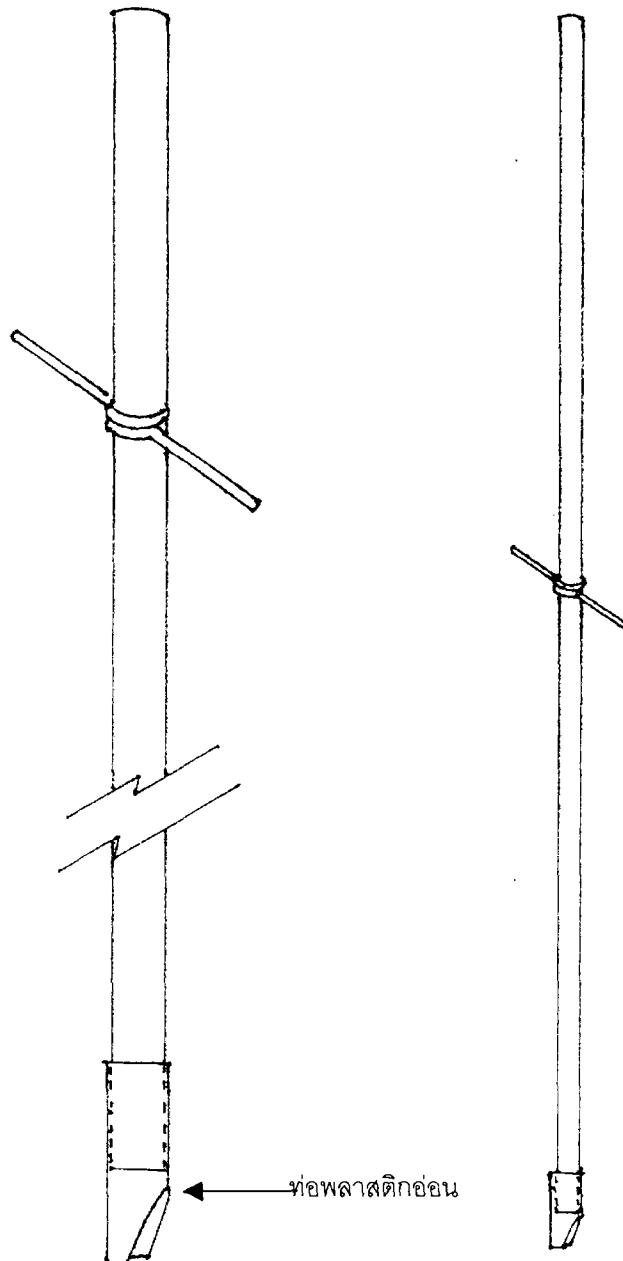
3.2.4 ตัดแท่งไม้ ยาว 60 เซ็นติเมตร จำนวน 80 อัน แต่ละอันมีมวล 11.69 กรัม

3.2.5 เตรียมลวดเส้นเล็กๆ ยาวประมาณ 10 เซ็นติเมตร สำหรับยึดแท่งไม้ จำนวน 80 เส้น แล้วนำไปผูกกับแท่งไม้ ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 แสดงการผูกเส้นลวดเล็กๆ กับแท่งไม้

3.2.6 นำท่อพลาสติกอ่อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร มาตัดเป็นท่อน
แต่ละท่อนยาวประมาณ 2 เซนติเมตร จำนวน 80 ชิ้น มาติดที่ปลายด้านหนึ่งของแท่งไม้แต่ละ
อัน เพื่อทำเป็นที่ยึดเส้นยางยืด ดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 แสดงการติดท่อพลาสติกอ่อนที่ปลายแท่งไม้

3.2.7 เตรียมมอเตอร์พัดน้ำฝนที่สามารถหดรอบได้ สำหรับขับเคลื่อนยางยืด 1 ตัว

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 นำยางยืดที่เตรียมไว้ 5 ขนาด ไปทดลองหาค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืด โดยใช้มวลมาตรฐานผูกติดกับปลายยางยืดแต่ละเส้น แล้วจัดวางตัวตามแนวตั้ง วัดระยะยืดออกของยางยืด นำไปคำนวณโดยใช้สมการ

$$\text{ค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืด} = \text{น้ำหนักของมวลมาตรฐาน} / \text{ระยะยืดออกของยางยืด}$$

จะได้ค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดทั้งเส้น เมื่อยืดยางยืดนี้กับแท่งไม้แล้ว แต่ละส่วนย่อยๆของยางยืดที่อยู่ระหว่างแท่งไม้จะมีค่าคงที่ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น โดยค่าคงที่ความยืดหยุ่นแต่ละส่วนนี้จะขึ้นกับจำนวนช่วงของยางยืดที่ถูกแบ่ง สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้แท่งไม้จำนวน 80 แท่ง ซึ่งเมื่อยืดติดกับยางยืดแล้วจะแบ่งยางยืดออกเป็น 81 ส่วน ทำให้ได้ค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดส่วนย่อยแต่ละส่วนเท่ากับค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดทั้งเส้นคูณด้วย 81

3.3.2 จัดอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ ดังภาพประกอบ 17 โดยใช้ยางยืดขนาดความยาว 70 เซนติเมตร ดึงให้ยืดออกจนมีความยาวเป็น 162 เซนติเมตร ผูกปลายทั้งสองข้างของยางยืดด้วยเส้นด้ายใยสังเคราะห์ แล้วนำปลายด้านหนึ่งผูกติดกับเสา ปลายอีกด้านยึดติดกับคานโยกของมอเตอร์

3.3.3 เปิดสวิตช์มอเตอร์ไฟฟ้า ปรับจำนวนรอบของมอเตอร์ จนกระทั่งเกิดคลื่นหนึ่งเห็นส่วนอัด ส่วนขยาย และเกิดบัพอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ดังภาพประกอบ 23

