การพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกประสิทธิภาพสูง สำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น

รายงานการวิจัย

ของ

ผศ.ทนง อัครธีรานนท์

ภาควิชาหลักสูตรและการสอน

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ตุลาคม 2555

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกประสิทธิภาพสูง สำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น

บทคัดย่อ

โดย
ผศ.ทนง อัครธีรานนท์

ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ตุลาคม 2555

การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นเป็นเรื่องยาก จำเป็นต้องใช้ชุดทดลองเพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นและปฏิบัติจริงจึงจะเข้าใจได้ง่ายขึ้น แต่พบว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ขายในประเทศไทยประมาณ 90 % ขึ้นไปเป็นเครื่องมือที่ไม่สมบูรณ์ ปรับเปลี่ยนความถี่ไม่ได้ ทำให้ผลที่แสดงจากการทดลองไม่ตรงกับทฤษฎี ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น

การดำเนินการวิจัยมี 2 ขั้นตอนคือตอนที่ 1 การสร้างและตรวจสอบประสิทธิภาพตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่าน ในการสร้างได้ออกแบบสร้างเครื่องสั่น (vibration generator) และเครื่องขยายกำลัง(power amplifier)ที่มีประสิทธิภาพ สร้างง่าย ราคาถูกมาก และทำการคัดเลือกซอฟต์แวร์ที่ให้ใช้งานได้ฟรี โดยเป็นซอฟต์แวร์ที่ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องผลิตสัญญาณความถี่(signal generator)ได้ การทดสอบประสิทธภาพทำโดยนำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นไปทำการทดลอง 3 ส่วนคือ (1) เปลี่ยนค่าความตึงเชือกแต่ความถี่และความยาวเชือกคงที่ (2) เปลี่ยนค่าความถี่แต่ความตึงเชือกและความยาวเชือกคงที่ (3) หาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก สำหรับการประเมินคุณภาพทำโดยให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่านประเมินคุณภาพใน 4 ด้าน โดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ค่าเฉลี่ย(average value) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น (1) สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างละเอียดและต่อเนื่องตั้งแต่ 1 Hz – 1,000 Hz (2) สามารถแสดงวงปิดของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงถึง 8 วง (3) สามารถใช้หาอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกและใช้หาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(linear mass density)ของเส้นเชือกที่ใช้ทดลองได้ค่อนข้างแม่นยำโดยมีความแตกต่างจากความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่วัดโดยตรงไม่เกิน 2 % (4)วิธีการพัฒนาไม่ยุ่งยาก วัสดุที่ใช้มีราคาถูกมีราคาไม่เกิน 1,000 บาท แต่มีคุณภาพและประสิทธิภาพเท่าเทียมกับชุดทดลองที่ผลิตขายในราคาหลายหมื่นบาท (5)สามารถนำไปใช้ทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นได้อย่างดี และผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ประเมินคุณภาพในด้านต่างๆ และคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมากโดยมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ยเป็น 3.77 จากระดับคะแนนเต็ม 4.00

จากการวิจัยครั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะว่า ควรได้มีการจัดอบรมเพื่อให้ครูอาจารย์ได้สามารถผลิตชุดทดลองขึ้นใช้เองได้ เนื่องจากวิธีสร้างง่าย ราคาถูก และเพื่อให้นักเรียนนักศึกษามีโอกาสได้ใช้เครื่องมือมากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

DECELOPMENT OF A HIGH EFFICIENCY STANDING WAVES ON A STRING APPARATUS FOR PERFORMING AND EXPERIMENT, TEACHING AND LEARNING ACTIVITIES IN PHYSICS ON WAVES

AN ABSTRACT BY
THANONG AKKARATHEERANUN

DEPARTMENT OF CURRICULUM AND INSTRUCTION
FACULTY OF EDUCATION, SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY
OCTOBER 2012

Teaching and learning physics on waves is difficult since apparatus is required in order to allow learners to understand easily. However, over 90% of the standing waves on a string apparatus sold in Thailand is not fully complete due to its frequency cannot be adjusted. Therefore, the result from the experiment is not entirely corresponding to theory. This research aims to develop a high efficiency standing waves on a string apparatus for performing and experiment, teaching and learning activities in physics on waves.

There are two steps including 1) development and efficiency verification 2) quality evaluation by five physics experts. There are developments for vibration generator and power amplifier which is efficient, easy to develop, low cost, and can be used with free software. This software allows the computer to operate as a signal generator. Efficiency verification is conducted in 3 parts as follows: 1) varying string tension with fixed frequency and length 2) varying string frequency with fixed tension and length 3) finding velocity of the waves on a string. The quality evaluation is performed by five physics experts in four criteria using an evaluation form prepared by the researcher. The statistic used in analyzing includes averaged value and standard deviation.

The research result shows that the developed apparatus allows 1) tension frequency to be thoroughly and continuously adjusted starting from 1 Hz – 1,000 Hz 2) closed loop of standing waves on string to be continuously displayed starting from 1 to 8 loops 3) the velocity of waves on a string and linear mass density on a string to be determined quite accurately with less than two percent of variances from a measurement of the linear mass density 4) its development to be done easily with cost of materials lower than 1,000 Baht while its quality is equal to the apparatus with price higher than 10,000 Bath 5) well performing and experiment, teaching and learning activities in physics on waves. The physics experts evaluate the quality in many aspects and the overall result is very good that is the average score is 3.77 out of 4.00.

According to the research, the experts suggests that teachers should be trained so that they can develop the apparatus by themselves since the development is simple, and low cost allowing students to have more apparatus than what they already have.

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกประสิทธิภาพสูงสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้เนื่องจากได้รับความกรุณาในการถ่ายทอดความรู้เป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์โช สาลีฉัน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบคุณในความกรุณาไว้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณคุณศรัทธา กระฉ่อน ผู้ช่วยวิจัยที่ทุ่มเทช่วยเหลือในการวิจัยและให้ความร่วมมืออย่างดียิ่ง

คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ อันเกิดจากการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณของบิดามารดาและครูอาจารย์ทุกท่านที่เป็นผู้วางรากฐานทางการศึกษาให้กับผู้วิจัย

ทนง อัครธีรานนท์
ผู้วิจัย
ตุลาคม 2555

สารบัญ

บทที่		หน้า
1. บทนำ.....		1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……...	1
	วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	4
	ความสำคัญของการวิจัย.....	4
	หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้……..	5
	ขอบเขตของการวิจัย…….....	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ……...	5
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….		7
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและคลื่นนิ่ง.....	7
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก……...	24
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์	28
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	29
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……	31
3. วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า…….....		35
	ศึกษาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน.....	35
	ออกแบบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกต้นแบบ.....	37
	ตรวจสอบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นในเบื้องต้น.....	40
	เขียนคู่มือ.....	40
	ตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น	40
	ปรับปรุงชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น……	40
	การประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น....	40
	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
	สถิติที่ใช้ในการวิจัย……	42
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....		44
	ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น.....	44

บทที่ หน้า

4.(ต่อ) ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่
พัฒนาขึ้น..... 45
ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ..... 50
5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 51
ความมุ่งหมายของการวิจัย..... 51
สมมติฐานการวิจัย..... 51
วิธีดำเนินการวิจัย..... 51
สรุปผลการวิจัย..... 52
อภิปรายผลการวิจัย..... 53
ข้อเสนอแนะ..... 55

บรรณานุกรม..... 56

ภาคผนวก..... 59
ภาคผนวก ก รายชื่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์..... 60
ภาคผนวก ข การสร้างเครื่องสั่น..... 62
ภาคผนวก ค การสร้างเครื่องขยายกำลัง..... 64
ภาคผนวก ง คู่มือการติดตั้งโปรแกรม Virtins MultiInstrument..... 68
ภาคผนวก จ คู่มือการทำปฏิบัติการทดลองคู่มือการทำปฏิบัติการทดลอง
คลื่นนิ่งบนเส้นเชือก..... 74
ภาคผนวก ฉ แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก
ที่พัฒนาขึ้น..... 88

อภิธานศัพท์..... 94

ประวัติผู้ทำการวิจัย..... 97

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น.....	45
2	แสดงผลการประเมินลักษณะการใช้งานของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น.....	46
3	แสดงผลการประเมินการจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น……..	47
4	แสดงผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น.....	48
5	แสดงการประเมินคุณภาพทั้ง 4 ด้านโดยรวมของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น.....	49
6	แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์……	89

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่	7
2	ส่วนประกอบของคลื่น……..	9
3	ซ้อนทับกันของคลื่นดล 2 คลื่น……..	11
4	การซ้อนทับของคลื่นดลวงกลม 2 คลื่น.....	12
5	มุมตกกระทบและมุมสะท้อน.....	13
6	ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น.....	13
7	การหักเหของคลื่น.....	14
8	การแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่องวงกลม.....	16
9	แผนภาพการแทรกสอดของคลื่น.....	17
10	การเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำเมื่อผ่านขอบสิ่งกีดขวาง.....	18
11	การเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำที่ความยาวคลื่นคงตัวแต่ความกว้างช่องเปิดต่างกัน	19
12	เส้นเชือกตึงที่ถูกตรึงปลายทั้งสองข้างและตัวอย่างวงปิดที่สามารถเกิดขึ้นได้	20
13	ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่นิยมใช้ในระดับโรงเรียนทั่วไป.....	24
14	ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกรูปแบบที่ 2.....	25
15	ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกรูปแบบที่ 3……..	26
16	เครื่องสั่นที่ทำจากลำโพงติดตั้งบนฐานตั้ง.....	27
17	ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่อาจารย์มหาวิทยาลัยสร้างขึ้นเอง.....	27
18	ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่อาจารย์มหาวิทยาลัยสร้างขึ้นเอง.....	37
19	วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องขยายกำลัง.....	38
20	เครื่องขยายกำลังที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้ว.....	38
21	สายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องขยายกำลัง...	39

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่มีความสำคัญที่สุดวิชาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ ศึกษาเกี่ยวกับความจริงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น สามารถค้นหาสาเหตุและผลที่เกิดขึ้น วิชาฟิสิกส์ยังเป็นพื้นฐานของการนำไปประยุกต์ในวิชาต่าง ๆ เช่นวิศวกรรมศาสตร์ แพทยศาสตร์ เป็นต้น ตลอดจนก่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างมากมาย แต่จากผลการแข่งขันโอลิมปิกวิทยาศาสตร์พบว่า ประเทศไทยมีจุดอ่อนอยู่ที่พื้นฐานการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ อันเป็นรากฐานของความสามารถในวิทยาศาสตร์แขนงอื่น และสำคัญที่สุดต่อสมรรถภาพในการพัฒนาเทคโนโลยี ประเทศไทยพัฒนาด้านเทคโนโลยีเองไม่ได้ เพราะไม่มีนักฟิสิกส์ประยุกต์ที่ดีและมีจำนวนมากพอ นี้เป็นเหตุใหญ่ที่สุดที่ต้องแก้ไขโดยเร็ว(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี . 2543 : 9) นอกจากนั้นจากการประเมินคุณภาพของกรมวิชาการในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายปีการศึกษา 2540 พบว่าการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ที่ผ่านมาไม่บรรลุผล โดยรายวิชาฟิสิกส์มีผลคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับพอใช้คิดเป็นร้อยละ 28.12 และมีคะแนนเฉลี่ยในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 70 (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ . 2543 : 14) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานระดับคุณภาพการศึกษาปีการศึกษา 2540 ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายเขตการศึกษา 11 ในรายวิชาฟิสิกส์ของ วิมาน วรรณคำ (2542 : 91 – 92) พบว่าคะแนนวิชาฟิสิกส์อยู่ในระดับคุณภาพที่ต้องปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 82.10 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ร้อยละ 17.75 และอยู่ในเกณฑ์ดีเพียงร้อยละ 0.15

สาเหตุที่ทำให้นักเรียนประสบความล้มเหลว เนื่องจากในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ครูเน้นผลสุดท้าย คือการนำไปใช้แก้ปัญหาโจทย์และแบบฝึกหัด โดยมักใช้วิธีสอนเฉพาะการคำนวณและท่องจำไม่มีการสอนความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนความคิดรวบยอด (สมนึก บุญพาไสว . 2534 : 19) และปัญหาในการเรียนการสอนส่วนหนึ่งเกิดจากปัญหาการขาดแคลนครูอาจารย์ สื่ออุปกรณ์เทคโนโลยี และปัญหาจากสื่อการสอนที่มีคุณภาพต่ำ ไม่เหมาะกับเนื้อหา แสดงผลได้ไม่ชัดเจน (กรมสามัญ . 2540 : 37) และการเรียนการสอนส่วนใหญ่ผู้เรียนไม่ได้ทำการทดลอง ครูอาจารย์สอนโดยวิธีบรรยาย ทำให้ผู้เรียนขาดการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากปัญหาดังกล่าววิธีที่จะพัฒนาการเรียนการสอนให้มีคุณภาพและประสิทธิภาพได้คือ การพัฒนาสื่อการเรียนการสอน เพราะสื่อการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่จะนำความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ แต่จะเรียนรู้ได้เพียงใดขึ้นอยู่กับระดับปฏิบัติโดยเฉพาะในระดับชั้นมัธยมศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ควรให้เด็กได้ฝึกปฏิบัติให้มากขึ้น (สิปปนนท์ เกตุทัต. 2541 : 15) ซึ่งการใช้สื่อการเรียนการสอนจะช่วยให้นักเรียนเกิดมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นแก่นของความคิดได้อย่าง

รวดเร็ว ช่วยให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้เกิดความคงทนในการเรียนรู้ เป็นสื่อเชื่อมโยงระหว่างนามธรรมไปสู่รูปธรรม ทำให้เกิดความเข้าใจในสถานการณ์ทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้น กระตุ้นให้เกิดความสนใจ ช่วยเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ช่วยให้นักเรียนเห็นคุณค่าและประโยชน์ขององค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์(ประนอม หมอกกระโทก. 2545 : 2)

ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ทักษะกระบวนการทดลองเพราะทักษะต่างๆ ที่ใช้ในการทำการทดลอง จะช่วยเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจในวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้ดีขึ้น(ไชยยันต์ ศิริโชติ . 2541 : 79) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวิชาฟิสิกส์การทดลองมีความสำคัญมากดังที่ไอน์สไตน์ได้กล่าวกับมอสโกสกีในหนังสือสนทนากับไอน์สไตน์ว่า ในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ บทเรียนแรกไม่ได้ประกอบไปด้วยอะไรเลยนอกจากว่า อะไรคือการทดลองและความน่าสนใจอะไรที่จะได้เห็น การทดลองมีความงดงามในตัวของมันเองซึ่งมีอยู่บ่อยๆที่มีประโยชน์มากกว่าสูตร 20 สูตรที่กลั่นกรองจากสติปัญญาของเราเสียอีก(Moszkowski . 1970 : 67) การทดลองก็คือแบบจำลองของปรากฏการณ์ธรรมชาติที่นำมาศึกษาในห้องเรียน เมื่อทำการทดลองสิ่งที่ปฏิบัติตามมาก็คือ การวัดและการเก็บข้อมูลปริมาณต่างๆ การเก็บข้อมูลปริมาณทางกายภาพต่างๆจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูลได้ถูกต้องและชัดเจน ข้อสำคัญเราไม่จำเป็นต้องซื้อเครื่องมือที่มีราคาแพงจากต่างประเทศเพราะเราสามารถสร้างเครื่องมือขึ้นได้โดยใช้วัสดุในประเทศที่มีราคาถูกกว่า ดังนั้นวิธีการที่จะช่วยแก้ปัญหานักเรียนขาดความรู้ความเข้าใจ ขาดหลักการพื้นฐาน ตลอดจนความคิดรวบยอดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก็คือ การสร้างอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อช่วยให้มีอุปกรณ์เพียงพอในการเรียนการสอน และยังช่วยทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวางลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Sharma . 1982 : 262 – 263)

สรุปได้ว่าการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง ช่วยกระตุ้นให้เกิดความสนใจ ทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา หลักการพื้นฐานตลอดจนความคิดรวบยอด ช่วยทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวางลึกซึ้งยิ่งขึ้น เป็นสื่อเชื่อมโยงระหว่างนามธรรมไปสู่รูปธรรม ทำให้เกิดมโนมติทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นแก่นของความคิดได้อย่างรวดเร็ว เกิดความคงทนในการเรียนรู้ ช่วยทำให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยอุปกรณ์การทดลองถ้าสามารถสร้างขึ้นได้เองโดยใช้วัสดุในประเทศที่มีราคาถูกกว่า จะช่วยให้มีอุปกรณ์มากพอสำหรับผู้เรียนและเกิดประโยชน์มากมายต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

จากประสบการณ์การสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมหาวิทยาลัยมาประมาณ 34 ปีและได้มีโอกาสไปดูการเรียนการสอนตามโรงเรียนต่างๆ ทั้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดพบว่า วิชาฟิสิกส์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องคลื่น มักทำให้ผู้เรียนรู้สึกว่าเป็นเรื่องที่ยาก เรียนไม่ค่อยเข้าใจ เพราะคลื่นส่วนใหญ่มักมองไม่เห็น เช่น คลื่นเสียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเรียนและการทำความเข้าใจจึงต้องใช้จินตนาการเข้ามาช่วยด้วย คนที่จินตนาการไม่เก่ง นึกภาพของสิ่งที่มองไม่เห็นไม่ออก จึงมักรู้สึกว่าเรียนไม่รู้เรื่อง เรียนไม่เข้าใจ การที่จะทำให้การเรียนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นแล้วรู้สึกว่า ไม่ยากและสามารถเข้าใจได้ ควรเริ่มต้นจากให้ผู้เรียนศึกษาเรื่องคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาก่อน เช่น