3.3.4 จากข้อ 3.3.3 ปรับจำนวนรอบของมอเตอร์ จนกระทั่งเกิดบัพที่ตำแหน่งกึ่งกลาง (แท่งไม้คนที่ $j = 40$ ซึ่งเกิดคลื่นหนึ่งมีจำนวนบัพรวมจุดตรึงทั้งหมด 3 บัพ และมีความยาวคลื่น 1.60 เมตร) บันทึกตำแหน่งบัพ (ตำแหน่งแท่งไม้คนที่ j ที่มีการขยับน้อยที่สุด โดยสังเกตจากแท่งไม้คนที่ $j-1$ และ $j+1$ มีการขยับเข้า-ออก จากตำแหน่งสมดุลพร้อมกันในเวลาเดียวกัน) การกระจัดสูงสุดของตัวกลาง (สังเกตการขยับของแท่งไม้คนที่อยู่กึ่งกลางระหว่างบัพ 2 บัพ ซึ่งในที่นี้คือแท่งไม้คนที่ $j = 20$ ใช้เข็มชี้ตำแหน่งของการขยับไปซ้ายสุดและขวาสุด วัดระยะห่างระหว่างเข็มทั้งสอง) และความถี่ที่ใช้ในการทดลอง (นับจำนวนรอบของมอเตอร์/60 วินาที) ทำการทดลองเป็นจำนวน 10 ครั้ง

3.3.5 จากข้อ 3.3.4 ปรับเพิ่มจำนวนรอบของมอเตอร์จนกระทั่งไม่สามารถเพิ่มจำนวนรอบของมอเตอร์ได้อีก (ได้ความถี่สูงสุด) เกิดคลื่นนิ่ง บันทึกตำแหน่งบัพ ความยาวคลื่น การกระจัดสูงสุดของตัวกลาง และความถี่ที่ใช้ในการทดลอง ทำการทดลองเป็นจำนวน 10 ครั้ง

3.3.6 แปรค่าค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืด โดยการเปลี่ยนความยาวยางยืดเป็น 56, 62, 80 และ 93 เซ็นติเมตร ตามลำดับ ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2 ถึง 3.3.5

3.3.7 จากผลการทดลองหาค่าเฉลี่ยของ การกระจัดสูงสุด และความถี่

3.3.8 นำค่าการกระจัดสูงสุด และความถี่ ที่ได้จากการทดลองไปหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S) ดังสมการ

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

x_i คือค่าการกระจัดสูงสุด หรือความถี่ จากผลการทดลอง

\bar{x} คือค่าเฉลี่ยของ การกระจัดสูงสุดหรือความถี่ จากข้อ 3.3.7

N คือจำนวนครั้งที่ทดลอง

3.3.9 หาความเร็วคลื่นจากการทดลอง โดยการนำค่าเฉลี่ยของความถี่คูณกับความยาวคลื่นในแต่ละกรณี

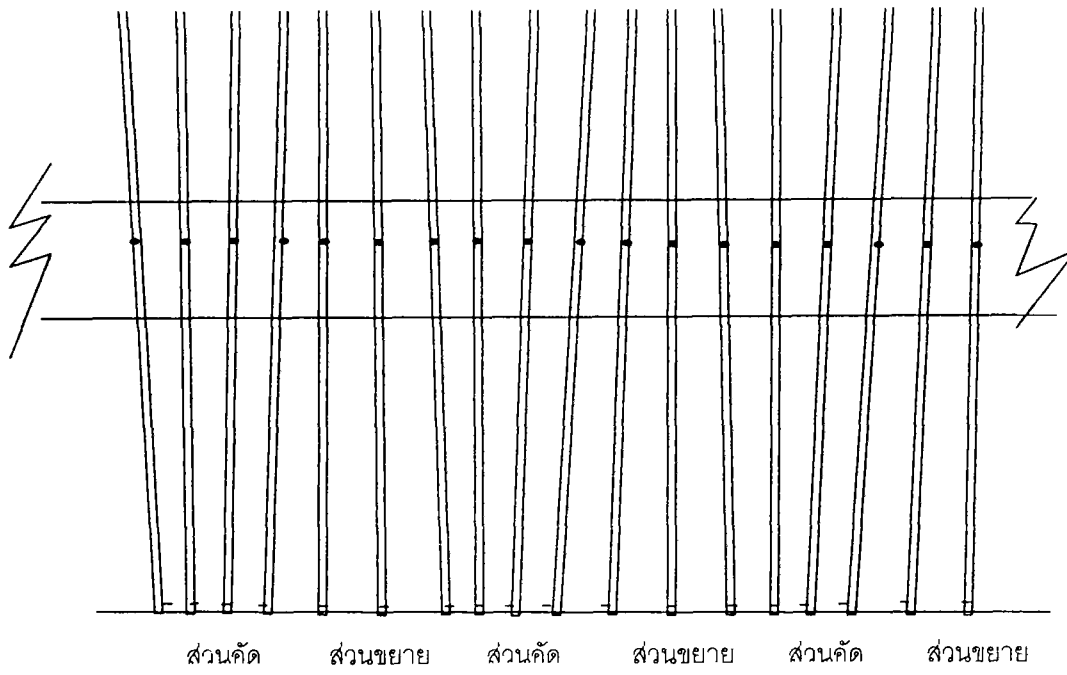
3.3.10 หาความเร็วคลื่นจากทฤษฎี โดยคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อย จากสมการ(50) แล้วแทนค่าโมเมนต์ความเฉื่อยลงในสมการ(55)

3.3.11 นำค่าความเร็วคลื่นจากการทดลอง และความเร็วคลื่นจากทฤษฎี จากข้อ 3.3.9 และ 3.3.10 ไปหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองดังนี้

$$\text{ความคลาดเคลื่อน}(\%) = \frac{\text{ความเร็วที่ได้จากการทดลอง} - \text{ความเร็วที่ได้จากทฤษฎี}}{\text{ความเร็วที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100$$

3.3.12 ทำการวิเคราะห์ ว่าความยาวยางยืด มีผลต่อปริมาณที่ทำกรวัดอย่างไร

3.3.13 สรุปผลการทดลอง



ภาพประกอบ 23 แสดงส่วนอัด ส่วนขยาย ของคลื่นตามยาว

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาว แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การหาค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืด โดยแสดงผลในรูปแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืด(น้ำหนักของมวลมาตรฐาน) กับระยะยืดออกของยางยืด เพื่อนำไปหาความเร็วคลื่นทางทฤษฎี

2. การทดลองแสดงการเกิดคลื่นนิ่งตามยาว โดยการนำยางยืดที่หาค่าคงตัวของยางยืดแล้วในข้อ 1 ไปใช้กับอุปกรณ์ แล้วหาค่าเฉลี่ยของการกระจัดสูงสุด ความถี่เชิงมุม ความเร็วคลื่น โดยแสดงผลในรูปตาราง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับทฤษฎี

1. การหาค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืด

ขั้นตอน 1 เป็นการนำยางยืดทั้ง 5 เส้น ที่มีความยาว 56 , 62 , 70 , 80 และ 93 เซ็นติเมตร ไปหาค่าคงตัวความยืดหยุ่น ดังนี้

1.1 นำมวลมาตรฐานมาแขวนไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของยางยืด ปลายอีกด้านยึดไว้ วัดระยะยืดออกของยางยืด แสดงผลไว้ในตาราง 1 ถึงตาราง 5

ค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืดยาว 56 เซ็นติเมตร มีค่าเป็น 0.44 นิวตัน/เมตร

ค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืดยาว 62 เซ็นติเมตร มีค่าเป็น 0.40 นิวตัน/เมตร

ค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืดยาว 70 เซ็นติเมตร มีค่าเป็น 0.34 นิวตัน/เมตร

ค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืดยาว 80 เซ็นติเมตร มีค่าเป็น 0.31 นิวตัน/เมตร

ค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืดยาว 93 เซ็นติเมตร มีค่าเป็น 0.26 นิวตัน/เมตร

ตาราง 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 56 เซ็นติเมตร

มวล (กรัม)	แรงดึง (นิวตัน)	ระยะยืดออกของยางยืด (เมตร)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย			
1	0.0098	0.014	0.018	0.018	0.020	0.020	0.020	0.020	0.021	0.020	0.021	0.021	0.020	0.021	0.019
2	0.0196	0.028	0.038	0.033	0.037	0.034	0.038	0.038	0.037	0.035	0.037	0.037	0.033	0.037	0.035
3	0.0294	0.046	0.056	0.051	0.057	0.053	0.056	0.056	0.057	0.051	0.056	0.051	0.051	0.054	0.053
4	0.0392	0.066	0.072	0.069	0.077	0.068	0.073	0.073	0.077	0.070	0.073	0.070	0.069	0.074	0.071
5	0.0490	0.086	0.097	0.094	0.098	0.088	0.096	0.096	0.098	0.088	0.096	0.093	0.089	0.096	0.093
6	0.0588	0.109	0.118	0.113	0.119	0.110	0.118	0.118	0.119	0.110	0.118	0.115	0.116	0.141	0.130
7	0.0686	0.134	0.141	0.135	0.143	0.132	0.139	0.139	0.143	0.132	0.139	0.136	0.139	0.164	0.140
8	0.0784	0.159	0.166	0.159	0.168	0.158	0.163	0.163	0.168	0.158	0.163	0.159	0.163	0.164	0.162
9	0.0882	0.187	0.198	0.189	0.192	0.185	0.187	0.187	0.192	0.185	0.187	0.187	0.191	0.188	0.189
10	0.0980	0.218	0.221	0.219	0.219	0.213	0.216	0.216	0.219	0.213	0.216	0.216	0.218	0.215	0.217

ตาราง 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 62 เซ็นติเมตร

มวล (กรัม)	แรงดึง (นิวตัน)	ระยะยืดออกของยางยืด (เมตร)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1	0.0098	0.012	0.018	0.017	0.018	0.015	0.018	0.017	0.020	0.020	0.019	0.017
2	0.0196	0.029	0.035	0.033	0.039	0.029	0.036	0.032	0.038	0.033	0.037	0.034
3	0.0294	0.047	0.055	0.052	0.057	0.049	0.057	0.052	0.057	0.052	0.057	0.054
4	0.0392	0.068	0.077	0.072	0.079	0.069	0.076	0.073	0.077	0.072	0.078	0.074
5	0.0490	0.093	0.098	0.094	0.101	0.093	0.100	0.096	0.101	0.095	0.103	0.097
6	0.0588	0.116	0.127	0.116	0.125	0.116	0.122	0.117	0.125	0.118	0.125	0.121
7	0.0686	0.143	0.150	0.144	0.151	0.140	0.147	0.143	0.150	0.144	0.150	0.146
8	0.0784	0.172	0.178	0.171	0.177	0.169	0.175	0.171	0.175	0.173	0.176	0.174
9	0.0882	0.200	0.206	0.200	0.205	0.197	0.202	0.201	0.204	0.199	0.206	0.202
10	0.0980	0.235	0.237	0.233	0.234	0.232	0.233	0.234	0.232	0.232	0.233	0.234

ตาราง 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 70 เซนติเมตร

มวล (กรัม)	แรงดึง (นิวตัน)	ระยะยืดออกของยางยืด (ม)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย			
1	0.0098	0.015	0.022	0.022	0.025	0.025	0.025	0.025	0.022	0.022	0.025	0.025	0.021	0.023	0.023
2	0.0196	0.035	0.042	0.041	0.047	0.045	0.044	0.043	0.045	0.045	0.044	0.043	0.040	0.045	0.043
3	0.0294	0.055	0.067	0.062	0.071	0.066	0.067	0.064	0.068	0.068	0.067	0.064	0.063	0.071	0.065
4	0.0392	0.080	0.090	0.087	0.098	0.089	0.092	0.089	0.092	0.092	0.092	0.089	0.086	0.096	0.090
5	0.0490	0.108	0.120	0.113	0.122	0.118	0.122	0.115	0.121	0.121	0.122	0.115	0.114	0.122	0.118
6	0.0588	0.135	0.147	0.140	0.150	0.143	0.152	0.144	0.150	0.150	0.152	0.144	0.143	0.154	0.146
7	0.0686	0.167	0.177	0.171	0.181	0.175	0.178	0.176	0.180	0.180	0.178	0.176	0.177	0.182	0.176
8	0.0784	0.197	0.210	0.205	0.212	0.208	0.212	0.209	0.212	0.212	0.212	0.209	0.210	0.213	0.209
9	0.0882	0.237	0.242	0.241	0.245	0.242	0.248	0.245	0.247	0.247	0.248	0.245	0.245	0.249	0.244
10	0.0980	0.273	0.273	0.277	0.281	0.280	0.282	0.283	0.285	0.285	0.282	0.283	0.282	0.284	0.280