คลื่นบนเส้นเชือกที่ขึงตึงเป็นต้น โดยผู้เรียนควรได้ลงมือทำปฏิบัติการเกี่ยวกับการทำให้เกิดคลื่นต่อเนื่องขึ้นบนเส้นเชือกที่ขึงตึง แล้วสังเกตดูว่าคลื่นเคลื่อนที่ไปอย่างไร เมื่อคลื่นไปตกกระทบกับส่วนปลายที่ถูกตรึงอยู่คลื่นจะมีการสะท้อนอย่างไร เมื่อคลื่นที่สะท้อนออกมาพบกับคลื่นตกกระทบที่ถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเกิดการเสริมกันและหักล้างกันอย่างไร ผลจากการเสริมและหักล้างกันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนเกิดเป็นคลื่นนิ่งที่มีลักษณะอย่างไร การสั่นพ้องของคลื่นบนเส้นเชือกที่ขึงตึงมีรูปร่างลักษณะอย่างไร ซึ่งอุปกรณ์ที่สามารถแสดงสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวมาให้เห็นเป็นจริงต่อสายตาได้คือชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ซึ่งชุดทดลองนี้นับว่ามีความน่าสนใจมากชุดหนึ่ง ดังจะเห็นได้จากการที่สถาบันซินโครตรอน – โซเลย ประเทศฝรั่งเศษได้พิจารณาและคัดเลือกให้นำชุดทดลองนี้มาจัดแสดงในงานมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติประจำปี 2554 ซึ่งจัดระหว่างวันที่ 6 – 21 สิงหาคม 2554 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา แต่จากประสบการณ์ในการสอนวิชาฟิสิกส์มาประมาณ 34 ปี และมีโอกาสออกไปนิเทศการสอนของนิสิตฝึกสอนตามโรงเรียนต่าง ๆ ทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด พบว่าโรงเรียนต่าง ๆ ส่วนใหญ่ไม่มีชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกใช้ สำหรับบางโรงเรียนที่มีใช้ก็เป็นชุดทดลองแบบง่ายที่ไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบถ้วนตามทฤษฎีคือ ในทางทฤษฎีกำหนดว่า เมื่อให้ความถี่ในการสั่นกับเส้นเชือกที่ขึงตึงจะเกิดคลื่นขึ้นบนเส้นเชือกและถ้าค่อยๆเพิ่มความถี่ของคลื่นบนเส้นเชือกจากค่าน้อย ๆ ให้มากขึ้นเรื่อย ๆ โดยความตึงและความยาวของเส้นเชือกคงที่ จะพบว่ามีบางความถี่ไปตรงกับความถี่ธรรมชาติของเส้นเชือก ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นพ้องและทำให้เกิดเป็นคลื่นนิ่งขึ้น โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าเชือกที่ขึงตึงจะมีลักษณะเป็นวงปิด 1 วงหรือ 1 ลูฟ (loop) ต่อจากนั้นถ้าเพิ่มความถี่ของคลื่นบนเส้นเชือกต่อไปอีกจะมีคลื่นนิ่งเกิดขึ้นอีกแต่เส้นเชือกที่ขึงตึงจะมีลักษณะเป็นวงปิด 2 วง หรือ 2 ลูฟ และถ้าเพิ่มความถี่ของคลื่นบนเส้นเชือกต่อไปอีก จะมีคลื่นนิ่งเกิดขึ้นอีกแต่เส้นเชือกที่ขึงตึงจะมีลักษณะเป็นวงปิด 3 วง 4 วงและเพิ่มขึ้นต่อไปเรื่อย ๆ โดยชุดของความถี่ต่างๆ กันดังกล่าวเรียกว่าอนุกรมฮาร์มอนิก และความถี่ของการสั่นของเชือก(f) กับจำนวนวงปิดหรือจำนวนลูฟ (n) ที่เกิดบนเส้นเชือก จะสัมพันธ์กันตามสมการ $f_n = \frac{n}{2\ell}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ เมื่อ T คือแรงตึงในเส้นเชือก และ μ คือมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเชือก แต่ในความเป็นจริงแหล่งกำเนิดความถี่ที่ใช้กันตามโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะมีค่าความถี่คงที่เป็น 50 รอบ/วินาที ไม่สามารถปรับความถี่อย่างต่อเนื่องจากน้อยไปหามากได้ ทำให้สิ่งที่เรียนตามทฤษฎีกับเครื่องมือที่แสดงไม่ตรงกัน ทำให้ผู้เรียนที่ไม่ได้ทดลองและไม่ได้เห็นจริงก็เรียนโดยไม่ค่อยเข้าใจว่า คลื่นนิ่งมีลักษณะเป็นอย่างไร ส่วนคนที่ได้ใช้อุปกรณ์ทดลองก็งงเพราะทฤษฎีบอกให้ปรับความถี่จนเกิดการสั่นพ้องและคลื่นนิ่ง แต่เมื่อทำการทดลองกลับปรับความถี่ไม่ได้แต่ไปปรับน้ำหนักที่ใช้ดึงเส้นเชือกแทน จากเหตุผลดังที่กล่าวมาจึงพบว่าเมื่อสอนเรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ครูในประเทศไทยส่วนมาก (น่าจะมากกว่า 80 % ขึ้นไป) ไม่ให้ผู้เรียนทำการทดลองจริงและไม่สาธิตการทดลองให้ผู้เรียนดูแต่ให้ผู้เรียนดูรูปภาพจากในหนังสือ หรือถ้าดีขึ้น

มาหน่อยก็ให้ดูภาพในอินเตอร์เน็ต หรือถ้าดีขึ้นมาอีกนิดก็ให้ดูการทดลองเสมือนจริงจากอินเตอร์เน็ต แต่การทดลองเสมือนจริงก็มีความแตกต่างจากของจริงมากพอควร ดังนั้นในการเรียนเรื่องคลื่นผู้เรียนจึงรู้สึกว่าไม่น่าสนใจ น่าเบื่อ เรียนแล้วยาก เรียนแล้วไม่เข้าใจ แต่ที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นคือได้เกิดความเข้าใจผิดคิดว่าวงปิด 1 วง 2 วง 3 วง ... ที่เกิดจากการเปลี่ยนน้ำหนักที่ใช้ดึงเส้นเชือกเป็นอนุกรมฮาร์มอนิกเดียวกัน แต่ในความเป็นจริงความถี่ที่สั่นเชือกจนเกิดวงปิด 1วง 2 วง 3 วง ... จะเป็นอนุกรมฮาร์มอนิกเดียวกันต้องเกิดจากการใช้ความตึงและความยาวของเส้นเชือกเดียวกัน เพื่อแก้ปัญหาดังที่กล่าวมา ควรหาวิธีให้โรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ มีชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถปรับความถี่ได้อย่างต่อเนื่องเอาไว้ใช้ในการเรียนการสอนและทำปฏิบัติการ และควรเป็นชุดทดลองที่มีราคาไม่แพง หรือโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ สามารถผลิตขึ้นได้เองโดยใช้วัสดุที่มีอยู่แล้วหรือหาได้ง่ายจะเป็นสิ่งที่ดีมาก เพราะผู้เรียนจะได้เห็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริง หรือได้ทำจริงในสิ่งที่เรียนจึงสนุกกับการเรียน และเมื่อได้ลงมือทำจริง จะทำให้เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เข้าใจในสิ่งที่เรียน ประสบความสำเร็จในการเรียน จึงน่าจะเป็นการเรียนที่มีความสุข บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการปฏิรูปการศึกษา และยังช่วยประหยัดงบประมาณของชาติเป็นอย่างมากอีกด้วย

จากประเด็นดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาและออกแบบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถปรับความถี่ได้อย่างต่อเนื่อง มีคุณภาพดี สามารถใช้ในการเรียนการสอนและการทำปฏิบัติการ เรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างถูกต้องตรงตามทฤษฎีและเห็นผลการทดลองชัดเจน

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาและออกแบบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงและมีคุณภาพดี สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่อง สามารถแสดงวงปิดของเส้นเชือกขณะเกิดคลื่นนิ่งได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึงอย่างน้อย 6 วงปิด จากความถี่และความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกได้ สามารถใช้ในการเรียนการสอนและการทำปฏิบัติการเรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างถูกต้องตรงตามทฤษฎีและเห็นผลการทดลองชัดเจน

ความสำคัญของการวิจัย

1.1 สาขาวิชาการมัธยมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูง มีคุณภาพดี สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่อง เอาไว้ใช้ในการเรียนการสอนและการทำปฏิบัติการเรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก

1.2 ประหยัดงบประมาณของคณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการไม่ต้องจัดซื้อชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก

1.3 สถาบันการศึกษาต่างๆ สามารถนำความรู้จากการวิจัยไปสร้าง ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงมีคุณภาพดีราคาถูกเอาไว้ใช้ในการเรียนการสอนและการทำปฏิบัติการเรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้

หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้

มหาวิทยาลัย สถาบันการศึกษาต่าง ๆ โรงเรียน และหน่วยงานทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และการเรียนการสอนเรื่องคลื่น

ขอบเขตของโครงการวิจัย

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่สร้างขึ้น สามารถนำใช้ในการทำปฏิบัติการแสดงคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก โดยสามารถปรับความถี่ของคลื่นที่เกิดบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่อง ใช้คำนวณหาค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเชือกได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นเรื่องหนึ่งของการทำปฏิบัติการฟิสิกส์ของนิสิตหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ – ฟิสิกส์ และนิสิตหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ทั่วไป สามารถใช้ในการเรียนการสอนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 2 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องสมบัติของคลื่น โดยขอบเขตการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาและออกแบบสร้างชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงและมีคุณภาพดีจำนวน 3 ชุด พร้อมคู่มือการใช้

ตอนที่ 2 การตรวจสอบประสิทธิภาพทำโดย นำไปทดลองทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก สังเกตว่าต้องสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึงอย่างน้อย 6 วงปิด และสามารถใช้ตรวจสอบค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นเชือกที่คำนวณได้จากการทดลอง และจากการทดลองนำเชือกที่ใช้ทดลองมาทำการชั่งอย่างละเอียดว่าต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 % และจากความถี่และความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกได้

ตอนที่ 3 การประเมินคุณภาพ โดยใช้ผู้ทรงคุณวุฒิหรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์ที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับวิชาฟิสิกส์อย่างน้อย 10 ปี จำนวน 5 ท่าน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก เป็นชุดทดลองที่ใช้ทำให้เกิดขบวนของคลื่นตกกระทบใน

เส้นเชือกซึ่งปลายทั้งสองข้างของเส้นเชือกถูกตรึง โดยเมื่อขบวนของคลื่นตกกระทบเข้าชนจุดตรึงที่ปลายหนึ่งของเส้นเชือกจะทำให้เกิดขบวนของคลื่นสะท้อนออกมาจากจุดตรึง คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนจะรวมกันเกิดเป็นคลื่นรวม ถ้าจัดความยาวและแรงตึงในเส้นเชือกให้เหมาะสมคลื่นรวมในเส้นเชือกจะมีลักษณะเป็นวงปิด โดยวงปิดแต่ละวงจะมีปฏิบัพอยู่ตรงกลางและมีบัพอยู่ 2 ข้างของปฏิบัพ วงปิดที่เกิดขึ้นมีได้ตั้งแต่ 1 วงปิดและหลายวงปิด

2. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงหมายถึง ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่สามารถปรับความถี่ของคลื่นที่เกิดบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับความถี่ได้อย่างละเอียดโดยสามารถปรับความถี่ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ครั้งละ 1 เฮิรตซ์ เป็นชุดทดลองที่มีปุ่มปรับแอมพลิจูดของคลื่นเพื่อให้มองเห็นคลื่นในเส้นเชือกได้อย่างชัดเจน เป็นชุดทดลองที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึงอย่างน้อย 6 วงปิด และสามารถใช้ตรวจสอบค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นเชือกได้อย่างถูกต้อง โดยคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการนำเชือกที่ใช้ทดลองมาทำการชั่งอย่างละเอียดและวัดความยาวโดยตรง แล้วนำมาหาอัตราส่วนว่าต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 % และจากความถี่และความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกได้

3. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีคุณภาพดีหมายถึงชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีลักษณะสอดคล้องกับลักษณะของอุปกรณ์ที่ดีตามที่ โช สาลีฉัน (2541 : 29 – 30) กล่าวไว้คือ

3.1 รูปร่างลักษณะต้องจูงใจ
3.2 ต้องทำงานได้ตามที่ต้องการ
3.3 สะดวกในการใช้และปฏิบัติ
3.4 มีความคงทนถาวร
3.5 วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีในท้องถิ่น
3.6 วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุราคาถูก
3.7 ควรใช้งานได้หลายอย่าง
3.8 สะดวกในการเก็บรักษา
3.9 มีเสถียรภาพดี
3.10 เวลาสาธิตและปฏิบัติการทดลองมองเห็นและสังเกตได้ชัดเจน

4. การทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนเรื่องคลื่น หมายถึงการลงมือปฏิบัติในการทำการทดลองทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึงอย่างน้อย 6 วงปิด ทั้งโดยวิธีกำหนดให้ความยาวและความตึงในเส้นเชือกให้มีค่าคงที่แล้วเปลี่ยนหาความถี่ที่เหมาะสม และโดยวิธีกำหนดให้ความยาวและความถี่มีค่าคงที่แล้วเปลี่ยนหาความตึงในเส้นเชือกที่เหมาะสม จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นเชือก นอกจากนั้นจากความถี่ และความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำเสนอมีหัวข้อดังนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและคลื่นนิ่ง
2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์
4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและคลื่นนิ่ง

ในการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่าย (simple harmonic motion)ก่อน โดยการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่ายเป็นแบบหนึ่งของการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด (oscillate)

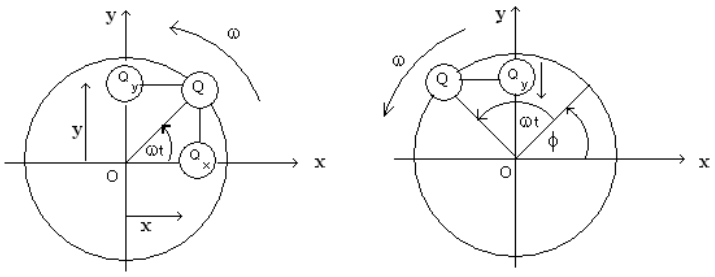
การเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด คือการเคลื่อนที่ใดๆ ที่มี

- การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิม
- ผ่านจุดคงที่
- ในช่วงเวลาที่เท่าๆ กัน

ลักษณะสำคัญของการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด คือ แอมพลิจูด พลังงานรวม และเวลาครบรอบของการเคลื่อนที่มีค่าคงที่ ตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด เช่น

- การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา
- การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดอยู่ที่ปลายสปริง
- การสั่นของโมเลกุลอากาศในขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านไป

การศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่าย ให้ง่าย จะพิจารณาจากเงาของอนุภาคที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ ดังรูป 1



(ก) (ข)

รูป 1 อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่

กรณีแรก พิจารณากรณีมุมเริ่มต้นเป็นศูนย์ ($\phi = 0$) พิจารณาเงาของ Q บนแกน y เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$y = A \sin \omega t = A \sin \theta$$

มุมเฟส θ คือมุมที่แขน OQ ทำกับแกน + x ในขณะนั้น

กรณีที่ 2 มุมเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ ($\phi \neq 0$) พิจารณาเงาของ Q บนแกน y เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$y = A \sin (\omega t + \phi)$$

ϕ คือ เฟสเริ่มต้น(initial phase) เมื่อ t = 0 พบว่า

$$\theta = \omega t$$

$$\theta = \omega t + \phi$$

θ คือมุมที่แขน OQ ทำกับแกน + x เรียกว่า มุมเฟส (phase angle)

สรุปกรณีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่าย

กรณีมุมเริ่มต้น $\phi = 0$

สมการการกระจัด $y = A \sin \omega t$

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} = \omega A \cos \omega t$$

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = - \omega^2 A \sin \omega t = - \omega^2 y$$

กรณี มุมเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ ($\phi \neq 0$)

สมการการกระจัด $y = A \sin (\omega t + \phi)$

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} = \omega A \cos (\omega t + \phi)$$

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = - \omega^2 A \sin (\omega t + \phi) = - \omega^2 y$$

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่าย มีรูปสมการเป็น

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

จากการศึกษาสามารถสรุปเกี่ยวกับคลื่นได้ว่า

- เป็นการถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณรอบข้างโดยอาศัยสมบัติการสั่นหรือการแกว่งกวัด

- เป็นรูปแบบของการเคลื่อนที่ของพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีคาบหรือมีรอบ โดยทั่วไปแบ่งคลื่นได้เป็น 2 ประเภท

1. คลื่นกล (mechanical waves) เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยต้องอาศัยตัวกลาง เช่น คลื่นเสียง คลื่นในเส้นเชือก คลื่นผิวน้ำ

2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางเช่น คลื่นไมโครเวฟ คลื่นแสง คลื่นวิทยุ

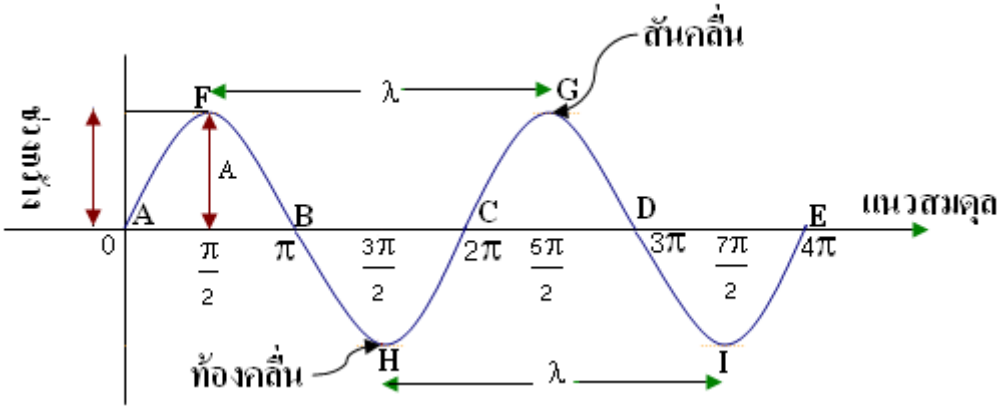
เมื่อพิจารณาคลื่นกลพบว่า

- เป็นคลื่นที่แผ่ออกไปโดยต้องอาศัยตัวกลาง
- ใช้คุณสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง
- คลื่นทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการแกว่งกวัดรอบตำแหน่งสมดุลของมัน