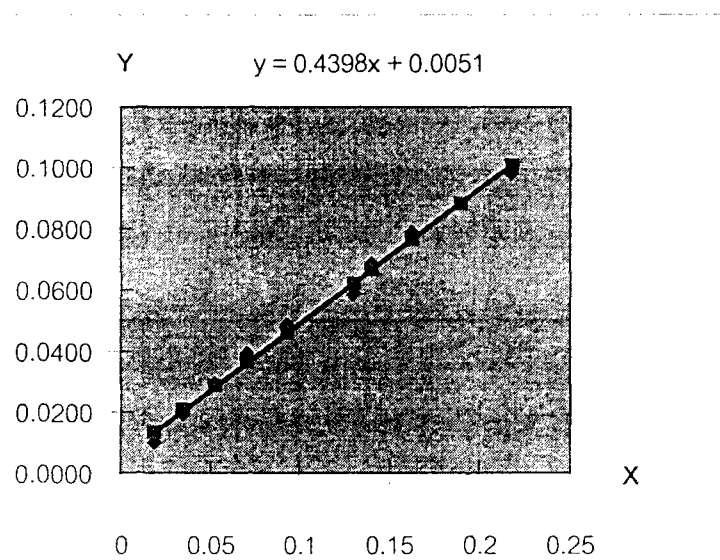
ตาราง 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 80 เซนติเมตร

มวล (กรัม)	แรงดึง (นิวตัน)	ระยะยืดออกของยางยืด (เมตร)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย		
1	0.0098	0.019	0.023	0.023	0.025	0.025	0.029	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027	0.025
2	0.0196	0.041	0.047	0.043	0.047	0.045	0.051	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.047
3	0.0294	0.064	0.071	0.067	0.072	0.070	0.075	0.072	0.072	0.075	0.071	0.071	0.071	0.071
4	0.0392	0.091	0.100	0.092	0.101	0.095	0.102	0.099	0.099	0.101	0.097	0.097	0.097	0.098
5	0.0490	0.121	0.130	0.122	0.131	0.124	0.133	0.128	0.128	0.131	0.126	0.126	0.126	0.128
6	0.0588	0.151	0.161	0.152	0.161	0.155	0.163	0.158	0.158	0.163	0.156	0.156	0.156	0.158
7	0.0686	0.187	0.193	0.186	0.194	0.187	0.196	0.191	0.191	0.195	0.190	0.190	0.190	0.191
8	0.0784	0.222	0.231	0.223	0.228	0.222	0.231	0.224	0.224	0.229	0.227	0.227	0.227	0.227
9	0.0882	0.261	0.268	0.259	0.266	0.261	0.271	0.262	0.262	0.264	0.263	0.263	0.263	0.264
10	0.0980	0.304	0.311	0.302	0.309	0.301	0.313	0.307	0.307	0.307	0.302	0.302	0.302	0.306

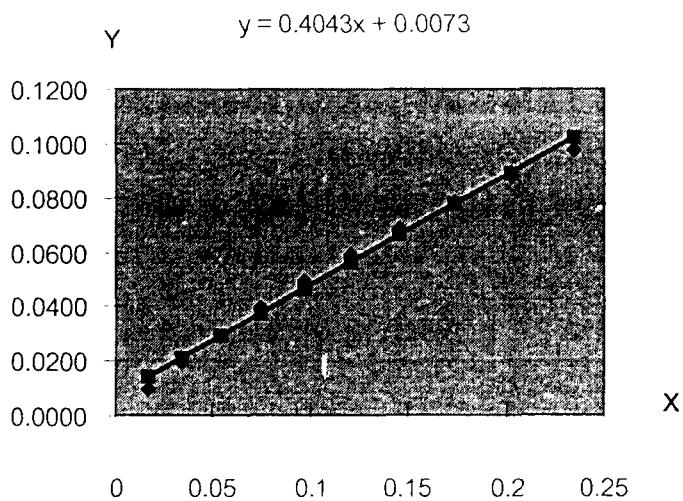
ตาราง 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงยางยืดกับระยะยืดออกของยางยืด เมื่อใช้ยางยืดยาว 93 เซ็นติเมตร

มวล (กรัม)	แรงดึง (นิวตัน)	ระยะยืดออกของยางยืด (เมตร)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย		
1	0.0098	0.021	0.023	0.023	0.024	0.024	0.026	0.023	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.024
2	0.0196	0.046	0.050	0.048	0.051	0.050	0.052	0.046	0.050	0.052	0.052	0.046	0.050	0.050
3	0.0294	0.073	0.081	0.075	0.081	0.080	0.082	0.073	0.081	0.082	0.082	0.073	0.079	0.086
4	0.0392	0.106	0.113	0.108	0.115	0.111	0.115	0.103	0.115	0.115	0.115	0.103	0.110	0.111
5	0.0490	0.141	0.150	0.143	0.153	0.148	0.154	0.141	0.150	0.154	0.154	0.141	0.145	0.148
6	0.0588	0.180	0.188	0.180	0.190	0.184	0.190	0.180	0.188	0.190	0.190	0.180	0.182	0.185
7	0.0686	0.220	0.230	0.221	0.229	0.223	0.231	0.220	0.228	0.231	0.231	0.220	0.224	0.226
8	0.0784	0.265	0.271	0.266	0.272	0.268	0.275	0.263	0.269	0.275	0.275	0.263	0.267	0.269
9	0.0882	0.313	0.318	0.312	0.318	0.314	0.321	0.310	0.317	0.321	0.321	0.310	0.314	0.316
10	0.0980	0.365	0.367	0.366	0.368	0.368	0.369	0.361	0.365	0.369	0.369	0.361	0.361	0.366

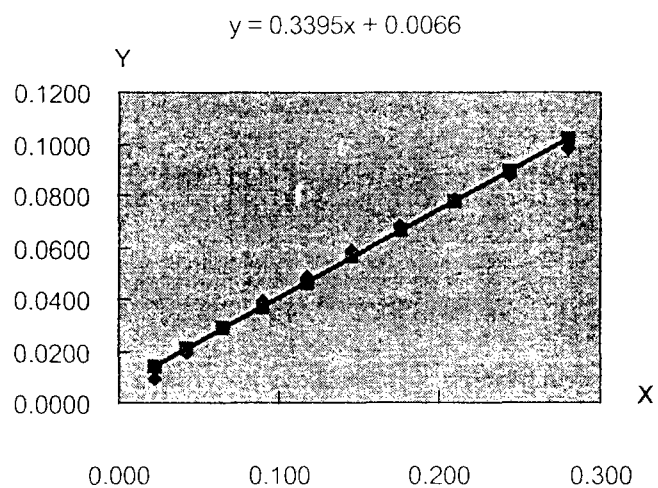
1.2 นำน้ำหนักของมวลมาตรฐาน (แรงดึงยางยืด) กับระยะยืดออกของยางยืดใน
 1.1 ไปเขียนกราฟ ได้ความชันของกราฟเป็นค่าคงตัวความยืดหยุ่นของยางยืดทั้ง 5 เส้น ดังภาพ
 ประกอบ 24 ถึงภาพประกอบ 28 ดังนี้



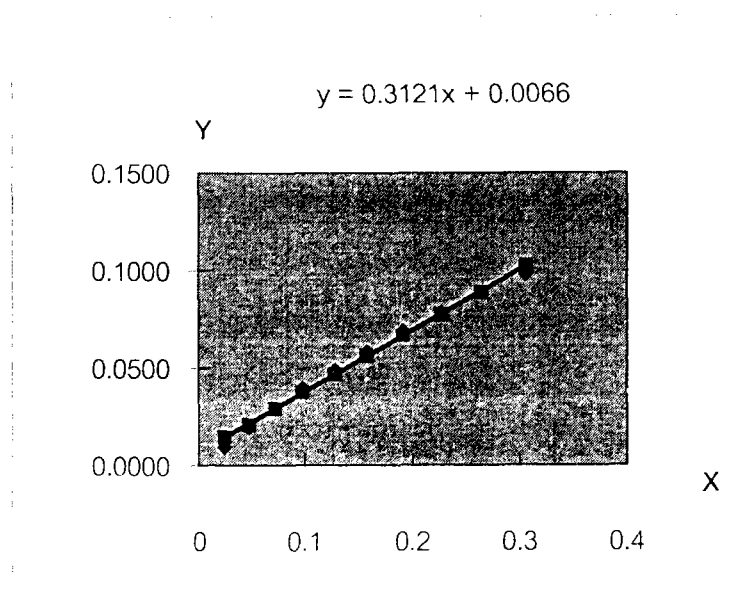
ภาพประกอบ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง (แกน Y) กับ
 ระยะยืดออกของยางยืด (แกน X) กรณียางยืดยาว 56 cm



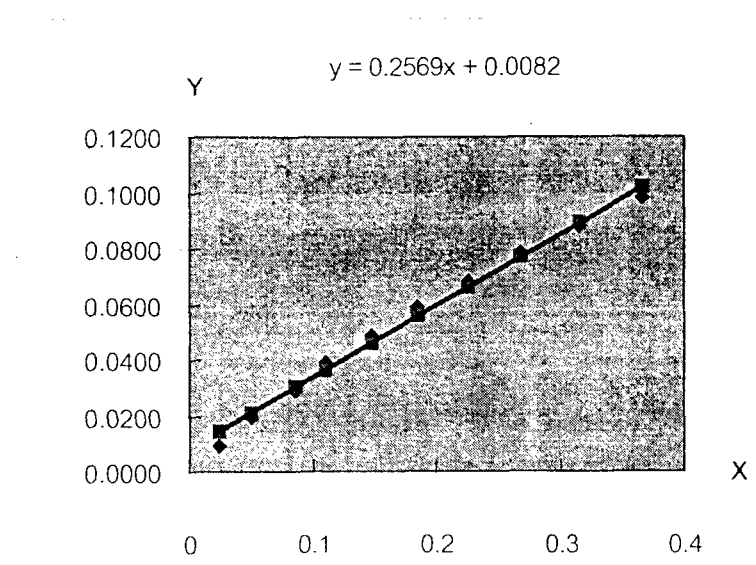
ภาพประกอบ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง(แกน Y) กับ ระยะยืดออกของยางยืด (แกน X) กรณียางยืดยาว 62 cm



ภาพประกอบ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง (แกน Y) กับ ระยะยืดออกของยางยืด (แกน X) กรณียางยืดยาว 70 cm



ภาพประกอบ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง (แกน Y) กับ ระยะยืดออกของยางยืด (แกน X) กรณียางยืดยาว 80 cm



ภาพประกอบ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแรงดึง (แกน Y) กับ ระยะยืดออกของยางยืด (แกน X) กรณียางยืดยาว 93 cm

2. การทดลองแสดงการเกิดคลื่นนิ่งตามยาว

ขั้นตอน 2 เป็นการนำยางยืดในข้อ 1 ทั้ง 5 เส้น ที่มีความยาว 56 , 62 , 70 , 80 และ 93 เซ็นติเมตร ไปทำการทดลองกับอุปกรณ์ ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

2.1 ผลการทดลอง แสดงค่าความถี่ การกระจัดสูงสุด และความเร็วคลื่น ดังตาราง 6 ถึงตาราง 10