ถ้าอนุภาคของตัวกลางแกว่งกวัดในทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเรียกว่า คลื่นตามขวาง (transverse waves) เช่นคลื่นในเส้นเชือก คลื่นผิวน้ำ

ถ้าอนุภาคของตัวกลางแกว่งกวัดในทิศของการเคลื่อนที่ของคลื่นเรียกว่า คลื่นตามยาว (longitudinal waves) เช่น คลื่นเสียง คลื่นที่เกิดจากการอัดตัวของสปริง

พบว่าคลื่นโดยทั่วไปเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิด ทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่าย จึงนำความรู้เรื่องการแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่ายมาใช้ได้ ดังนั้นลักษณะของคลื่นชนิดต่าง ๆจึงเขียนแทนได้ด้วยกราฟรูปไซน์หรือกราฟรูปโคไซน์ โดยมีส่วนประกอบดังรูป 2



รูป 2 ส่วนประกอบของคลื่น

1. ยอดคลื่นหรือสันคลื่นหมายถึงส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก
2. ท้องคลื่นหมายถึงส่วนล่างสุดของคลื่นแต่ละลูก
3. ความยาวคลื่น (λ) หมายถึงความกว้างของคลื่น 1 ลูก ซึ่งคือระยะห่างของตำแหน่งบนคลื่นที่มีลักษณะเดียวกันที่ติดต่อกัน เช่น ระยะจากสันคลื่นลูกหนึ่งถึงสันคลื่นลูกถัดไป
4. การกระจัด (displacement) หมายถึงระยะจากจุดใด ๆบนแนวคลื่นถึงแนวสมดุล
5. ช่วงกว้างของคลื่น (amplitude) หมายถึงระยะจากสันคลื่นหรือระยะจากท้องคลื่นถึงแนวสมดุล นั่นคือการกระจัดที่มีค่ามากที่สุด

6. เฟสของคลื่น(phase) หมายถึงค่าของมุมบนแนวสมดุลที่ใช้บอกตำแหน่ง หรือระยะกระจัดของอนุภาคของตัวกลาง ณ ตำแหน่งใดๆ ที่เวลาใดๆ บนคลื่น เช่นตำแหน่งบนคลื่น F มีเฟสเป็น 90° ($\frac{\pi}{2}$)

7. ตำแหน่งที่มีเฟสตรงกัน(inphase) หมายถึง ตำแหน่งบนคลื่นที่มีระยะห่างกันเป็นจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่นเช่น λ , 2λ , 3λ ,...., $n\lambda$ หรือมีเฟสต่างกัน 2π , 4π , 6π ,..., $2n\pi$ เช่น A , C, E เป็นตำแหน่งบนคลื่นที่ inphase กัน

8. ตำแหน่งบนคลื่นที่มีเฟสตรงกันข้ามหรือตำแหน่งบนคลื่นที่อยู่ห่างกัน $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$,...., (n + $\frac{1}{2}$)λ หรือมีเฟสต่างกัน π , 3π , 5π ,..., $(2n+1)\pi$ เช่น F และ H มีเฟสตรงกันข้าม

9. ความถี่ (frequency = f) หมายถึงจำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา (รอบต่อวินาทีหรือ Hz)

10. คาบ (period = T) หมายถึง เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ หรือ เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 ความยาวคลื่น โดย

$$T = \frac{1}{f}$$

11. อัตราเร็วคลื่นหมายถึงระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา โดย

$$\text{อัตราเร็ว(v)} = \frac{\text{ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่}}{\text{เวลา}}$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

การศึกษาสมบัติของคลื่นใช้อุปกรณ์คือชุดถาดคลื่น เมื่อแสงจากหลอดไฟส่องมาที่ผิวน้ำในถาดคลื่น ผิวน้ำส่วนที่โค้งขึ้นจะเสมือนเป็นเลนส์นูนรวมแสงเกิดเป็นแถบสว่างบนกระดาษใต้ถาดคลื่น ผิวน้ำส่วนที่โค้งลงจะเสมือนเป็นเลนส์เว้ากระจายแสงเกิดเป็นแถบมืดบนกระดาษใต้ถาดคลื่น

เมื่อใช้ชุดถาดคลื่นทดลองทำให้เกิด

(1). คลื่นดลวงกลม

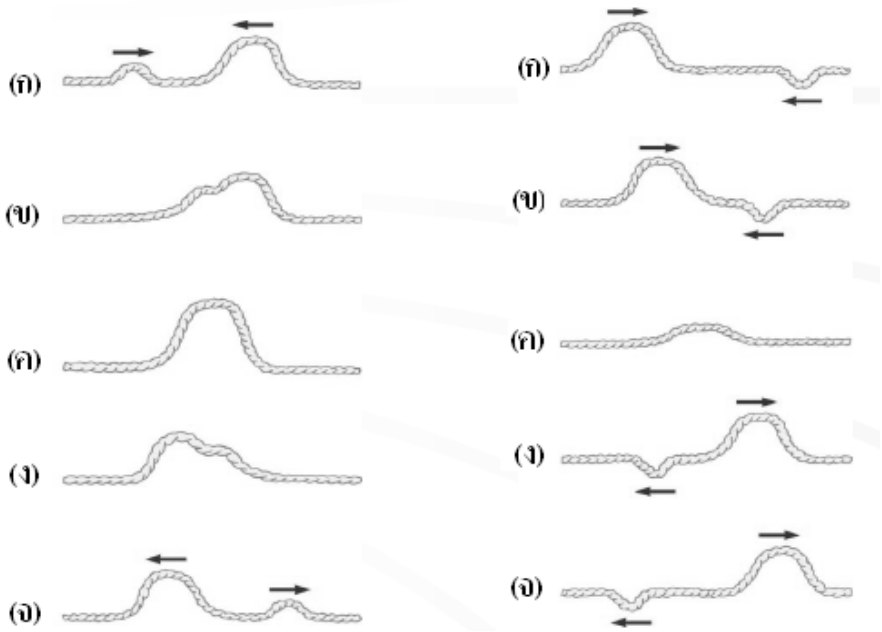
(2). คลื่นวงกลมต่อเนื่อง

(3). คลื่นดลเส้นตรง

(4). คลื่นต่อเนื่องเส้นตรง

จากคลื่นต่อเนื่องจะทำให้เห็น“ หน้าคลื่น ” ซึ่งคือเส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีเฟสตรงกัน เส้นแนวกลางของแถบสว่างซึ่งเกิดจากแนวของสันคลื่น และเส้นแนวกลางของแถบมืดซึ่งเกิดจากแนวของท้องคลื่นต่างก็เป็นหน้าคลื่น พบว่าหน้าคลื่นมีทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น ระยะระหว่างหน้าคลื่นที่อยู่ถัดกันจะเท่ากับความยาวคลื่น

เมื่อคลื่นดลสองคลื่นที่เกิดจากการสะบัดเส้นเชือกมาพบกันจะได้ผลเป็นดังรูป 3



รูป 3 การซ้อนทับกันของคลื่นดล 2 คลื่น

สิ่งที่พบจากการสังเกตคือเมื่อคลื่นมาพบกันจะเกิด“คลื่นรวม”หรือ“คลื่นลัพธ์” ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการซ้อนทับของคลื่น ถ้าสะบัดในทิศเดียวกันคลื่นดลทั้งสองจะทำให้อนุภาคของเส้นเชือกมีการกระจัดในทิศเดียวกัน เมื่อเคลื่อนที่มาพบกันคลื่นดลทั้งสองจะรวมกัน เกิดการกระจัดลัพธ์มีขนาดมากกว่าการกระจัดเดิมของคลื่นแต่ละคลื่น เมื่อคลื่นทั้งสองผ่านพ้นกันไปแล้วคลื่นดลแต่ละคลื่นจะมีลักษณะเหมือนเดิม และเคลื่อนที่ในทิศเดิม

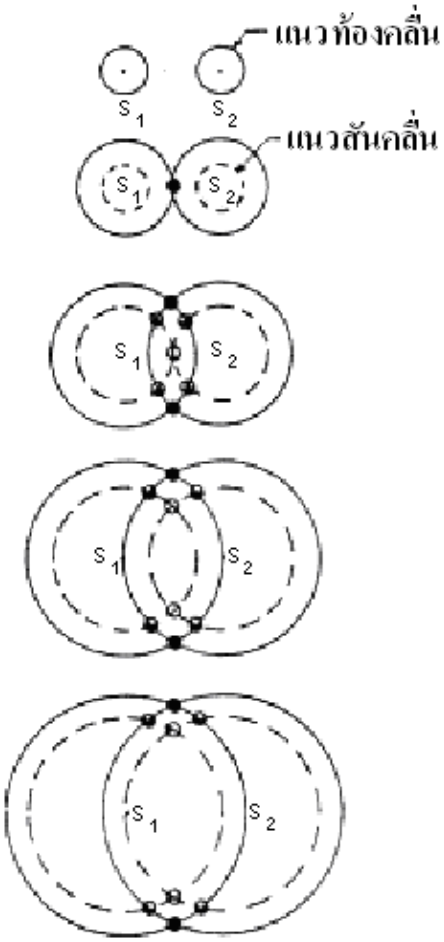
ถ้าสะบัดในทิศตรงกันข้าม คลื่นดลทั้งสองจะทำให้อนุภาคของเส้นเชือกมีการกระจัดในทิศตรงกันข้าม เมื่อเคลื่อนที่มาพบกันคลื่นดลทั้งสองจะรวมกันทำให้เกิดการกระจัดลัพธ์มีขนาดน้อยกว่าการกระจัดเดิมของคลื่นแต่ละคลื่น เมื่อคลื่นทั้งสองผ่านพ้นกันไปแล้วคลื่นดลแต่ละคลื่นจะมีลักษณะเหมือนเดิมและเคลื่อนที่ในทิศเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การซ้อนทับของคลื่นซึ่งอธิบายใช้ “ หลักการซ้อนทับของคลื่น ” ดังนี้เมื่อคลื่น 2 ขบวนขึ้นไปมาพบกันที่จุดใดจุดหนึ่งจะเกิดการรวมกันของคลื่นที่จุดนั้น โดย

(ก) คลื่นลัพธ์ จะเกิดจากการรวมกันแบบเวกเตอร์ของการกระจัดของคลื่นทั้งสอง

(ข) ถ้าสันคลื่นพบกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นพบกับท้องคลื่น คลื่นลัพธ์จะเป็นแบบเสริมกัน ได้คลื่นลัพธ์ที่โตกว่าเดิม

(ค) ถ้าสันคลื่นพบกับท้องคลื่น คลื่นลัพธ์จะเป็นแบบ หักล้างกัน

ดังนั้นเมื่อคลื่นทั้งสองผ่านพ้นกันไปแล้วคลื่นดลแต่ละคลื่นจะมีลักษณะเหมือนเดิม และเคลื่อนที่ในทิศเดิม ในกรณีคลื่นผิวน้ำที่เคลื่อนที่มาพบกันก็จะรวมกันได้เช่นกัน เช่นเมื่อแหล่งกำเนิดคลื่น 2 แหล่งทำให้เกิดคลื่นวงกลมที่เหมือนกันทุกประการ คือมีความถี่และเฟสตรงกันจะสามารถเขียนแผนภาพแสดงการซ้อนทับของคลื่นได้ดังรูป 4



รูป 4 การซ้อนทับของคลื่นดลวงกลม 2 คลื่น

● แสดง การซ้อนทับของท้องคลื่นกับท้องคลื่น

○ แสดง การซ้อนทับของสันคลื่นกับสันคลื่น

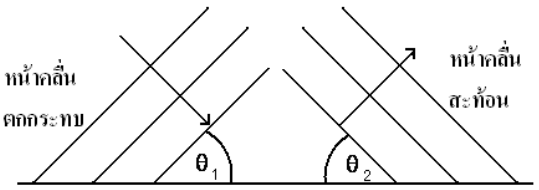
◓ ◒ แสดง การซ้อนทับของสันคลื่นกับท้องคลื่น

สมบัติของคลื่น

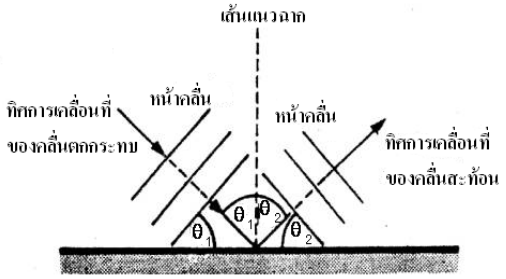
ที่พิจารณาผ่านมา คลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางเนื้อเดียวโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ถ้าคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง หรือคลื่นเคลื่อนที่ในตัวกลางเนื้อเดียวกันแต่พบสิ่งกีดขวาง คลื่นจะเปลี่ยนพฤติกรรมอย่างไร ?

การสะท้อนของคลื่น(Reflection)

ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางจะการสะท้อนของคลื่น กรณีการสะท้อนของคลื่นในถาดคลื่นสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูป 5 หรือเขียนแผนภาพแสดงทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ และคลื่นสะท้อนจะได้ ดังรูป 6



รูป 5 มุมตกกระทบและมุมสะท้อน



รูป 6 ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น

เส้นที่ลากตั้งฉากกับแผ่นกั้น ณ จุดที่คลื่นตกกระทบตกกระทบแผ่นกั้นเรียกว่า เส้นแนวฉาก

จากรูป 6

θ_1 = มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับแผ่นกั้น

θ_2 = มุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้น

i_1 = มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบทำกับเส้นแนวฉาก เรียกว่ามุมตกกระทบ

i_2 = มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนทำกับเส้นแนวฉาก เรียกว่า มุมสะท้อน

พิจารณา ΔABC และ ΔBCF

$\because$ BAC = 90°

$\therefore$ $\theta_1 + a = 90^\circ$

$\because$ FCB = 90°

$\therefore$ $+ a = 90^\circ$

$\therefore$ $\theta_1 = i_1$

พิจารณา ΔCDE และ ΔCEF

$\because$ CED = 90°

$\therefore$ $\theta_2 + b = 90^\circ$

$\because$ DCF = 90°

$\therefore$ $i_2 + b = 90^\circ$

$\theta_2 = i_2$

สรุปได้ว่า มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบทำกับเส้นแนวฉาก จะเท่ากับ มุมที่หน้า

คลื่นตกกระทบทำกับแผ่นกั้นเรียกมุมนี้ว่า มุมตกกระทบ

มุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนทำกับเส้นแนวฉาก จะเท่ากับ มุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้นเรียกมุมนี้ว่า มุมสะท้อน

จากการทดลองพบว่า

$$\theta_1 = \theta_2$$

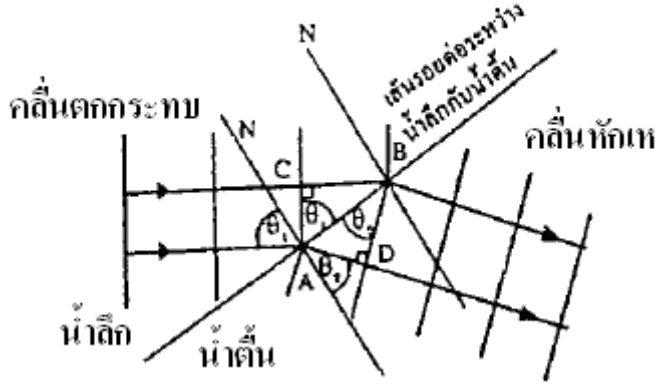
$$\therefore \quad i_1 = i_2$$

สรุปเป็นกฎการสะท้อนได้ว่า เมื่อเกิดการสะท้อนของคลื่นจะได้มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

การหักเหของคลื่น(Refraction)

เมื่อคลื่นตกกระทบสิ่งกีดขวางจะเกิดการสะท้อน แต่ถ้าคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่งจะเกิดการหักเหของคลื่น เมื่อให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าไปยังบริเวณน้ำตื้น จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนความลึกทำให้อัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำเปลี่ยนไป ดังนั้นสามารถถือได้ว่า น้ำลึกและน้ำตื้นเป็นตัวกลางคนละชนิด

ถ้าตอนแรกทดลองให้ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบตั้งฉากกับรอยต่อพบว่าคลื่นที่ผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่งมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปแต่ทิศการเคลื่อนที่ไม่เปลี่ยน ต่อมาให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกกับน้ำตื้น โดยทิศการเคลื่อนของคลื่นตกกระทบไม่ตั้งฉากกับรอยต่อพบว่า คลื่นที่ผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่งมีทิศการเคลื่อนที่เปลี่ยนไปและความยาวคลื่นเปลี่ยนไปด้วย การอธิบายผลการทดลองที่พบเมื่อมองผ่านสโตรโบสโคป พบว่าทั้งคลื่นในน้ำลึกและน้ำตื้นจะหยุดนิ่งพร้อมกันแสดงว่าความถี่ของคลื่นยังคงเท่าเดิม นั่นคือความถี่คงที่แม้ว่าความยาวคลื่นจะเปลี่ยนไปแต่ $v = f\lambda$ ดังนั้นทำให้ทราบว่าอัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนไป (ไม่คงที่) ปรากฏการณ์ที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางที่มีสมบัติต่างกันแล้วทำให้อัตราเร็วและทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเปลี่ยนไปเรียกว่าการหักเห และคลื่นที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางไปเรียกว่าคลื่นหักเห เขียนแผนภาพการหักเหของคลื่นได้ดังรูป 7



รูป 7 การหักเหของคลื่น

เมื่อคลื่นเกิดการหักเห ความถี่ (f) คงที่ แต่ความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบ ความยาวคลื่นของคลื่นหักเหเปลี่ยนไปคือไม่เท่ากัน และอัตราเร็วของคลื่นตกกระทบ อัตราเร็วของคลื่นหักเหเปลี่ยนไป คือ ไม่เท่ากัน ปริมาณเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันหาได้โดยจากรูป 7

หน้าคลื่นของคลื่นตกกระทบทำมุม θ_1 กับรอยต่อ

หน้าคลื่นของคลื่นหักเหทำมุม θ_2 กับรอยต่อ

ให้ N เป็นเส้นแนวฉาก

ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบทำมุม θ_1 กับเส้นแนวฉาก มุม θ_1 คือมุมตกกระทบ

ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเหทำมุม θ_2 กับเส้นแนวฉาก มุม θ_2 คือ มุมหักเห

จากรูป

BC = λ_1 (เป็นความยาวคลื่นในบริเวณน้ำลึก)

AD = λ_2 (เป็นความยาวคลื่นในบริเวณน้ำตื้น)

พิจารณา Δ ABC

$$\sin\theta_1 = \frac{BC}{AB} = \frac{\lambda_1}{AB}$$

พิจารณา Δ ABD

$$\sin\theta_2 = \frac{AD}{AB} = \frac{\lambda_2}{AB}$$

ดังนั้น

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1/AB}{\lambda_2/AB} = \frac{\lambda_1}{AB}\times\frac{AB}{\lambda_2}$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (11.2)$$

$\because$ $v = f\lambda$

ถ้าให้ v_1 เป็นอัตราเร็วของคลื่นในน้ำลึก

v_2 เป็นอัตราเร็วของคลื่นในน้ำตื้น

$\because$ คลื่นในน้ำลึกและน้ำตื้นมีความถี่เท่ากัน

$\therefore$ $v_1 = f\lambda_1$ และ $v_2 = f\lambda_2$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{f\lambda_1}{f\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

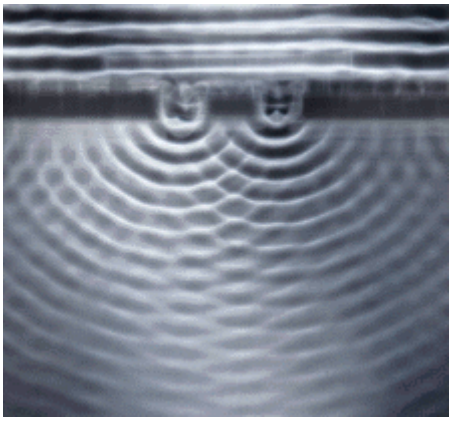
จากสมการ(11.2) และ(11.3) จะได้

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad (11.4)$$

สมการ(11.4) อธิบายได้ว่าเมื่อคลื่นมีการหักเห อัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบ กับไซน์ของมุมหักเหมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นตกกระทบกับอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นหักเห

การแทรกสอดของคลื่น (Interference)

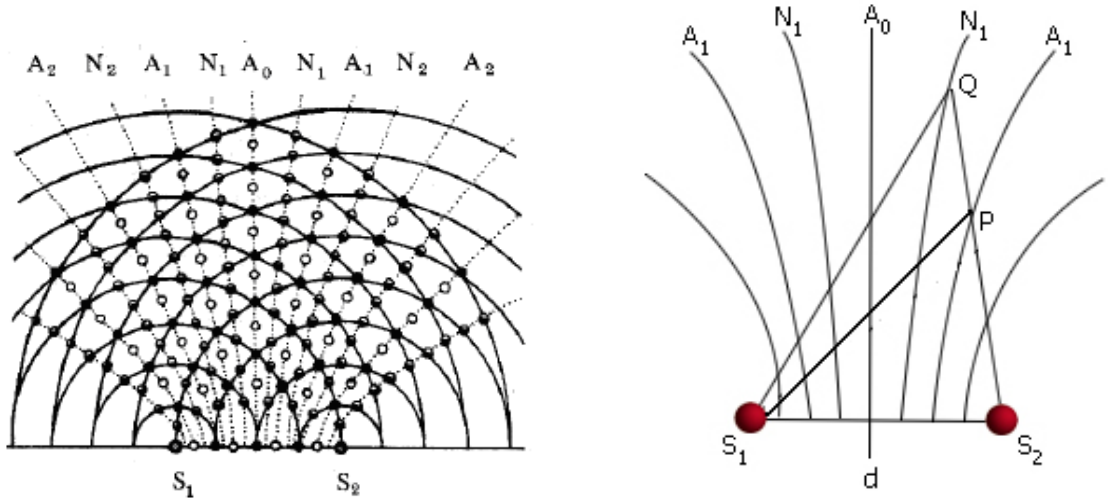
จากหลักการซ้อนทับกันของคลื่นทราบแล้วว่าถ้าคลื่นดล 2 คลื่นมาพบกันจะเกิดการรวมกัน ถ้าคลื่นที่มาพบกันเป็นคลื่นต่อเนื่องที่มีความถี่เท่ากันและมีเฟสตรงกัน ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นอย่างไร ? ทำการทดลองโดยใช้ถาดคลื่น และแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent source) คือ แหล่งกำเนิดคลื่นตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป ที่มีความถี่เท่ากันและมีเฟสตรงกัน หรือมีเฟสต่างกันคงตัว จากการทดลองใช้ถาดคลื่น และใช้แหล่งกำเนิดคลื่นวงกลมที่เกิดจากปุ่ม 2 ปุ่มของคันเคาะ เมื่อคลื่นวงกลมต่อเนื่อง 2 ขบวน ที่เหมือนกันมาพบกัน คลื่นทั้ง 2 ขบวน จะรวมกัน (ซ้อนทับกัน) จะมองเห็นเป็นแนวมืด แนวสว่าง สลับกัน เรียกว่าเกิดลวดลายการแทรกสอด(Interference pattern) และเรียกปรากฏการณ์การซ้อนทับกันของคลื่น 2 ขบวนที่มาพบกันนี้ว่า การแทรกสอด ดังรูป 8



รูป 8 การแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่องวงกลม

จากรูป 8 เป็นลวดลายการแทรกสอดคลื่นวงกลมต่อเนื่อง 2 ขบวนที่เหมือนกันมาพบกันและซ้อนทับกันโดยเมื่อใดที่สันคลื่นพบกับท้องคลื่นตำแหน่งนั้นแอมปลิจูดของคลื่นทั้งสองจะหักล้างกันทำให้ผิวน้ำไม่กระเพื่อม เรียกว่าเกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง และเรียกตำแหน่งที่ผิวน้ำไม่

กระเพื่อมหรือมีการกระจัดเป็นศูนย์ว่า บัพ (node) สำหรับตำแหน่งที่สันคลื่นพบกับสันคลื่น และท้องคลื่นพบกับท้องคลื่น แอมปลิจูดของคลื่นทั้งสองจะเสริมกันทำให้ผิวน้ำ ณ ตำแหน่งนั้นมีระดับสูงขึ้นมากที่สุดหรือลดต่ำมากที่สุดตามลำดับ เรียกว่าเกิดการแทรกสอดแบบเสริม และเรียกตำแหน่งที่ผิวน้ำกระเพื่อมมากที่สุดหรือมีการกระจัดมากที่สุดว่า ปฏิบัพ (antinode) เนื่องจากคลื่นทั้ง 2 ขบวนเคลื่อนที่มาพบกันอย่างต่อเนื่องจึงเกิดบัพ และปฏิบัพอย่างต่อเนื่อง พบว่าเมื่อลากเส้นเชื่อมต่อบัพที่อยู่ถัดกันไปจะได้แนวเส้นที่เรียกว่าเส้นบัพ (node line) และเมื่อลากเส้นเชื่อมต่อปฏิบัพที่อยู่ถัดกันไปจะได้แนวเส้นที่เรียกว่าเส้นปฏิบัพ(antinode line)ทำให้เห็นเป็นลวดลายการแทรกสอด ซึ่งแผนภาพของการแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่องวงกลมแสดงดังรูป 9



(ก) (ข)

รูป 9 แผนภาพการแทรกสอดของคลื่น

- แทนตำแหน่งที่ท้องคลื่นพบกับท้องคลื่น
- แทน ตำแหน่งที่สันคลื่นพบกับสันคลื่น
- แทน ตำแหน่งที่สันคลื่นพบกับท้องคลื่น

จากรูป 9 ถ้าพิจารณาเฉพาะเส้นบัพและปฏิบัพจะได้ดังรูป (ข)

โดย S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์

$A_0, A_1, A_2, \ldots$ เป็นเส้นปฏิบัพ

$N_1, N_2, \ldots$ เป็นเส้นบัพ

พิจารณาเส้นปฏิบัพ ทุกๆ จุดบนเส้นปฏิบัพ คลื่นจะมีการแทรกสอดแบบเสริมกัน นั่นคือท้องคลื่นพบกับท้องคลื่นและสันคลื่นพบกับสันคลื่นพอดี ดังนั้นผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆบนเส้นปฏิบัพจะเท่ากับจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่นเสมอ เช่น ที่จุด P ในรูป จะได้

$$S_1P - S_2P = n\lambda$$

เมื่อ n = 0,1,2,3,.....

ในทำนองเดียวกันพิจารณาเส้นบัพ ทุกๆ จุดบนเส้นบัพคลื่นจะมีการแทรกสอดแบบหักล้างนั่นคือสันคลื่นซ้อนทับกับท้องคลื่นพอดี ดังนั้นผลต่างระหว่างระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองไปยังจุดใดๆ บนเส้นบัพจะเท่ากับ จำนวนเต็มบวกด้วยครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสมอ เช่นที่จุด Q ในรูปจะได้

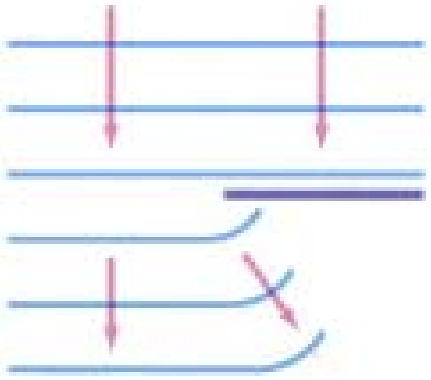
$$S_1Q - S_2Q = (n + \frac{1}{2})\lambda$$

เมื่อ n = 0,1,2,3,.....

ปริมาณ $S_1P - S_2P$ และ $S_1Q - S_2Q$ เรียกว่าความต่างระยะทาง (path difference) หรือ (path – length difference) ขณะเกิดการแทรกสอด ในแนว S_1 และ S_2 ในรูป 9 รูปคลื่นที่ปรากฏขึ้นจะเสมือนอยู่นิ่งกับที่เรียกว่าคลื่นนิ่ง(standing wave หรือstationary wave) คลื่นนิ่งของคลื่นหน้าตรงสามารถทำให้เกิดขึ้นได้ โดยให้คลื่นผิวน้ำที่มีหน้าคลื่นเส้นตรงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปกระทบแถบกั้นขอบตรงที่ขนานกับหน้าคลื่น คลื่นที่สะท้อนกลับจะแทรกสอดกับคลื่นเดิมเกิดเส้นบัพและปฏิบัพ

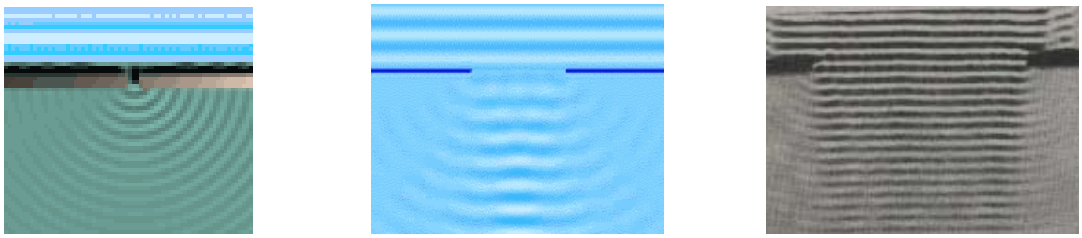
การเลี้ยวเบน (Diffraction)ของคลื่น

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่พบสิ่งกีดขวางจะสะท้อน แต่ถ้านำแผ่นกั้นขวางการเคลื่อนที่ของคลื่นแต่เพียงบางส่วน พบว่ามีคลื่นส่วนหนึ่งแผ่กระจายจากขอบของแผ่นกั้น ดังรูป 10



รูป 10 การเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำเมื่อผ่านขอบสิ่งกีดขวาง

การที่มีคลื่นปรากฏในบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นเช่นนี้เรียกว่า การเลี้ยวเบน ถ้าเพิ่มความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบก็จะเห็นการเลี้ยวเบนเกิดมากขึ้น (คลื่นที่มีความถี่ต่ำคือ λ มากจะอ้อมสิ่งกีดขวางไปได้ไกลกว่าเมื่อใช้คลื่นที่มีความถี่สูงแสดงว่าเกิดการเลี้ยวเบนได้มากกว่า) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ปะทะสิ่งกีดขวางที่มีช่องเปิดคลื่นจะเลี้ยวเบนเช่นกัน การเลี้ยวเบนเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นกับความกว้าง (d) ของช่องเปิดดังรูป 11



$d << \lambda$ $d \approx \lambda$ $d >> \lambda$

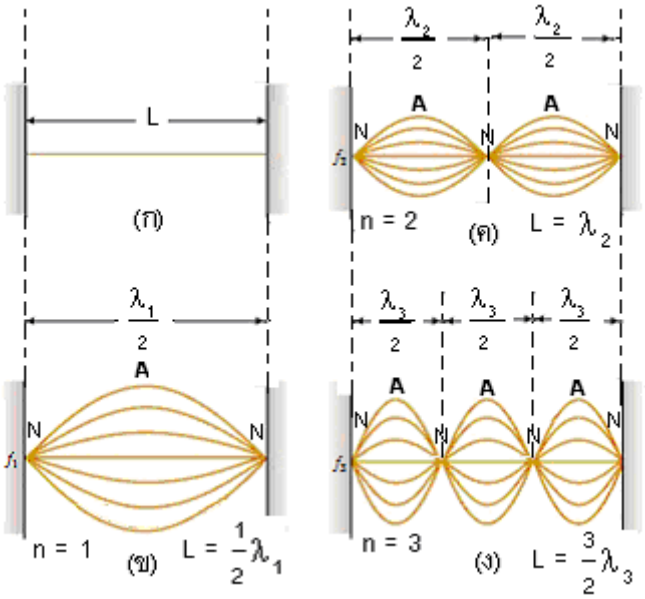
รูป 11 การเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำที่มีความยาวคลื่นคงตัวแต่ความกว้างช่องเปิดต่างกัน

จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นว่าเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปในตัวกลางหนึ่งแล้วพบสิ่งกีดขวางหรือคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง คลื่นจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนไปคือจะ สะท้อน หักเห แทรกสอด และเลี้ยวเบน ซึ่งเรียกรวมว่าสมบัติของคลื่นคลื่นชนิดอื่นๆ ที่นอกเหนือจากคลื่นผิวน้ำก็มีสมบัติเหล่านี้เช่นกัน

ความถี่ธรรมชาติ การสั่นพ้องของคลื่นบนเส้นเชือกและคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก

เมื่อทำให้วัตถุสั่นหรือแกว่งอย่างอิสระโดยการออกแรงกระทำกับวัตถุเพียงครั้งเดียว วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นความถี่ประจำตัวของวัตถุนั้นๆ เรียกความถี่นี้ว่าความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) เช่นการแกว่งของลูกตุ้มที่ผูกไว้ด้วยเชือก ถ้าเชือกที่ใช้ผูกลูกตุ้มสั้นลูกตุ้มจะแกว่งด้วยความถี่สูงหรือแกว่งเร็ว ถ้าเชือกที่ใช้ผูกลูกตุ้มยาวลูกตุ้มจะแกว่งด้วยความถี่ต่ำหรือแกว่งช้าๆ นั่นคือลูกตุ้มที่ผูกไว้ด้วยเชือกที่ยาวต่างกันจะแกว่งด้วยความถี่ธรรมชาติที่ต่างกัน สำหรับแอมพลิจูดของการแกว่งขึ้นกับขนาดของแรงที่กระทำต่อลูกตุ้ม แต่ถ้าให้แรงกระทำต่อเนื่องในจังหวะที่เหมาะสมกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ จะทำให้แอมพลิจูดค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงมากที่สุด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการสั่นพ้อง(resonance) การสั่นพ้องเกิดจากการที่วัตถุถูกบังคับให้สั่นด้วยแรงภายนอกที่มีความถี่เท่ากับหรือเป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น มีผลให้วัตถุสั่นด้วยแอมพลิจูดที่กว้างกว่าปกติ ในกรณีของเส้นเชือกที่ถูกตรึงปลายข้างหนึ่งเอาไว้ และอีกปลายถูกดึงให้ตึงแล้วสะบัด จะเกิดคลื่นตามขวางเคลื่อนที่จากปลายที่สะบัดไปยังจุดที่ตรึงด้วยอัตราเร็วที่ขึ้นกับความตึงในเส้นเชือกและค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(linear mass density) ของเส้นเชือก เมื่อคลื่นเดินทางมาถึงจุดตรึง จะเกิดการสะท้อนออกมาจากจุดที่ตรึง เรียกคลื่นที่เดินทางจากจุดที่สะบัดแล้วเคลื่อนที่มาตามเส้นเชือกว่าคลื่นตกกระทบ และเรียกคลื่นที่สะท้อนออกมาจากจุดตรึงว่าคลื่นสะท้อน ถ้าทำให้เกิดขบวนของคลื่นตกกระทบอย่างต่อเนื่อง ก็จะมีขบวนของคลื่นสะท้อนอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ซึ่งคลื่นที่ตกกระทบจะรวมกันหรือเกิดการซ้อนทับกัน (superposition)กับคลื่นที่สะท้อนออกมา และถ้าจัดความยาวและความตึงของเชือกให้เหมาะสม คลื่นทั้งสองขบวนจะรวมกันในลักษณะพิเศษคือ มองเห็นเชือกเป็นรูปแบบของการแทรกสอดที่นิ่งหรืออยู่กับที่ โดยจะเห็นเชือกสั่นเป็นส่วนๆ ในลักษณะเป็นวงปิดหรือลูฟ (loop) โดยวงปิดหรือลูฟที่เกิดขึ้นมีได้หลายรูปแบบ

เช่นที่แสดงดังรูป 12



รูป 12 แสดงเส้นเชือกตึงที่ถูกตรึงปลายทั้งสองข้างและตัวอย่างวงปิดที่สามารถเกิดขึ้นได้