ตาราง 6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาวกรณีความยาว

ยางยืด 56 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.44 นิวตัน/เมตร

ตาราง 6(a) กรณีเกิดบัพตรงกลาง (ห่างไม้แอนที่ 40) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น 40 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.60 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	1.27	0.041	2.03
2	1.27	0.041	2.03
3	1.27	0.041	2.03
4	1.30	0.040	2.08
5	1.30	0.041	2.08
6	1.28	0.040	2.05
7	1.28	0.040	2.05
8	1.30	0.041	2.08
9	1.28	0.040	2.05
10	1.30	0.041	2.08
ค่าเฉลี่ย	1.29	0.041	2.06
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.02	0.001	-

กรณีเกิด 2 บัพ ไม่มี

ตาราง 7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณีความยาว
 ยาวยึด 62 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.40 นิวตัน/เมตร
 ตาราง 7(a) กรณีเกิดบัพตรงกลาง (แท่งไม้อันที่ 40) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น
 40 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.60 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	1.00	0.041	1.60
2	1.00	0.036	1.60
3	1.00	0.040	1.60
4	0.98	0.034	1.57
5	0.98	0.034	1.57
6	1.00	0.036	1.60
7	1.00	0.040	1.60
8	1.00	0.041	1.60
9	1.00	0.040	1.60
10	0.98	0.036	1.57
ค่าเฉลี่ย	1.00	0.038	1.59
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.01	0.002	-

ตาราง 7(b) กรณีเกิด 2 บัพ (แท่งไม้อันที่ 35 และ 70) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น 35 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.40 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	1.18	0.017	1.66
2	1.18	0.017	1.66
3	1.20	0.017	1.68
4	1.20	0.015	1.68
5	1.20	0.017	1.68
6	1.18	0.020	1.66
7	1.18	0.019	1.66
8	1.20	0.016	1.68
9	1.20	0.017	1.68
10	1.18	0.020	1.66
ค่าเฉลี่ย	1.19	0.018	1.67
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.01	0.002	-

ตาราง 8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณีความยาว

ยาวยึด 70 เซนติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.34 นิวตัน/เมตร

ตาราง 8(a) กรณีเกิดบัพตรงกลาง (แท่งไม้สั้นที่ 40) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น

40 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.60 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	0.95	0.039	1.54
2	0.95	0.036	1.54
3	0.95	0.036	1.54
4	0.95	0.036	1.54
5	0.95	0.036	1.54
6	0.95	0.036	1.54
7	0.95	0.036	1.54
8	0.95	0.036	1.54
9	0.95	0.036	1.54
10	0.95	0.036	1.54
ค่าเฉลี่ย	0.95	0.036	1.54
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.00	0.001	-

ตาราง 8(b) กรณีเกิด 2 บัพ (แท่งไม้อันที่ 30 และ 60) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น 30 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.20 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	1.27	0.039	1.52
2	1.28	0.036	1.52
3	1.27	0.036	1.52
4	1.28	0.036	1.52
5	1.28	0.036	1.52
6	1.27	0.036	1.52
7	1.27	0.036	1.52
8	1.28	0.036	1.52
9	1.28	0.036	1.52
10	1.28	0.036	1.52
ค่าเฉลี่ย	1.28	0.036	1.52
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.01	0.001	-

ตาราง 9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณีความยาว
 ยาวยึด 80 เซ็นติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.31 นิวตัน/เมตร
 ตาราง 9(a) กรณีเกิดบัพตรงกลาง (แท่งไม้สั้นที่ 40) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น
 40 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.60 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	0.87	0.035	1.39
2	0.88	0.035	1.41
3	0.87	0.039	1.39
4	0.88	0.036	1.41
5	0.87	0.037	1.39
6	0.87	0.037	1.39
7	0.88	0.038	1.41
8	0.88	0.040	1.41
9	0.88	0.040	1.41
10	0.88	0.039	1.41
ค่าเฉลี่ย	0.88	0.038	1.40
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.01	0.002	-

ตาราง 9(b) กรณีเกิด 2 บัพ (แท่งไม้อันที่ 27 และ 54) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น 27 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.08 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	1.25	0.031	1.35
2	1.27	0.032	1.37
3	1.25	0.032	1.35
4	1.25	0.034	1.35
5	1.27	0.031	1.37
6	1.27	0.033	1.37
7	1.27	0.031	1.37
8	1.27	0.032	1.37
9	1.27	0.032	1.37
10	1.27	0.033	1.37
ค่าเฉลี่ย	1.26	0.032	1.36
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.01	0.001	-

ตาราง 10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร็วคลื่นนิ่งตามยาว กรณีความยาวยางยืด 93 เซนติเมตร ค่าคงตัวความยืดหยุ่น 0.26 นิวตัน/เมตร
 ตาราง 10(a) กรณีเกิดบัพตรงกลาง (แท่งไม้สั้นที่ 40) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกันเป็น 40 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.60 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	0.83	0.041	1.33
2	0.83	0.039	1.33
3	0.83	0.041	1.33
4	0.83	0.040	1.33
5	0.85	0.036	1.36
6	0.83	0.041	1.33
7	0.83	0.040	1.33
8	0.83	0.040	1.33
9	0.83	0.041	1.33
10	0.83	0.041	1.33
ค่าเฉลี่ย	0.83	0.040	1.33
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.01	0.002	-

ตาราง 10(b) กรณีเกิด 2 บัพ (แท่งไม้อันที่ 27 และ 54) มีระยะห่างระหว่างบัพ 2 บัพ ถัดกัน
เป็น 27 ช่วง คิดเป็นความยาวคลื่น 1.08 เมตร

ครั้งที่	ความถี่ (Hz)	การกระจัดสูงสุด (m)	ความเร็วคลื่น ทดลอง(m/s)
1	1.22	0.028	1.31
2	1.23	0.028	1.33
3	1.23	0.029	1.33
4	1.22	0.031	1.31
5	1.22	0.032	1.31
6	1.22	0.031	1.31
7	1.22	0.032	1.31
8	1.22	0.032	1.31
9	1.22	0.033	1.31
10	1.22	0.030	1.31
ค่าเฉลี่ย	1.22	0.031	1.32
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.01	0.002	-

2.2 นำความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองตามตาราง 6 ถึงตาราง 10 กรณีเกิดบัปตรงกลาง ไปเปรียบเทียบกับความเร็วที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี แล้วหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลอง แสดงไว้ในตาราง 11

ตาราง 11 แสดงความเร็วที่ได้จากทฤษฎีและความเร็วที่ได้จากการทดลองของยางยืด ขนาดความยาวต่างๆ

ความยาวยางยืด (cm)	ความเร็วจากการ ทดลอง (m/s)	ความเร็วจากทฤษฎี (m/s)	ความคลาดเคลื่อนจาก การทดลอง (%)
56	2.06	1.91	7.85
62	1.59	1.84	13.58
70	1.54	1.67	7.78
80	1.40	1.61	13.04
93	1.33	1.45	8.27

ตัวอย่างขั้นตอนการหาค่าความเร็ว และค่าความคลาดเคลื่อน ตามตาราง 11

กรณียางยืดความยาว 70 เซ็นติเมตร เกิดบัปตรงกลาง

1. ความเร็วจากการทดลอง

พิจารณาจากตาราง 7(a) คือการนำความถี่แต่ละค่าคูณด้วยความยาวคลื่น(1.60 m) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ได้ความเร็วจากการทดลองเป็น 1.54 m/s

2. ความเร็วจากทฤษฎี

2.1 หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย โดยการแทนค่าลงในสมการ(50) ดังนี้

$$\text{จากสมการ (50)} \quad I = \frac{1}{12} ml^2$$

m คือ มวลแท่งไม้แต่ละอัน มีค่าเท่ากับ 11.69 g หรือ 0.01169 kg

l คือ ความยาวแท่งไม้ มีค่าเท่ากับ 60 cm หรือ 0.60 m

แทนค่า m และ l จะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของแท่งไม้ I

$$I = 35 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

2.2 หาความเร็วจากทฤษฎี โดยการแทนค่าลงในสมการ(54) และสมการ(55) ดังนี้

$$\text{จากสมการ(54)} \quad \omega_N = 2L\sqrt{\frac{k}{I}} \sin \frac{N\pi}{2(n+1)}$$

$$\text{จากสมการ(55)} \quad v_N = \frac{2L\sqrt{\frac{k}{I}}(n+1)}{N\pi} \sin\left(\frac{N\pi}{2(n+1)}\right)$$

L คือระยะจากจุดหมุนของแท่งไม้ถึงตำแหน่งยางยืด = 0.3 m

k คือค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดแต่ละส่วนย่อย = $0.34 \times 81 = 27.50 \text{ N/m}$

N คือรูปแบบของการเกิดคลื่นนิ่งกรณีเกิดบัพตรงกลาง = 2

n คือจำนวนแท่งไม้ทั้งหมด = 80 อัน

$$I = 35 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

จะได้ความเร็วจากทฤษฎี เท่ากับ 83.9 ช่วงไม้/วินาที หรือ 1.67 m/s

(ความยาว 1 ช่วงไม้ เท่ากับ 2 cm)

3. ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

$$\text{ความคลาดเคลื่อน}(\%) = \frac{\text{ความเร็วที่ได้จากการทดลอง} - \text{ความเร็วที่ได้จากทฤษฎี}}{\text{ความเร็วที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100$$

แทนค่าความเร็วจากการทดลอง และความเร็วจากทฤษฎี จากข้อ 1 และ 2 จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 7.78 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แสดงคลื่นตามยาวและดำเนินการวิจัยดังนี้

ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตามยาว ทดสอบการเกิดคลื่นนิ่ง ให้เห็นส่วนอัด - ขยาย บัพที่ชัดเจน และเกิดบัพได้ไม่น้อยกว่า 2 จุด โดยการเปลี่ยนค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดตามความยาว 5 ขนาด คือ 56 , 62 , 70 , 80 และ 93 เซ็นติเมตร และความถี่ขับเคลื่อนในช่วง 0.8 – 1.3 เฮิรท์ซ์ และได้แบ่งทดสอบในแต่ละค่าคงที่ความยืดหยุ่น ออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีเกิดบัพที่ชัดเจนจำนวน 3 บัพ และ 4 บัพ (รวมบัพที่จุดปลายทั้งสอง)เป็นจำนวน 10 ครั้งทุกกรณี และทำการวัดความถี่เชิงมุม การกระจัดสูงสุดของตัวกลาง คำนวณความยาวคลื่น ความเร็วคลื่น ผลการวิจัยพบว่า ความถี่ที่วัดได้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ในช่วง 0.00-0.02 และการกระจัดสูงสุดที่วัดได้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง 0.001-0.002 ยางยืดความยาว 56 , 62 และ 70 เซ็นติเมตร เกิดบัพจำนวนสูงสุดได้ 3 บัพ สำหรับยางยืดความยาว 80 และ 93 เซ็นติเมตร สามารถเกิดได้ถึง 4 บัพ ค่าความเร็วคลื่นที่คำนวณจากความยาวคลื่นและความถี่ในการทดลองของกรณียางยืดความยาว 56 , 62 , 70 , 80 และ 93 เซ็นติเมตร ด้วยสมการ $v = f\lambda$ คือ 2.06 , 1.59 , 1.54 , 1.40 และ 1.33 เมตร/วินาที ตามลำดับ

ในการหาค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดทั้ง 5 เส้น แต่ละเส้นได้ทดสอบเป็นจำนวน 10 ครั้ง จากการเปลี่ยนมวลที่ใช้ถ่วง 1 , 2 , 3 ... , 10 กรัม จากผลการวัดนำไปหาค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดด้วยวิธีการเขียนกราฟระหว่าง แรงที่กระทำกับยางยืดกับระยะยืด แล้วหาค่าความชัน ได้ค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดความยาว 56 , 62 , 70 , 80 และ 93 เซ็นติเมตรเป็น 0.44 , 0.40 , 0.34 , 0.31 และ 0.26 นิวตัน/เมตร ตามลำดับ