จากรูป 12 พบว่า มีตำแหน่งที่เชือกไม่สั่นและมีตำแหน่งที่เชือกสั่นมากที่สุด เรียกรูปแบบของการสั่นที่ไม่ได้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือทางขวาและมีตำแหน่งบางตำแหน่งที่อยู่นิ่งหรืออยู่กับที่นี้ว่าคลื่นนิ่ง(standing waves หรือ stationary waves) เรียกตำแหน่งที่เชือกไม่สั่นว่าบัพ(node) เรียกตำแหน่งที่เชือกสั่นมากที่สุดว่าปฏิบัพ(antinode) จากรูป 12 พบว่าระยะห่างระหว่างบัพที่อยู่ต่อเนื่องกันหรือระยะห่างระหว่างปฏิบัพที่อยู่ต่อเนื่องกันจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น พบว่าตำแหน่งที่เชือกถูกตรึงจะเป็นตำแหน่งของบัพเสมอ และตรงกลางระหว่างบัพจะเป็นปฏิบัพเสมอ การเกิดคลื่นนิ่งในลักษณะนี้มีสาเหตุมาจากเกิดการสั่นพ้องของเส้นเชือก ซึ่งความถี่ของคลื่นนิ่งที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องในเส้นเชือกมีได้หลายค่า เรียกความถี่เหล่านี้ว่า ความถี่สั่นพ้อง (resonant frequencies)

การวิเคราะห์เพื่อหาสมการฟังก์ชันคลื่นของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น จะสมมติให้มีคลื่นรูปไซน์สองขบวนที่มีแอมพลิจูด(A) ความถี่(f) และความยาวคลื่น(λ)เท่ากัน เคลื่อนที่สวนทางกันบนเส้นเชือก โดยจากที่ศึกษามาแล้วทราบว่าสมการฟังก์ชันคลื่นของคลื่นรูปไซน์ที่เคลื่อนที่ไปทางขวามีสมการเป็น $y_1 = A \sin (kx - \omega t)$ และสมการฟังก์ชันคลื่นของคลื่นรูปไซน์ที่เคลื่อนที่ไปทางซ้ายมีสมการเป็น $y_2 = A \sin (kx + \omega t)$

โดย k คือเลขคลื่น (wave number) และ $k = 2\pi/\lambda$

ω คือความถี่เชิงมุม (angular frequency) และ $\omega = 2\pi f$

เมื่อคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่มาสวนทางกันบนเส้นเชือกจะเกิดการรวมกันหรือซ้อนทับกันเกิดเป็นคลื่นลัพธ์ที่มีสมการเป็น

$$y = y_1 + y_2 = A \sin (kx - \omega t) + A \sin (kx + \omega t)$$

$$= A\{\sin (kx - \omega t) + \sin (kx + \omega t)\}$$

จากความรู้ในวิชาตรีโกณมิติทราบว่า

$$\sin a + \sin b = 2 \sin \left(\frac{a+b}{2} \right) \cos \left(\frac{a-b}{2} \right)$$

ดังนั้น $\sin (kx - \omega t) + \sin (kx + \omega t) = 2 \sin \left(\frac{kx - \omega t + kx + \omega t}{2} \right) \cos \left(\frac{kx - \omega t - kx - \omega t}{2} \right)$

$$= 2 \sin kx \cos (- \omega t)$$

$$= 2 \sin kx \cos \omega t$$

ดังนั้น $$y = 2A \sin kx \cos \omega t \qquad (1)$$

ฟังก์ชันคลื่นในสมการ(1)มีรูปแบบต่างไปจากฟังก์ชันคลื่นเคลื่อนที่ก่อนที่จะมาซ้อนทับกัน และไม่ได้ประกอบไปด้วยฟังก์ชันของ $kx \pm \omega t$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันคลื่นของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ แต่ x และ t แยกกันอยู่คนละเทอม ดังนั้นสมการ(1)ไม่ได้บอกถึงคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ แต่เป็นสมการของคลื่นนิ่งที่มีความถี่เชิงมุมเป็น ω และแต่ละจุดของตัวกลางจะเคลื่อนที่เป็นฮาร์มอนิกอย่างง่าย แต่ทุกอนุภาคไม่ได้มีแอมพลิจูดเท่ากันเสมอเหมือนในกรณีคลื่นที่เคลื่อนที่ แต่แอมพลิจูดจะขึ้นกับตำแหน่ง x โดยแอมพลิจูดที่ตำแหน่ง x หาค่าได้จาก 2A sin kx ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งปฏิบัพ และณ ตำแหน่งปฏิบัพนี้ sin kx มีค่ามากที่สุดเท่ากับ ± 1 นั่นคือแอมพลิจูดสูงสุดของคลื่นนิ่งเท่ากับ 2A ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$kx = \frac{1\pi}{2} , \frac{3\pi}{2} , \frac{5\pi}{2} , \ldots$$

จากการที่ทราบว่า $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

ดังนั้นตำแหน่ง x ของปฏิบัพหาได้จาก

$$x = \frac{1\lambda}{4} , \frac{3\lambda}{4} , \frac{5\lambda}{4} , \ldots = \frac{n\lambda}{4} \qquad (2)$$

เมื่อ n = 1 , 3 , 5 , 7 ,...

จะสังเกตพบว่าจุดปฏิบัพของคลื่นนิ่งที่อยู่ถัดกันจะห่างกันเท่ากับ $\lambda / 2$

สำหรับตำแหน่ง x ที่ทำให้ค่าแอมพลิจูดของคลื่นนิ่ง 2A sin kx มีค่าเป็น 0 เรียกตำแหน่งนี้ว่าบัพ จะเกิดขึ้นเมื่อ sin kx = 0 นั่นคือเกิดขึ้นเมื่อ

$$kx = 0 , \pi , 2\pi , 3\pi , \ldots$$

จากการที่ทราบว่า $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

ดังนั้นตำแหน่ง x ของบัพหาได้จาก

$$x = 0, \frac{1\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \ldots = \frac{n\lambda}{2} \qquad (3)$$

เมื่อ n = 0 , 1 , 2 , 3 ,...

และพบว่าบัพของคลื่นนิ่งที่อยู่ถัดกันจะห่างกันเท่ากับ $\lambda / 2$

จากสมการ (1) ถ้าจัดรูปเสียใหม่จะได้เป็น

$$y = (2A \cos \omega t) \sin kx \qquad (4)$$

สมการนี้แสดงรูปร่างของคลื่น ณ เวลา t ใดๆ โดยแอมพลิจูดจะมากหรือน้อยขึ้นกับ $\cos \omega t$ นั่นคือพบว่าที่เวลาต่างกันคลื่นนิ่งจะมีแอมพลิจูดต่างกัน ดังนั้นขณะเกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกและคลื่นมีความถี่สูงจะมองเห็นเส้นเชือกในแต่ละวงปิดหรือแต่ละลูฟมีลักษณะสั่นพร่า

จากรูป 12 พบว่ารูปแบบการสั่นของเส้นเชือกขณะเกิดคลื่นนิ่งมีได้หลายรูปแบบ เรียกรูปแบบการสั่นเหล่านี้ว่า โมดปกติ(normal mode)ของการสั่น โมดปกติรูปแบบแรกมีลักษณะดังรูป 12(ข) คือมีลักษณะเป็น 1 วงปิด หรือ 1 ลูฟ ปลายเชือกทั้งสองที่ถูกตรึงเป็นตำแหน่งบัพของคลื่นนิ่ง ตรงกลางระหว่างบัพเป็นปฏิบัพ จากรูปพบว่าความยาวของเชือกจะเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น($\lambda_1 / 2$) นั่นคือ

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \qquad \text{หรือ} \qquad \lambda_1 = 2L$$

โมดปกติรูปแบบที่ 2 มีลักษณะดังรูป12(ค) คือมีลักษณะเป็น 2 วงปิด หรือ 2 ลูฟ และพบว่า

$$L = \frac{2\lambda_2}{2} = \lambda_2 \qquad \text{หรือ} \qquad \lambda_2 = L$$

โมดปกติรูปแบบที่ 3 มีลักษณะดังรูป12(ง) คือมีลักษณะเป็น 3 วงปิด หรือ 3 ลูฟ และพบว่า

$$L = \frac{3\lambda_3}{2} \qquad \text{หรือ} \qquad \lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

สรุปได้ว่าความยาวคลื่นของคลื่นนิ่งสำหรับโมดปกติที่ n วงปิดใดๆ หาได้จาก

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (5)$$

เมื่อ n คือจำนวนวงปิด หรือจำนวนลูฟ หรือเลขอันดับของโมดการสั่น

จากที่ทราบว่าอัตราเร็วของคลื่น(v) ความถี่ของคลื่น(f) และความยาวคลื่น(λ) สัมพันธ์กันตามสมการ

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

ดังนั้นความถี่สั่นพ้องของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่สัมพันธ์กับจำนวนวงปิดหรือจำนวนลูฟที่เกิดบนเส้นเชือกหาได้จาก

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L} \qquad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (6)$$

แต่อัตราเร็วของคลื่น(v) ความตึงในเส้นเชือก (T) และความหนาแน่นมวลเชิงเส้น (μ) ของเส้นเชือกสัมพันธ์กันตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad (7)$$

ดังนั้นถ้าแทนสมการ(7) ลงในสมการ (6) จะได้

$$f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} = (\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}})n \qquad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (8)$$

ถ้า n = 1 $\quad f_n = f_1 = (\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}) \qquad (9)$

และพบว่า $\quad f_n = nf_1 \qquad$ เมื่อ n = 1,2,3,… (10)

จากสมการ(9) พบว่าความถี่สั่นพ้องต่ำสุด (f_1) ของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก คือความถี่ที่เส้นเชือกสั่นเป็น 1 วงปิด นั่นคือ n = 1 ความถี่สั่นพ้องต่ำสุดตามสมการ (9) เรียกว่า ความถี่หลักมูล (fundamental frequency) หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ฮาร์มอนิกที่1(first harmonic) ดังนั้นในกรณีที่ n = 2 , n = 3 และต่อๆ ไปตามลำดับ จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกที่2 ฮาร์มอนิกที่3 และต่อๆ ไปตามลำดับ เรียกชุดโมดการสั่นของเส้นเชือกซึ่งขึ้นกับความถี่ที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกว่า อนุกรมฮาร์มอนิก(harmonic series) เรียกค่า n ว่าเลขฮาร์มอนิก(harmonic number)

จากสมการ(8)ถ้ากำหนดให้ความยาวเชือก(L)และความตึงในเส้นเชือก(T)คงที่ เมื่อเขียนกราฟระหว่างความถี่ f_n และจำนวนวงปิด n กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $f_1 = (\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}})$ ซึ่งจากค่าความชันจะสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นได้

ถ้ายกกำลังสองสมการ(8)แล้วจัดรูปเสียใหม่จะได้

$$T = (4\mu L^2 f_n^2)\frac{1}{n^2} \qquad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (11)$$

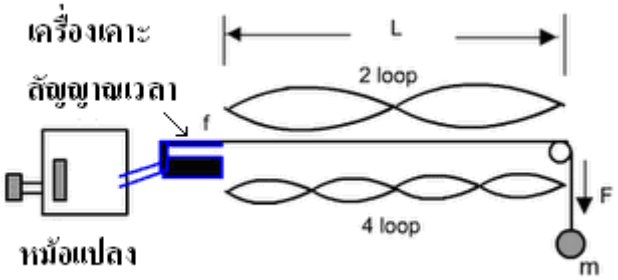
จากสมการ(11) ถ้ากำหนดให้ความยาวเชือก(L) และความถี่เชือก(f) คงที่ เมื่อเขียนกราฟระหว่างความตึงเชือก(T) และ $1/n^2$ กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $4\mu L^2 f_n^2$ ซึ่งจากค่าความชันจะสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นได้

2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนา

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ใช้อยู่ในวงการศึกษาของประเทศไทยพอจะแบ่งออกได้ดังนี้

1. สามารถสร้างขึ้นได้เองหรือซื้อเป็นชุดทดลองในราคาต่ำกว่าหนึ่งหมื่นบาทและใช้ในระดับโรงเรียนทั่วไป

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้ทำโดยนำเครื่องเคาะสัญญาณเวลามาทำหน้าที่เป็นเครื่องสั่น เครื่องสั่นนี้จะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์ต่ำไม่เกิน 12 โวลต์ ดังนั้นแกนของเครื่องสั่นจะสั่นด้วยความถี่ 50 Hz ได้เพียงค่าเดียวตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้อยู่ในประเทศไทย เมื่อเอาปลายหนึ่งของเชือกผูกเข้ากับแกนการสั่น จากนั้นนำเอาอีกปลายหนึ่งไปคล้องผ่านรอกแล้วนำตุ้มน้ำหนักมาแขวนเพื่อให้เกิดแรงตึงในเส้นเชือก ถ้าจัดแรงตึงและความยาวของเชือกให้เหมาะสมจะสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้ โดยการจัดเครื่องมือทดลองและคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่อาจเกิดขึ้นได้แสดงดังรูป 13



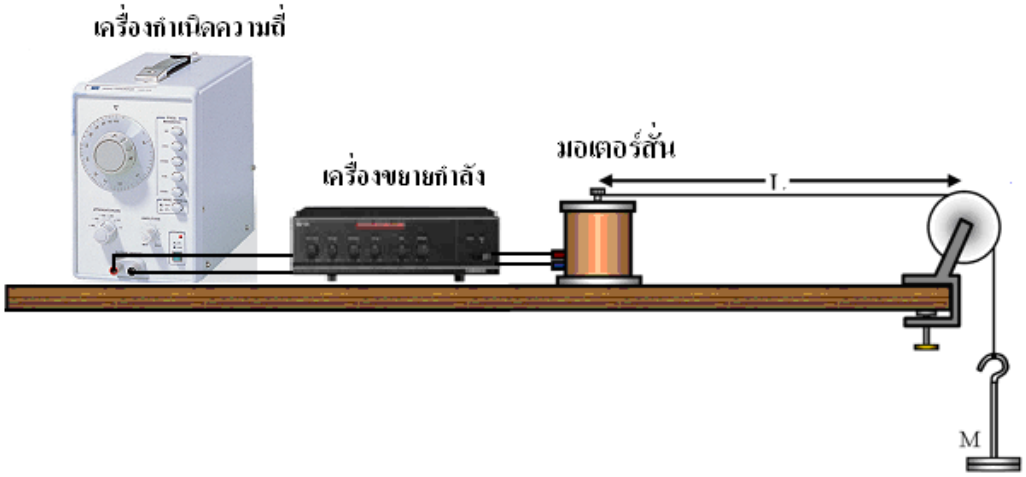
รูป 13 ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่นิยมใช้ในระดับโรงเรียนทั่วไป

เนื่องจากเครื่องสั่นที่ทำจากเครื่องเคาะสัญญาณเวลาสามารถสั่นด้วยความถี่ 50 Hz ได้เพียงค่าเดียวเท่านั้นไม่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่อย่างต่อเนื่องจากความถี่น้อยๆ ไปสู่ค่าความถี่สูงๆ ได้ การทำให้เกิดวงปิดของคลื่นนิ่งที่มีลักษณะเป็น 1 วงปิด 2 วงปิด 3 วงปิด และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จะทำได้โดยเปลี่ยนค่าน้ำหนักที่ถ่วงเพื่อให้เกิดความตึงในเส้นเชือกที่เปลี่ยนไป ดังนั้นชุดทดลองนี้จึงไม่ตรงกับการสอนเรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกทั่วไปที่กำหนดว่า เมื่อกำหนดความยาวและความตึงในเส้นเชือกให้คงที่ค่าหนึ่งแล้วให้ค่อยๆ ปรับความถี่ของเครื่องสั่นจนเกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกมีลักษณะเป็น 1 วงปิด 2 วงปิด 3 วงปิด และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จะเห็นว่าชุดทดลองนี้มีข้อดีคือสามารถทำได้เอง มีราคาถูก แต่ทำไม่ได้ตามที่ทฤษฎีกำหนดว่าต้องปรับเปลี่ยนความถี่ นอกจากนั้นแล้วยังทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจผิดคิดว่าวงปิดของคลื่นนิ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าน้ำหนักที่ถ่วงอยู่ในอนุกรมฮาร์มอนิกเดียวกัน ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ผิด เพราะความถี่ที่อยู่ในอนุกรมฮาร์มอนิกเดียวกันจะต้องเกิดจากการกำหนดความยาวและความตึงในเส้นเชือกให้คงที่ค่าหนึ่งแล้วให้ค่อยๆ ปรับความถี่ของเครื่องสั่นจนเกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกมีลักษณะเป็น 1 วงปิด 2 วงปิด 3 วงปิดและเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ดังนั้นการใช้ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกรูปแบบนี้ผู้สอนต้องรู้และเข้าใจจริง และต้องย้ำให้ผู้เรียน

รู้และเข้าใจถึงจุดสำคัญที่ถูกต้อง แต่จากประสบการณ์ของผู้วิจัยพบว่า เด็กที่เรียนเรื่องนี้เข้าใจผิดเกี่ยวกับอนุกรมฮาร์มอนิกแทบจะทั้ง 100 % และจากการทดลองถามครูผู้สอนที่ใช้ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกรูปแบบนี้ก็เข้าใจผิดเกี่ยวกับอนุกรมฮาร์มอนิกแทบจะทั้ง 100 % เช่นเดียวกับนักเรียน

2. ซื้อจากบริษัทที่ผลิตจำหน่ายในราคาปานกลางระดับ 1 หมื่นบาทขึ้นไป และนิยมใช้ในระดับสถาบันอุดมศึกษาทั่วไป

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้มักใช้มอเตอร์ชนิดพิเศษ ซึ่งแทนที่แกนของมอเตอร์จะหมุนแบบมอเตอร์ทั่วไป แต่แกนของมอเตอร์กลับสั่นขึ้นลงในแนวดิ่ง ทำให้เมื่อนำเชือกมาผูกเข้ากับแกนของมอเตอร์นี้จะทำให้เกิดการสั่นขึ้นลงของเส้นเชือกได้ มอเตอร์ชนิดพิเศษนี้จะทำการสั่นด้วยความถี่ที่ต้อการได้ต้องทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดความถี่เสียง(audio generator) หรือเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน(function generator)และยังต้องทำงานร่วมกับเครื่องขยายกำลัง(power amplifier) โดยการจัดเครื่องมือทดลองและคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่อาจเกิดขึ้นได้แสดงดังรูป 14



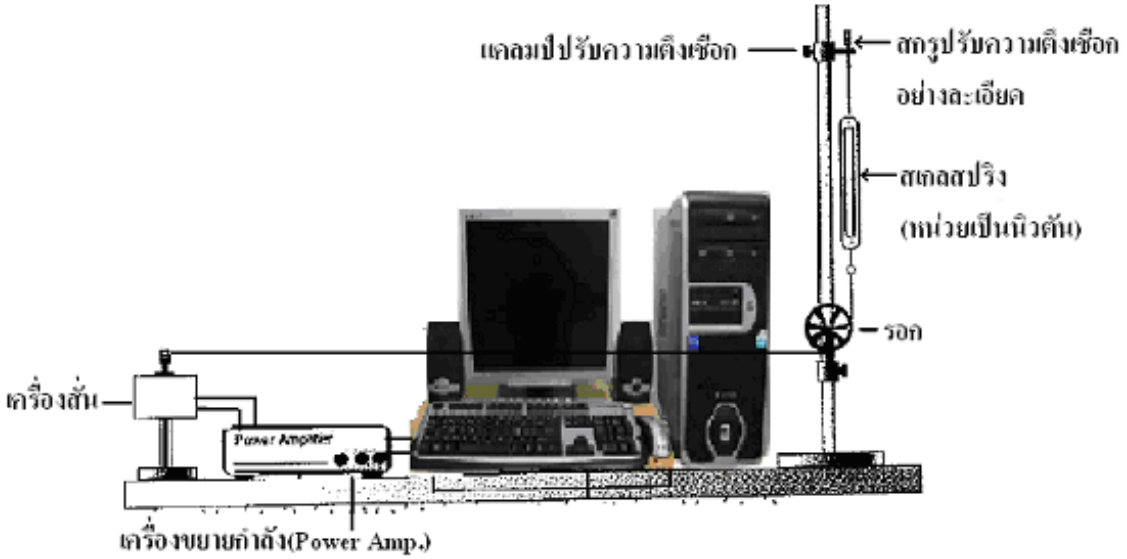
รูป 14 ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกรูปแบบที่ 2

แต่เครื่องกำเนิดความถี่ที่ใช้นี้เป็นแบบอนาลอกจึงให้ค่าความถี่ที่ค่อนข้างหยาบ ต้องมีการประมาณค่าเอาเองเช่นช่วงตรงกลางระหว่างขีด 40 – 50 Hz จริงๆแล้วเป็น 41 Hz 42 Hz 43 Hz 44 Hz 45 Hz 46 Hz 47 Hz 48 Hz หรือ 49 Hz กันแน่เป็นต้น จะเห็นว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มากเพราะไม่ทราบแน่ชัดว่า ความถี่ที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งเป็นเท่าไรกันแน่ต้องประมาณเอาเองและราคาก็ค่อนข้างแพง และถ้ามีอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งชิ้นใดเสียก็แทบจะเรียกได้ว่าต้องซื้อใหม่ทั้งชุดเพราะผู้สอนไม่ได้สร้างเอง ไม่รู้วงจร แก้ไขเองไม่ได้

3. ซื้อจากบริษัทที่ผลิตจำหน่ายในราคาสูงราคาหลายหมื่นบาทมีใช้ใสถาบันอุดมศึกษาที่มีงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ราคาแพงได้

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงเครื่องกำเนิด

ความถี่ทำมาในรูปของซอฟแวร์ที่ต้องทำการติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดความถี่ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่อง และมีความละเอียดระดับปรับเพิ่มหรือลดความถี่ได้ครั้งละ 1 Hz ทำให้ไม่ต้องคาดเดาค่าความถี่ที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่ง ซอฟแวร์นี้จะขายคู่มากับเครื่องขยายกำลัง เพื่อให้สามารถเพิ่มความแรงการสั่นของเส้นเชือกได้ตามต้องการ) เครื่องสั่นเป็นตัวสั่นชนิดพิเศษที่เรียกว่า Mechanical wave driver สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะมีลักษณะเป็นกล่องทรงกระบอกปิดมองไม่เห็นภายใน โดยการจัดเครื่องมือทดลองแสดงดังรูป 15

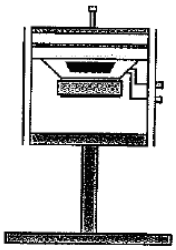


รูป 15 ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกรูปแบบที่ 3

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้เป็นชุดทดลองที่สมบูรณ์แบบ สามารถทำการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้ครบถ้วนถูกต้องแต่ว่ามีราคาแพงหลายหมื่นบาท ในประเทศไทยคาดว่ามีมหาวิทยาลัยเพียงไม่กี่แห่งที่ซื้อมาใช้

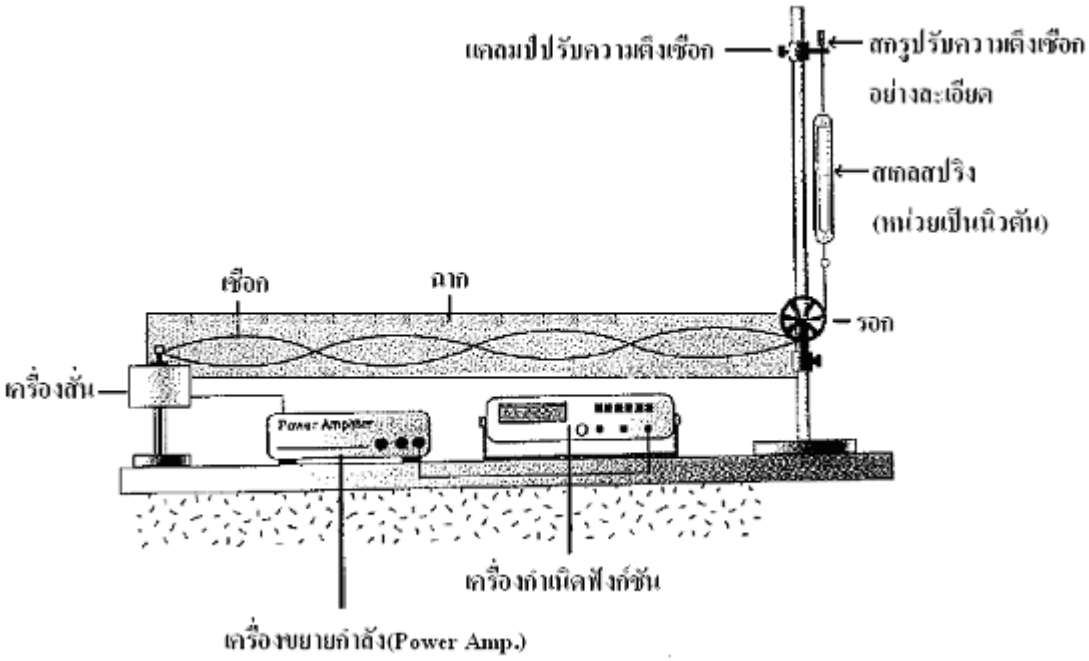
4. สร้างขึ้นเองโดยอาจารย์มหาวิทยาลัย

ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้ทำโดยนำลำโพงมาทำหน้าที่เป็นเครื่องสั่น โดยตัดกระดาษที่ปิดกลางไดอะแฟรมของลำโพงออกให้เหลือเฉพาะรูกลวงที่แกนกลาง แกนสั่นทำด้วยไม้เบาหนา 1 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับรูกลมของไดอะแฟรมที่เจาะไว้ เสียบแกนอะลูมิเนียมสันผ่านศูนย์กลาง 3 มม.เข้ากับแกนไม้เบาให้แน่นและตั้งตรง สอดแกนไม้เบาเข้ากับรูกลางไดอะแฟรม ใช้การepoxy แตะหยอดรอบแกนไม้ให้ติดแน่นกับไดอะแฟรมของลำโพง สวมลำโพงเข้ากับท่อพีวีซีที่ตัดเอาไว้แล้วติดกาวให้แน่น ต่อสายลำโพงเข้ากับ banana plug ข้างท่อพีวีซี ปิดด้านบนด้วยฝากลมที่เจาะรูตรงกลาง เพื่อให้แกนอะลูมิเนียมโผล่พ้นขึ้นมา จากนั้นนำเครื่องสั่นไปติดตั้งบนฐานตั้งทำให้ได้เครื่องสั่นที่มีลักษณะดังรูป 16



รูป 16 เครื่องสั่นที่ทำจากลำโพงติดตั้งบนฐานตั้ง

เสาตั้งทำด้วยอะลูมิเนียมหรือเหล็กสูง 1 เมตร เสาตั้งอยู่บนฐานแผ่นเหล็กมีเครื่องวัดความตึงทำด้วยเครื่องชั่งสปริงมีเสกลละเอียดและมีช่วงการวัด 0-2 นิวตัน เครื่องสั่นจะสั่นด้วยความถี่ที่ต้องการได้ต้องทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (function generator) และยังต้องทำงานร่วมกับเครื่องขยายกำลัง (power amplifier) โดยการจัดเครื่องมือทดลองและคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่อาจเกิดขึ้นได้แสดงดังรูป 17



รูป 17 ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่อาจารย์มหาวิทยาลัยสร้างขึ้นเอง

ชุดการทดลองนี้มีข้อดีคือ สามารถสร้างได้เอง ค่าใช้จ่ายไม่แพงมาก ใช้วัดค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 % แต่มีข้อด้อยคือใช้เครื่องขยายสัญญาณเป็นแบบธรรมดาที่ใช้ได้กับความถี่ไม่เกิน 60 Hz ทำให้ในการทดลองที่ 2 คือกำหนดให้ความยาวและความตึงของเชือกคงที่แต่ความถี่ที่ใช้สั่นเชือกเปลี่ยนไป สามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้ไม่เกิน 3 วงปิด และในกรณีที่ใช้ความถี่ต่ำคลื่นนิ่งขาดความคมชัดเท่าที่ควร และในการทดลองที่ 1 คือกำหนดให้ความ

ยาวของเชือกและความถี่ที่ใช้สั่นเชือกคงที่แต่ความตึงเปลี่ยนไป สามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้เฉพาะ 2 – 6 วงปิดเท่านั้น คลื่นนิ่ง 1 วงปิดไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้เพราะการทำให้เกิดคลื่นนิ่ง 1 วงปิดจะต้องใช้แรงตึงในเส้นเชือกมากกว่า 2 นิวตัน ซึ่งแรงตึงนี้จะทำให้แกนสั่นของเครื่องสั่นเอียงคือเครื่องสั่นพังนั่นเอง

3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์

ก. ความหมาย

มีผู้ให้ความหมายของอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ไว้หลายท่าน เช่น

ธงชัย ชิวปรีชาและคนอื่นๆ(2526 : 209) ให้ความหมายของอุปกรณ์ทดแทนว่าอุปกรณ์ทดแทนหมายถึง อุปกรณ์ที่ครูและนักเรียนร่วมกันสร้างขึ้นใช้เองจากวัสดุเหลือใช้ หรือวัสดุที่มีในท้องถิ่น เพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่ต้องซื้อจากร้านขายอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

สกุลรัตน์ พ่วงเดช (2529 : 33) ให้ความหมายของอุปกรณ์ทดแทนว่า อุปกรณ์ทดแทนหมายถึงอุปกรณ์ที่ครู นักเรียน หรือสมาชิกในชุมชุนได้สร้างขึ้น หรือร่วมมือกันสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุเหลือใช้ วัสดุที่ได้เปล่า วัสดุที่มีราคาถูกในท้องถิ่น เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนเป็นการทดแทนอุปกรณ์ที่ต้องซื้อจากร้านขายอุปกรณ์

สมปัญญา ศรีภคนานนท์ (2535 : 17) กล่าวว่าสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์หมายถึงชิ้นงานที่มนุษย์ทำขึ้นจากวัสดุอุปกรณ์โดยใช้ความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานในการคิดออกแบบ ดัดแปลง ปรับปรุง ซ่อมแซมหรือสร้างขึ้นใหม่

ข. ความมุ่งหมายในการสร้างอุปกรณ์

ธงชัย ชิวปรีชา และคนอื่นๆ (2526 : 209-210) ได้กล่าวถึงความมุ่งหมายในการสร้างอุปกรณ์ทดแทนสรุปได้ 5 ประการคือ

1. เพื่อให้มีอุปกรณ์ที่เพียงพอกับจำนวนนักเรียน
2. เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย
3. เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการสอนของครู
4. เพื่อปลูกฝังค่านิยมให้นักเรียน คิดประดิษฐ์สิ่งของด้วยตนเอง
5. เพื่อฝึกให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์

ค. ลักษณะของอุปกรณ์และสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดี

โช สาลีฉัน (2541 : 29-30) กล่าวว่า อุปกรณ์และสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดีควรมีลักษณะพอสรุปได้ดังนี้

1. รูปร่างลักษณะต้องจูงใจ เพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจ
2. ต้องทำงานได้ตามที่ต้องการ
3. สะดวกในการใช้ และปฏิบัติ ขณะใช้มีความคล่องตัว ไม่เกะกะ มีความปลอดภัย
4. มีความคงทนถาวร มีอายุการใช้งานได้นาน

5. วัสดุที่ใช้ควรหาได้ง่าย มีอยู่ในท้องถิ่นหรือเป็นวัสดุเหลือใช้

6. วัสดุที่ใช้ควรมีราคาถูกเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถสร้างได้จำนวนมาก

7. ควรใช้งานได้หลายอย่าง หรือใช้ทดลองได้หลายการทดลอง

8. ควรมีรูปร่างกะทัดรัดเพื่อสะดวกในการเก็บรักษา

9. ต้องมีเสถียรภาพดีจะได้ไม่ล้มง่ายควรออกแบบให้มีจุดศูนย์ถ่วงอยู่ภายในฐานตั้งและต่ำใกล้ฐานจึงจะมีเสถียรสภาพดี

10. เวลาสาธิตหรือปฏิบัติการทดลองต้องให้ผู้เรียนมองเห็นและสังเกตได้ชัดเจน ดังนั้นอุปกรณ์ที่สร้างต้องไม่เล็กเกินไป ชิ้นส่วนประกอบต่างๆต้องไม่บังกัน

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทดแทนและสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยจึงได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก ให้มองดูแล้วรู้สึกว่าใช้ได้ง่ายน่าใช้ ไม่ยุ่งยากในการใช้งาน ผู้เรียนมีความรู้สึกว่าเขาสามารถใช้อุปกรณ์นี้ได้ไม่ยาก และไม่ทำให้ชำรุด จึงเกิดความกล้าและไม่กลัวเครื่องมือ ทำให้อยากใช้ นอกจากนั้นแล้วชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นยังใช้วัสดุที่หาได้ง่าย มีราคาถูก หรือเป็นวัสดุที่มีอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่ แต่กลับใช้ทำการทดลองเกี่ยวกับการทำให้เกิดคลื่นต่อเนื่องบนเส้นเชือกที่ขึงตึงได้ สามารถแสดงคลื่นตกกระทบกับส่วนปลายที่ถูกตรึงแล้วมีการสะท้อนได้ เมื่อคลื่นที่สะท้อนออกมาพบกับคลื่นตกกระทบที่ถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเกิดการเสริมกันและหักล้างกันได้ ผลจากการเสริมและหักล้างกันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนเกิดเป็นคลื่นนิ่งได้ และสามารถแสดงลักษณะของคลื่นนิ่งแบบต่างๆได้ สามารถแสดงการสั่นพ้องของคลื่นบนเส้นเชือกที่ขึงตึงได้ โดยชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นดีกว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทย เพราะเป็นชุดทดลองที่สามารถใช้ในการเรียนการสอนและการทำปฏิบัติการเรื่อง คลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างถูกต้องตรงตามทฤษฎีและเห็นผลการทดลองชัดเจน สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่อง สามารถปรับความถี่ได้อย่างละเอียดโดยสามารถปรับความถี่ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ครั้งละ 1 เฮิรตซ์ มีปุ่มปรับแอมพลิจูดของคลื่นเพื่อให้มองเห็นคลื่นบนเส้นเชือกได้อย่างชัดเจน สามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึงอย่างน้อย 10 วงปิด และสามารถใช้ตรวจสอบค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นเชือกได้อย่างถูกต้อง โดยคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากการนำเชือกที่ใช้ทดลองมาทำการชั่งอย่างละเอียดและวัดความยาวโดยตรงแล้วนำมาหาอัตราส่วน โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 %

4. เอกสารเกี่ยวกับปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ก. ความหมายของปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

วิมล สำราญวานิช (2532 : 79-80) ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการ หรือการทดลองว่าหมายถึงการที่ผู้เรียนได้ลงมือกระทำได้ปฏิบัติและเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเองภายใต้การแนะนำของครู ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจ มีความรับผิดชอบ มีโอกาสปฏิบัติ

งานร่วมกัน ขณะปฏิบัติการทดลองได้มีโอกาสใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2541 : 68) ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ว่า คือการสอนให้ผู้เรียนมีโอกาสทำกิจกรรมการทดลองโดยได้รับการแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครู เป็นการฝึกการใช้ทฤษฎีโดยผ่านการทดลอง

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542 : 167-168) ให้ความหมายการสอนแบบทดลองว่าเป็นการสอนเพื่อจัดประสบการณ์ในการทดลองและการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียน ให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการหรือทฤษฎีได้ถูกต้อง เป็นการทดลองเพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว หรือเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ เป็นการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา หรือค้นหาคำตอบได้ด้วยตัวเองโดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางในการเรียนการสอน

จากความหมายดังกล่าวสรุปได้ว่า การสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หมายถึง การสอนที่ให้โอกาสผู้เรียนได้ลงมือกระทำการทดลอง ได้ปฏิบัติด้วยตนเอง ได้มีโอกาสใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์โดยได้รับการแนะช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครูทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ข้อเท็จจริง กฎ หลักการและทฤษฎีได้ถูกต้อง และสามารถทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว หรือเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่

ข. ความสำคัญของการสอนปฏิบัติการ

บุญชม ศรีสะอาด (2541 : 278 - 279) และไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2536 : 95 - 96) ได้สรุปความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการเป็น 2 ส่วนคือ