ค่าคงที่ความยืดหยุ่นที่ได้นี้เมื่อนำมาประกอบกับโมเมนต์ความเฉื่อยของแท่งไม้ ให้คำนวณทางทฤษฎีของความเร็วคลื่น ที่ความยาวยางยืด 56 , 62 , 70 , 80 และ 93 เซ็นติเมตร เป็น 1.91 , 1.84 , 1.67 , 1.61 และ 1.45 เมตร/วินาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าความเร็วคลื่นที่คำนวณได้จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น พบว่ามีความแตกต่างกัน ในช่วงร้อยละ 7.8 ถึง 13.6

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความถี่และการกระจัดสูงสุดของยางยืดความยาว 56 , 62 , 70 , 80 และ 93 เซ็นติเมตร มีค่าใกล้เคียงกัน และค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืดส่งผลต่อจำนวนบัพที่แสดงได้สูงสุดซึ่งเกิดขึ้นที่ความถี่สูงสุดของคันท่อน โดยยางยืดความยาว 80 และ 93 เซ็นติเมตร จำนวนบัพสูงสุดนี้เท่ากับ 4 บัพ ส่วนยางยืดความยาวที่สั้นกว่านี้ ค่าคงที่ความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วคลื่นเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องใช้ความถี่ขับเคลื่อนที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้ความยาวคลื่นคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งด้วยข้อจำกัดของความถี่ขับเคลื่อน จำนวนบัพที่แสดงให้เห็นจะลดลง

ผลการเปรียบเทียบความเร็วคลื่นที่คำนวณจากข้อมูลความยาวคลื่นและความถี่จากการวัดกับความเร็วที่คำนวณจากค่าคงที่ความยืดหยุ่นและโมเมนต์ความเฉื่อยของแท่งไม้ พบว่าความแตกต่างอยู่ในช่วง ร้อยละ 7.8 ถึง 13.6 ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจเกิดจากค่าคงที่ความยืดหยุ่นที่ได้คลาดจากความ เป็นจริงขณะใช้งานในวงจร ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยางยืด จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดออกของยางยืดไม่เป็นเชิงเส้น โดยเมื่อยางยืดถูกดึงให้ยาวขึ้นค่าคงที่ความยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าคงที่ความยืดหยุ่นที่ได้นำมาใช้เกิดจากค่าเฉลี่ยในช่วงต้น ๆ ของการยืดออกของยางยืด ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีค่าสูงกว่าขณะใช้งาน และอีกสาเหตุที่อาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนได้คือ ความผิดของจุดหมุนที่แขวนแท่งไม้ ทำให้คลื่นสะท้อนจากปลายด้านที่ตรงไว้กลับมาในสัดส่วนที่น้อยลง และส่งผลต่อการอ่านตำแหน่งของบัพ

ข้อเสนอแนะ

1. ใช้โครงที่แข็งแรงเพื่อให้แท่งไม้ขยับตัวใน 1 มิติ ได้โดยไม่มีการแกว่ง
2. แท่งไม้ที่ใช้ต้องเหลาให้โตสม่ำเสมอ เพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยได้แม่นยำ
3. ในกรณีที่ต้องการให้แสดงบัพมากขึ้น อาจปรับเปลี่ยนวัสดุที่มีความเฉื่อยเพิ่มขึ้นได้ หรือใช้ยางยืดที่มีค่าคงที่ความยืดหยุ่นลดลง
4. ความถี่ที่ใช้ขับเคลื่อนไม่ควรสูงเกินไปเพราะจะทำให้สังเกตการเคลื่อนที่ของตัวกลางได้ไม่ชัดเจน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- ทบวงมหาวิทยาลัย. (2525). *ฟิสิกส์ เล่ม 2*. กรุงเทพฯ:ห้างจัดการ เอช-เอน การพิมพ์.
สมพงษ์ ใจดี. (2542). *ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย 1*. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- Antonino Carnevali and Cynthia L. Newton.(2000). " Coupled Harmonic Oscillators
Made Easy," *The Physics Teacher*. 38 : 503 – 505.
- Barry Klugr-Bell.(1995). " Traveling Wave Demonstration " *The Physics Teacher*.
33 : 174-175.
- Charles A. Sawicki. (1998). " Cheap and Easy Coupled-Oscillations Demonstration "
The Physics Teacher. 36 : 417-419.
- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. (1994). " *Fundamentals of Physics* "
John Wiley & Sons.
- E. Kasshy and others.(1997). " Transverse Standing waves in a string with free ends,"
Association of Physics Teacher. 65(4) : 310-313
- Jerry B. Marion, Stephen T. Thornton. (1988). " Classical Dynamics of Particles &
systems." Harcourt Brace Jovanovich.
- Kenneth D Skeldon and others. (1998). " Making Waves : A Class Torsional Wave
Machine (PART I)," *The Physics Teacher*. 36 : 392-398.
- Kenneth D Skeldon and others. (1998). " Making Waves : A Class Torsional Wave
Machine (PART II)," *The Physics Teacher*. 36 : 466-472.
- Ole Anton Haugland, (1999). " Spreadsheet Waves," *The Physics Teacher*. 37: 14.
- Roset Khosropour, Rawlings Lambertson and Scott Paulinsky. (1993). " SpacePhone
Propagating Interested in Waves," *The Physics Teacher*. 31 : 529-531.
- Samantha Parmley others. (1995). " Vibrational Properties of a loaded string,"
Association of Physics Teacher.63(6) : 547-553.
- Tai L. Chow. (1995). " Classical Mechanics " John Wiley & Sons.
- Vincent Santarelli, Joyce Carolla, and Michael Ferner. (1993). " Standing Waves in a
Mailing Tube," *The Physics Teacher*. 31 : 557-558.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางวรรณนัส เอกศรีรุ่งโรจน์
เกิดวันที่	20 กุมภาพันธ์ 2505
สถานที่เกิด	อำเภอย่านตาขาว จังหวัดตรัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	47/254 ซ.อ่อนนุช 59/1 ถ.อ่อนนุช แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์ 2 ระดับ 7
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2522	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนวิเชียรมาตุ
พ.ศ. 2526	วท.บ.ศึกษาศาสตร์ ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
พ.ศ. 2546	กศ.ม. (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