1. ความสำคัญในแง่ของการศึกษา การสอนแบบฝึกปฏิบัติเป็นการสอนที่ผสมผสานกันทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ เป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากของจริงหรือสื่อ และลงมือทำด้วยตนเองซึ่งเป็นรากฐานของการแก้ปัญหา ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้ จึงเป็นการศึกษาที่สมบูรณ์

2. ความสำคัญในแง่ของผู้สอน การสอนแบบฝึกปฏิบัติช่วยให้ผู้สอนมีโอกาสเห็นผลการสอนของตัวเองได้ทันทีว่า ผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้จริงหรือไม่ ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือเป็นการสอนที่ช่วยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสปรับปรุงแก้ไขได้ทันที ช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ในด้านการนำไปใช้

ค. ประโยชน์ของการสอนแบบปฏิบัติการ

จากการศึกษาเอกสารทางวิชาการของ ภพ เลาหไพบูลย์ (2542 : 170 - 171) บุญชม ศรีสะอาด (2541 : 69) และวิมล สำราญวานิช (2532 : 85 - 86) สามารถสรุปประโยชน์ของการสอนแบบปฏิบัติการได้ดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง มีโอกาสฝึกทักษะการทดลอง ใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา

2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอน และได้เรียนรู้ผ่านประสาทสัมผัสหลายด้านโดยตรง

3. เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองเนื่องจากผู้เรียนเป็นผู้ออกแบบการทดลอง ทำการสืบเสาะหาความรู้จากการทดลอง วิเคราะห์หาเหตุผล ตั้งสมมติฐานและทดสอบสมมติฐาน สรุปผลและวัดผลการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง

4. ผู้เรียนมีความสามารถในการทำงานและมีทักษะมากขึ้น

5. ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและจดจำได้นาน

6. การสอนแบบปฏิบัติการอาจดำเนินโดยผู้เรียนเป็นรายบุคคล หรือเป็นกลุ่มเล็กๆ ได้ช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการทำงานร่วมกัน

7. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนแต่ละคนได้แสดงความคิดเห็นในการแก้ปัญหา รวมทั้งเป็นการฝึกการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ

8. ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

สรุปได้ว่าการสอนแบบปฏิบัติการหรือการสอนแบบทดลอง เป็นการสอนที่ผสมผสานกันทั้งทฤษฎีและปฏิบัติ ผู้เรียนมีโอกาสฝึกทักษะ รู้จักการแก้ปัญหาและการทำงานร่วมกัน ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง เป็นการได้รับประสบ การณ์ตรง ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างคู่มือการทำปฏิบัติการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 เป็นการทดลองที่กำหนดให้ความยาวเชือกและความตึงเชือกมีค่าคงที่ แต่ความถี่ในการสั่นของเชือกเปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดการสั่นพ้องและคลื่นนิ่งในเส้นเชือก โดยเส้นเชือกเกิดการสั่นและมีลักษณะเป็นวงปิดที่เปลี่ยนไปจาก 1 วง 2 วง 3 วง และต่อๆไป จากผลการทดลองที่ได้จะนำไปคำนวณหาความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือก ตอนที่ 2 เป็นการทดลองที่กำหนดให้ความยาวเชือกและความถี่ในการสั่นของเชือกมีค่าคงที่ แต่ความตึงเชือกเปลี่ยนไปโดยการเปลี่ยนมวลที่ใช้แขวนอยู่กับเชือกความตึงที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสั่นพ้องและคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก โดยเส้นเชือกจะเกิดการสั่นและมีลักษณะเป็นวงปิดที่เปลี่ยนไปจาก 1 วง 2 วง 3 วง และต่อๆ ไป จากผลการทดลองที่ได้จะนำไปคำนวณหาความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือก ซึ่งการทดลองทั้ง 2 ตอนเป็นการทดลองที่ทำให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้จากคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาคือคลื่นบนเส้นเชือก ไปสู่คลื่นที่ตามองไม่เห็นคือคลื่นเสียง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้สามารถเรียนรู้และเข้าใจเกี่ยวกับคลื่นทุกชนิดได้ง่ายและดียิ่งขึ้น

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก.งานวิจัยในประเทศ

สนอง ทองปาน (2537 : 76 - 81) ได้พัฒนาเครื่องอัดขยายภาพขาวดำที่มีราคาถูกเพื่อใช้ทดแทนเครื่องอัดขยายภาพมาตรฐาน และได้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความสามารถ

ในการอัดขยายภาพขาวดำของนักเรียน โดยใช้เครื่องอัดขยายภาพที่พัฒนาขึ้นกับที่ได้รับการสอนโดยใช้เครื่องอัดขยายภาพมาตรฐาน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรีจำนวน 48 คน ผลการศึกษาพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับความสามารถในการอัดขยายภาพขาวดำของนักเรียน โดยใช้เครื่องอัดขยายภาพที่พัฒนาขึ้นกับที่ได้รับการสอนโดยใช้เครื่องอัดขยายภาพมาตรฐาน ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ประโยชน์ทางการศึกษาทดแทนอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดซึ่งมีราคาแพงได้

ศิริเพ็ญ จึงตระกูล (2542 : 174) ได้สร้างชุดการทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ผลการศึกษาพบว่าชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพใช้งานได้ตามทฤษฎี ครูผู้สอนและนักเรียนมีเจตคติต่อชุดทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ที่กำหนดไว้

ธนพรรษ เหมเชื้อ (2542 : 74) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพออสซิลโลสโคปจากโทรทัศน์ขาวดำเพื่อใช้แสดงสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า ประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 5 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจำนวน 5 ท่านทำการประเมิน ผลการประเมินสรุปได้ว่าออสซิลโลสโคปจากโทรทัศน์ขาวดำที่พัฒนาขึ้นใช้งบประมาณในการจัดสร้างน้อย แต่มีคุณลักษณะด้านประสิทธิภาพและด้านส่งเสริมการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

มงคล จงสุพรรณพงศ์ (2543 : 104) ได้พัฒนาชุดทดลองหลักการทำงานของมอเตอร์และเยนเนอเรเตอร์เพื่อเป็นชุดทดลองประกอบการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพปีที่สอง โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร จำนวน 18 คน ผลการศึกษาพบว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามทฤษฎีทั้ง 7 การทดลอง ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้สูงกว่าร้อยละ 80 (ในด้านความรู้ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการเสาะแสวงหาความรู้) และมีเจตคติที่ดีต่อชุดทดลอง

ประนอม หมอกกระโทก (2545 : 73) ได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ในแนวตรงในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนประสาทวิทยาคม อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 15 คน ผลการศึกษาพบว่า ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทำงานได้ตาทฤษฎี นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

นพพร เสนีย์คุปต์ (2547 : 55) ได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องโมเมนตัมและการชนใน 1 มิติสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนโยธินบูรณะเพชรบุรี อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 15 คน ผลการศึกษาพบว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้ตามทฤษฎี นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและมีเจตคติต่อชุดทดลองเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าเจตคติก่อนเรียน

ทนง อัครธีรานนท์ (2549 : 60) ได้พัฒนาสโตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนฟิสิกส์เรื่องคลื่น โดยดัดแปลงเครื่องคิดเลขให้ทำหน้าที่เป็นวงจรนับรอบแสดงจำนวนรอบของการหมุนของแผ่นจานสโตรโบสโคป โดยวงจรนับรอบนี้ทำงานร่วมกับวงจรเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นมาอย่างง่ายๆ จากการนำเอารีดสวิตช์และแท่งแม่เหล็กถาวรให้ทำงานร่วมกัน และใช้มอเตอร์เกียร์มาทำการหมุนแผ่นจานสโตรโบสโคป และได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์หรือวิทยาศาสตร์ 5 ท่านที่ประกอบไปด้วย ผู้เชี่ยวชาญของ สสวท. 1 ท่าน อาจารย์ในมหาวิทยาลัยจำนวน 2 ท่าน ครูแห่งชาติสาขาฟิสิกส์ 1 ท่าน ครูฟิสิกส์ดีเด่นจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย 1 ท่านทำการประเมิน ผลการประเมินสรุปได้ว่าสโตรโบสโคปที่พัฒนาขึ้นมีราคาถูก มีประสิทธิภาพใช้งานได้ตามทฤษฎีร้อยละ 100 มีคุณภาพโดยรวมในระดับ “ ดีมาก ” สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สามารถใช้สำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนฟิสิกส์เรื่องคลื่นได้ดีมากและพบว่าดีกว่าสโตรโบสโคปที่จำหน่ายอยู่ในท้องตลาด

ทนง อัครธีรานนท์ (2552 : 44) ได้พัฒนาออสซิลโลสโคปจากคอมพิวเตอร์ตกรุ่นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์และสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า โดยทำการติดตั้งซอฟแวร์ชนิดฟรีแวร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ตกรุ่น เพื่อให้หน้าจอคอมพิวเตอร์สามารถแสดงเป็นหน้าจอของออสซิลโลสโคป จากนั้นสร้างกล่องฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นกล่องอิเล็กทรอนิกส์ง่ายๆ ใช้เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการวัดสัญญาณคลื่นกับคอมพิวเตอร์ที่แสดงเป็น หน้าจอของออสซิลโลสโคป นอกจากนั้นแล้วกล่องฮาร์ดแวร์ยังช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนและช่วยป้องกันอันตรายไม่ให้เกิดกับการ์ดเสียงของคอมพิวเตอร์ และได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีทางการศึกษา 5 ท่านประเมินออสซิลโลสโคปที่พัฒนาขึ้น ผลการประเมินสรุปได้ว่าออสซิลโลสโคปจากคอมพิวเตอร์ตกรุ่นที่พัฒนาขึ้นมีวงจรและวิธีสร้างง่าย อุปกรณ์ราคาถูก มีคุณภาพใน 4 ด้านคือ ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านการจัดสร้างการติดตั้งโปรแกรมการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนอยู่ในระดับ “ ดีมาก ” สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์และสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข. งานวิจัยต่างประเทศ

ดัคลาส (Douglas. 1998 : 288-A) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่เป็นของจริงสำหรับการเปลี่ยนแปลงแนวความคิดในการเรียนรู้ โดยเปรียบเทียบการถ่ายทอดความรู้จากการอ่านเนื้อหาแบบวรรณคดี และการออกแบบอุปกรณ์ตามรายละเอียดเฉพาะเรื่องที่เคลื่อนไหวได้นำไปสู่ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักสูตรทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา จากการศึกษาพบว่า การใช้อุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมาสาธิตและเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ได้จริงในภาคปฏิบัติเป็นเป็นการขยายพื้นฐานความรู้และประสบการณ์ ทำให้เกิดความเข้าใจที่ถาวรและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีมาก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ สรุปได้ว่าอุปกรณ์การทดลองที่พัฒนาขึ้นหรือสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพทางการศึกษาสูงทำให้มีอุปกรณ์หลากหลายสามารถส่งเสริมการเรียนการสอนให้มีคุณภาพ ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนส่วนใหญ่จะสูงกว่าการสอนแบบปกติ ช่วยให้ไม่จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง และอุปกรณ์ที่สร้างหรือพัฒนาขึ้นใช้วัสดุในประเทศจึงมีราคาถูกกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นปรากฏการณ์จริงเกี่ยวกับ คลื่นตกกระทบกับส่วนปลายที่ถูกตรึงแล้วมีการสะท้อนได้ เมื่อคลื่นที่สะท้อนออกมาพบกับคลื่นตกกระทบที่ถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเกิดการเสริมกันและหักล้างกันได้ ผลจากการเสริมและหักล้างกันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนเกิดเป็นคลื่นนิ่งได้ และสามารถแสดงลักษณะของคลื่นนิ่งแบบต่างๆ ได้ สามารถแสดงการสั่นพ้องของคลื่นบนเส้นเชือกที่ขึงตึงให้เห็นได้ด้วยตาของตัวเองแทนที่จะเอาแต่ดูภาพในหนังสือ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ซึ่งชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นจะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเข้าใจในบทเรียนมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งยังได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนทราบกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองในกรณีอื่น ๆ ต่อไปได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษาค้นคว้า

ในการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกประสิทธิภาพสูงสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็นสองขั้นตอนดังนี้

ตอนที่1 การสร้างและตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่2 การประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การสร้างและตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น มีรายละเอียดเป็น 6 ขั้นตอน คือ

1.ศึกษาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ศึกษาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีใช้กันอยู่ตามสถานศึกษาทั้งที่มีการผลิตออกจำหน่าย และที่มีการสร้างขึ้นใช้เองในมหาวิทยาลัยต่างๆ พบว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีใช้ในประเทศไทยสามารถแบ่งได้ดังนี้

1.1 ชุดทดลองที่สามารถสร้างขึ้นได้เอง หรือซื้อเป็นชุดทดลองในราคาไม่สูงนักมีราคาต่ำกว่าหนึ่งหมื่นบาท เป็นชุดทดลองที่นิยมใช้ในระดับโรงเรียนเกือบทั้งหมด สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาหลายแห่งก็ใช้ชุดทดลองชนิดนี้ ชุดทดลองแบบนี้ใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาเป็นตัวสั่นเส้นเชือกเพื่อให้เกิดคลื่นตามขวางบนเส้นเชือก เครื่องสั่นนี้จะต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโวลต์ต่ำไม่เกิน 12 โวลต์ ดังนั้นแกนของเครื่องสั่นจะสั่นด้วยความถี่ 50 Hz เพียงค่าเดียวตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในประเทศไทย เมื่อเอาปลายหนึ่งของเชือกผูกเข้ากับแกนการสั่นส่วนอีกปลายหนึ่งนำเอาไปคล้องผ่านรอก แล้วนำตุ้มน้ำหนักมาแขวนเพื่อให้เกิดแรงตึงในเส้นเชือก ถ้าจัดแรงตึงและความยาวเชือกให้เหมาะสมจะสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้ เนื่องจากเครื่องสั่นที่ทำจากเครื่องเคาะสัญญาณเวลาจะสั่นด้วยความถี่ 50 Hzเพียงค่าเดียวเท่านั้นไม่สามารถเปลี่ยนความถี่อย่างต่อเนื่องจากความถี่น้อยๆ ไปสู่ค่าความถี่สูงๆ ได้ การทำให้เกิดวงปิดของคลื่นนิ่งที่เป็น 1 วงปิด 2 วงปิด 3 วงปิด และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จะทำได้โดยเปลี่ยนค่าน้ำหนักที่ถ่วงเพื่อให้เกิดความตึงในเส้นเชือกที่เปลี่ยนไป ดังนั้นชุดทดลองนี้จึงไม่ตรงกับการสอนเรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่กำหนดว่า เมื่อกำหนดความยาวและความตึงในเส้นเชือกให้คงที่ค่าหนึ่งแล้วให้ค่อยๆ ปรับความถี่ของเครื่องสั่นจนเกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกมีลักษณะเป็น 1 วงปิด 2 วงปิด 3 วงปิด และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จะเห็นว่าชุดทดลองนี้มีข้อดีคือสามารถทำได้เอง มีราคาถูก แต่ทำไม่ได้ตามที่ทฤษฎีกำหนดว่าต้องเปลี่ยนความถี่ นอกจากนั้นยังทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจผิดว่า วงปิดของคลื่นนิ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าน้ำหนักที่ถ่วงอยู่ในอนุกรมฮาร์มอนิกเดียวกัน แต่ความจริงความถี่ที่อยู่ในอนุกรมฮาร์มอนิกเดียวกัน จะต้องเกิดจากการกำหนดความยาวและความตึงในเส้นเชือกให้คงที่ค่า

หนึ่ง แล้วค่อยๆ ปรับความถี่ของเครื่องสั่นจนเกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกมีลักษณะเป็น 1 วงปิด 2 วงปิด 3 วงปิดและเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ดังนั้นการใช้ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกรูปแบบนี้ มักทำให้ผู้เรียนเข้าใจผิดเกี่ยวกับอนุกรมฮาร์มอนิก

1.2 ซื้อจากบริษัทที่ผลิตจำหน่ายในราคาปานกลางระดับหนึ่งหมื่นบาทขึ้นไป นิยมใช้ในระดับสถาบันอุดมศึกษาทั่วไป โดยชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้มักใช้มอเตอร์ชนิดพิเศษ ซึ่งแทนที่แกนของมอเตอร์จะหมุนแบบมอเตอร์ทั่วไป แต่แกนของมอเตอร์กลับสั่นขึ้นลงในแนวดิ่ง ทำให้เมื่อนำเชือกมาผูกเข้ากับแกนของมอเตอร์นี้จะทำให้เกิดการสั่นขึ้นลงของเส้นเชือกได้ มอเตอร์ชนิดพิเศษนี้จะทำการสั่นด้วยความถี่ที่ต้องการได้ต้องทำงานร่วมกับ เครื่องกำเนิดความถี่เสียง(audio generator) หรือเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (function generator) และยังต้องทำงานร่วมกับเครื่องขยายกำลัง (power amplifier) แต่เครื่องกำเนิดความถี่ที่ใช้นี้เป็นแบบอนาลอกจึงให้ความถี่ที่ค่อนข้างหยาบมีการประมาณค่าเอาเองบ้างเช่น ช่วงตรงกลางระหว่างขีด 40 – 50 Hz จริงๆ แล้วเป็นความถี่เท่าใดแน่เป็นต้น จะเห็นว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างเพราะไม่ทราบแน่ชัดว่าความถี่ที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งเป็นเท่าไรกันแน่ต้องประมาณเอาเอง และราคาก็ค่อนข้างแพง และถ้ามีอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งชิ้นใดเสียก็แทบจะเรียกได้ว่าต้องซื้อใหม่ทั้งชุดเพราะผู้สอนไม่ได้สร้างเอง ไม่รู้วงจร แก้ไขเองไม่ได้

1.3 ซื้อจากบริษัทที่ผลิตจำหน่ายในราคาสูงราคาหลายหมื่นบาทมีใช้ในสถาบันอุดมศึกษาที่มีงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ราคาแพงได้ ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง เครื่องกำเนิดความถี่ทำมาในรูปของซอฟแวร์ที่ต้องทำการติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดความถี่ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่อง และมีความละเอียดระดับปรับเพิ่มหรือลดความถี่ได้ครั้งละ 1 Hz ทำให้ไม่ต้องคาดเดาค่าความถี่ที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่ง ซอฟแวร์นี้จะขายคู่มากับเครื่องขยายกำลังเพื่อให้สามารถเพิ่มความแรงการสั่นได้ตามต้องการ เครื่องสั่นเป็นตัวสั่นชนิดพิเศษที่เรียกว่า Mechanical wave driver สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะมีลักษณะเป็นกล่องทรงกระบอกปิดมองไม่เห็นภายใน ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้เป็นชุดทดลองที่สมบูรณ์แบบ สามารถทำการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้ครบถ้วนถูกต้องแต่ว่ามีราคาแพงหลายหมื่นบาท ในประเทศไทยคาดว่ามีมหาวิทยาลัยเพียงไม่กี่แห่งที่ซื้อมาใช้

1.4 สร้างขึ้นเองโดยอาจารย์มหาวิทยาลัย ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบนี้ทำโดยนำลำโพงมาทำหน้าที่เป็นเครื่องสั่น โดยตัดกระดาษที่ปิดกลางไดอะแฟรมของลำโพงออกให้เหลือเฉพาะรูกลวงที่แกนกลาง แล้วติดตั้งแกนสั่นที่ทำด้วยไม้เบา จากนั้นนำเครื่องสั่นไปติดตั้งบนฐานตั้ง เสาตั้งทำด้วยอะลูมิเนียมหรือเหล็กสูง 1 เมตร เสาตั้งอยู่บนฐานแผ่นเหล็กมีเครื่องวัดความตึงทำด้วยเครื่องชั่งสปริงมีเสกลละเอียดและมีช่วงการวัด 0-2 นิวตัน เครื่องสั่นจะสั่นด้วยความถี่ที่ต้องการได้ต้องทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (function generator) และยังต้องทำงานร่วมกับตัวขยายกำลัง (power amplifier) ชุดการทดลองนี้มีข้อดีคือ สามารถสร้างได้เอง ค่าใช้จ่ายไม่แพงมาก ใช้วัดค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 % แต่มีข้อด้อยคือใช้เครื่องขยาย

กำลังเป็นแบบธรรมดาที่ใช้ได้กับความถี่ไม่เกิน 60 Hz ทำให้ในการทดลองที่ 2 คือกำหนดให้ความยาวและความตึงของเชือกคงที่แต่ความถี่ที่ใช้สั่นเชือกเปลี่ยนไป สามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้ไม่เกิน 3 วงปิด และในกรณีที่ใช้ความถี่ต่ำคลื่นนิ่งขาดความคมชัดเท่าที่ควร และในการทดลองที่ 1 คือกำหนดให้ความยาวของเชือกและความถี่ที่ใช้สั่นเชือกคงที่แต่ความตึงเปลี่ยนไป สามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้เฉพาะ 2 – 6 วงปิดเท่านั้น คลื่นนิ่ง 1 วงปิดไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้เพราะการทำให้เกิดคลื่นนิ่ง 1 วงปิดจะต้องใช้แรงตึงในเส้นเชือกมากกว่า 2 นิวตัน ซึ่งแรงตึงนี้จะทำให้แกนสั่นของเครื่องสั่นเอียงคือเครื่องสั่นพังนั่นเอง

2. ออกแบบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกต้นแบบ ซึ่งชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกต้นแบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจะขั้นตอนการพัฒนาที่สำคัญอยู่ 4 ส่วน ดังนี้คือ

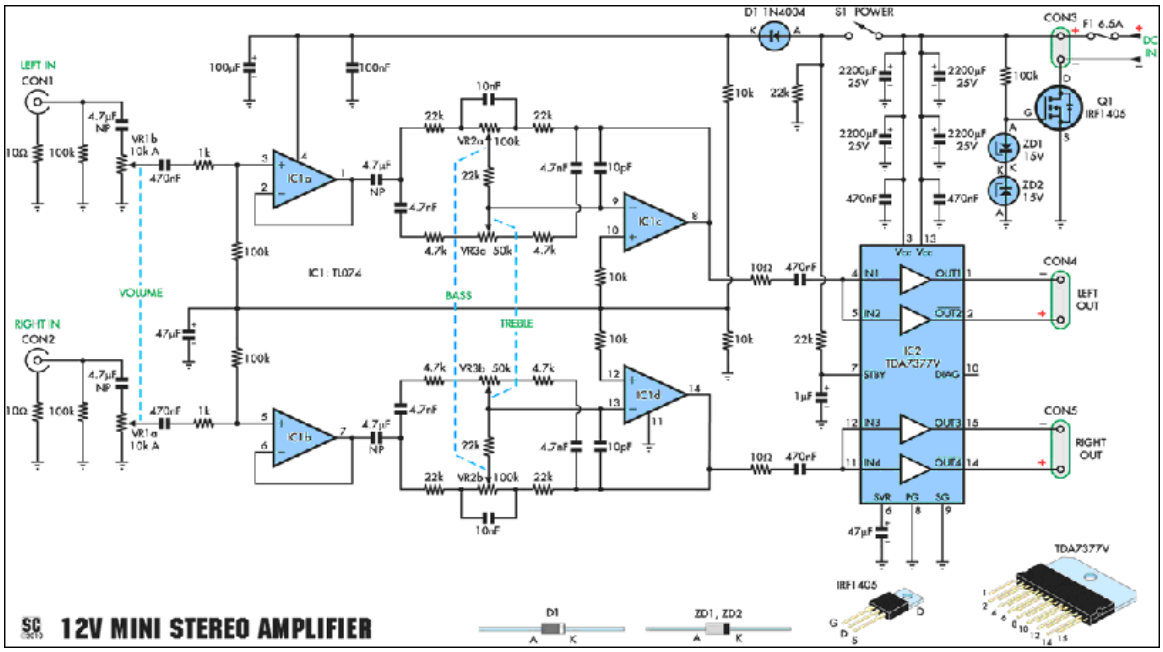
2.1 คัดเลือกวิธีและอุปกรณ์ที่จะสร้างเครื่องสั่น

หลังจากได้ทำการศึกษาในขั้นตอนที่ 1 แล้วผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกวิธีที่จะสร้างเครื่องสั่นโดยสร้างแกนการสั่นให้ติดตั้งบนลำโพง ลำโพงจะเป็นตัวรับสัญญาณความถี่ขนาดต่างๆ แล้วมาขับลำโพงและแกนการสั่นให้สั่นด้วยความถี่ตามที่ต้องการได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ดี ทำได้ไม่ยากและมีการลงทุนค่อนข้างต่ำ แต่ต้องแก้ปัญหาที่แกนการสั่นมักจะล้มหรือเอียงในกรณีที่ใช้น้ำหนักถ่วงมากโดยจะไม่ให้แกนการสั่นเป็นตัวผูกกับเชือกที่จะสั่นโดยตรง แต่จะให้เชือกไปผูกกับตะขอหรือตะปูที่อยู่ใกล้ๆ แกนการสั่นแทน ส่วนแกนการสั่นจะไม่ต้องรับน้ำหนักแต่จะทำหน้าที่สั่นเชือกแต่เพียงอย่างเดียว และเพื่อให้การทำเครื่องสั่นง่ายที่สุดจึงดัดแปลงนำฐานผูกลูกโป่ง และก้านลูกโป่งมาติดตั้งบนแผ่นพลาสติกวงกลมที่ติดกับลำโพง ซึ่งเครื่องสั่นที่สร้างเสร็จแล้วมีลักษณะดังรูป 18

รูป 18 ลำโพงที่ติดตั้งแกนการสั่นซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องสั่น

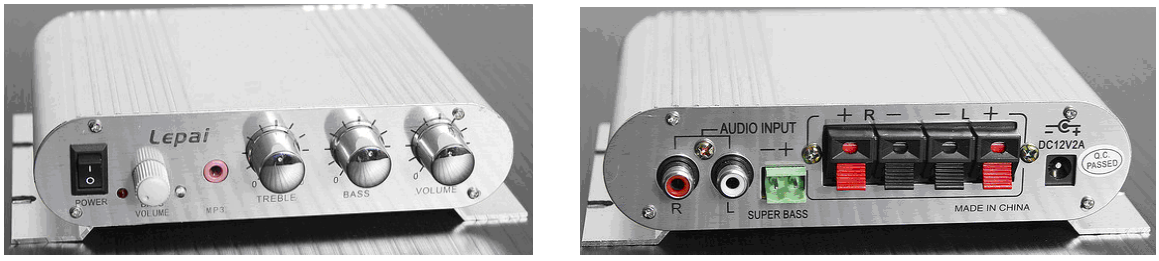
2.2 คัดเลือกวงจรและสร้างเครื่องขยายกำลัง

จากการทำการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสร้างวงจรขยายกำลังที่มีราคาถูก วงจรไม่ยุ่งยาก ครูอาจารย์ตามโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่างๆ สามารถสร้างใช้ได้เอง เป็นวงจรที่มีคุณภาพดี ในที่สุดผู้วิจัยได้เลือกวงจรขยายกำลังที่มีวงจรดังรูป 19



รูป 19 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องขยายกำลัง

ซึ่งเมื่อสร้างเป็นเครื่องขยายกำลังที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้ว มีลักษณะดังรูป 20



(ก) รูปด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูป 20 เครื่องขยายกำลังที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้ว

นอกจากนั้นแล้วยังได้สร้างสายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องขยายกำลัง โดยปลายสายด้านหนึ่งจะเป็นแจ็ค TR สเตอริโอซึ่งจะเสียบกับช่องเสียบ Line in ของคอมพิวเตอร์เพื่อรับสัญญาณความถี่ต่างๆที่เครื่องคอมพิวเตอร์จ่ายออกมา ส่วนปลายสายอีกด้านหนึ่งเป็นแจ็ค RCA ซึ่งจะเสียบเข้ากับเครื่องขยายกำลัง เพื่อขยายกำลังของสัญญาณความถี่ต่างๆที่เครื่องคอมพิวเตอร์จ่ายออกมาให้มีกำลังมากขึ้นก่อนที่จะส่งสัญญาณที่ได้รับการขยายกำลังแล้วไปขับลำโพงต่อไป ซึ่งสายเชื่อมต่อดังกล่าวมีลักษณะดังรูป 21

รูป 21 สายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องขยายกำลัง

2.3 คัดเลือกซอฟต์แวร์ที่จะทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องผลิตความถี่

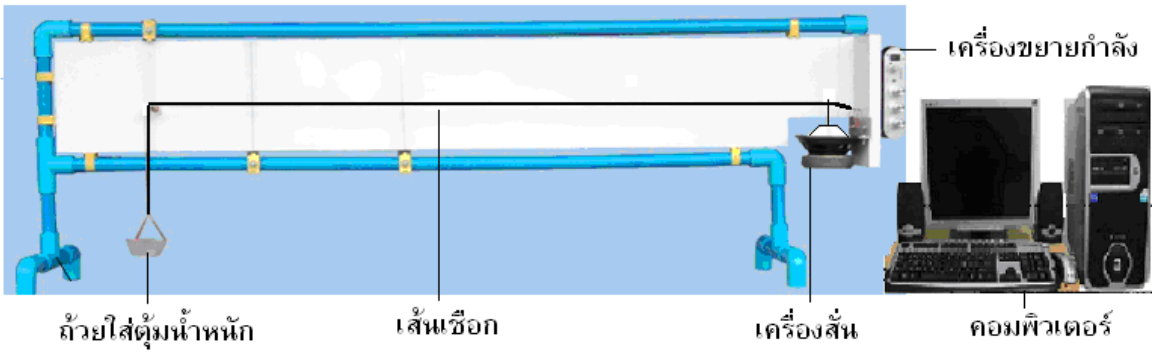
ผู้วิจัยได้ค้นจากอินเตอร์เน็ต แล้วคัดเลือกซอฟต์แวร์ที่เมื่อติดตั้งลงในคอมพิวเตอร์แล้วจะทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องผลิตความถี่(Audio generator) โดยต้องเป็นซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งและใช้งานง่าย การกำหนดค่าความถี่ทำได้สะดวก และที่สำคัญมากคือเป็นซอฟต์แวร์ชนิดที่ให้ใช้งานได้ฟรีไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ซึ่งก็คือซอฟต์แวร์ประเภทฟรีแวร์หรือแชร์แวร์บางชนิด ในที่สุดผู้วิจัยได้คัดเลือกซอฟต์แวร์มา 2 แบบ คือ

ฟรีแวร์ที่พัฒนาโดย Christian Zeitnitz ดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ www.zeitnitz.de/Christian/Scope/Scope_en.html

แชร์แวร์ที่ชื่อ Virtins Soundcard MultiInstrument ดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ www.Virtins.com

2.4 ออกแบบฐานติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

ผู้วิจัยได้ออกแบบฐานติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ให้สร้างได้ง่ายและมีราคาถูกโดยใช้แผ่นไม้และท่อประปาพีวีซีเป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งเมื่อประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว จะเป็นชุดทดลองที่มีลักษณะดังรูป 22



รูป 22 ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

3. ตรวจสอบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นในเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ทดลองป้อนความถี่จากคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง ให้เข้ามายังเครื่องขยายกำลังแล้วไปขับลำโพงให้สั่น เพื่อให้เกิดคลื่นตามขวางบนเส้นเชือก เพื่อดูว่าสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกได้หรือไม่ ปรากฏว่าสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้

4. เขียนคู่มือ

ผู้วิจัยได้เขียนคู่มือการติดตั้งโปรแกรม ฯ คู่มือการสร้างเครื่องขยายกำลัง และคู่มือการทำปฏิบัติการทดลอง โดยมีรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก สำหรับการทำปฏิบัติการประกอบไปด้วยการทดลอง 3 ตอนคือ

ตอนที่ 1 เปลี่ยนค่าความตึงเชือกแต่ความถี่และความยาวเชือกคงที่

ตอนที่ 2 เปลี่ยนค่าความถี่แต่ความตึงเชือกและความยาวเชือกคงที่

ตอนที่ 3 หาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก

5. ตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น โดยการแบ่งการทดสอบเป็น 5 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 นำชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมาทำการทดลองตอนที่1 แล้วหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น

ส่วนที่ 2 นำชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมาทำการทดลองตอนที่2 แล้วหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น

ส่วนที่ 3 นำเชือกที่ทราบความยาวแล้วนำไปชั่งโดยใช้เครื่องชั่งละเอียดแบบดิจิตอลแล้วนำข้อมูลมาหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น

ส่วนที่ 4 นำผลการทดลองจากทั้งสองส่วนแรกมาเปรียบเทียบกับส่วนที่ 3 โดยผลการเปรียบเทียบต้องมีเปอร์เซ็นความแตกต่างไม่เกิน 2 %

ส่วนที่ 5 จากผลการทดลองนำข้อมูลมาหาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือกจาก2 วิธีแล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกัน โดยอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือกจากทั้ง 2 วิธีต้องมีค่าใกล้เคียงกัน

6. ปรับปรุงชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แล้วจึงนำชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ปรับปรุงแล้วนี้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ จำนวน 5 ท่านทำการประเมินคุณภาพ

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยนำชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นและได้ปรับปรุงแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 10 ปี จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย
อาจารย์ผู้สอนหรือเคยสอนในระดับมหาวิทยาลัย 4 ท่าน คือ

1. ผศ.ปราโมทย์ ฉลูกัลป์

ตำแหน่งข้าราชการเกษียณอายุ สังกัดเดิมคือภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 30 ปี

2. ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 12 ปี

3. อาจารย์สมศักดิ์ มณีรัตนะกูล

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 18 ปี

4. ดร.สนอง ทองปาน

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์ สังกัดภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 18 ปี

อาจารย์ผู้สอนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 1 ท่าน คือ

1. อาจารย์ทองดี แย้มสรวล

ตำแหน่งครู วิทยฐานะครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาปทุมธานี เขต 1 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์มากกว่า 30 ปี และเป็นผู้ที่ได้รับคัดเลือกให้เป็น ครูแห่งชาติสาขาฟิสิกส์

ในการประเมินครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น โดยศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินจากเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น หนังสือเกี่ยวกับการวิจัย งานวิจัย และปริญญานิพนธ์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น โดยแบบประเมินคุณภาพที่สร้างขึ้นนี้ เป็นแบบมาตรส่วนประมาณค่า 5 ระดับตามวิธีของลิเคิร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538 : 114) กำหนดให้มีระดับการประมานค่าดังนี้ ดีมาก ดี พอใช้ ต้องปรับปรุง และใช้ไม่ได้ โดยมีคะแนนเป็น 4, 3, 2, 1 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งการประเมินครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นใน 4 ด้าน คือ

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป จำนวน 4 ข้อ
2. ลักษณะการใช้งาน จำนวน 5 ข้อ
3. การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม จำนวน 7 ข้อ
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน จำนวน 8 ข้อ

นอกจากนั้นแล้วในการประเมินยังได้มีส่วนให้ผู้เชี่ยวชาญได้แสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอีกด้วย

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ทำโดยนำคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) การคำนวณค่าเฉลี่ยดังกล่าวประเมินจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญใน 4 ด้าน คือ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไป

ลักษณะการใช้งาน

การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม

ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

โดยความหมายของการประเมินคุณภาพที่สอดคล้องกับคะแนนเฉลี่ยเป็นดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 0.00 – 0.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ใช้ไม่ได้

คะแนนเฉลี่ย 0.51 – 1.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ต้องปรับปรุง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้

คะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดี

คะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.00 การประเมินคุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกศึกษาความรู้ที่เป็นพื้นฐานของวิชาฟิสิกส์เกี่ยวกับคลื่นกลกรณีของคลื่นในเส้นเชือก ซึ่งประกอบด้วย การทดลองจำนวน 3 ตอนดังนี้คือ

ตอนที่ 1 เปลี่ยนค่าความตึงเชือกแต่ความถี่และความยาวเชือกคงที่

ตอนที่ 2 เปลี่ยนค่าความถี่แต่ความตึงเชือกและความยาวเชือกคงที่

ตอนที่ 3 หาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ทำโดยการหาคุณภาพของ ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น โดยนำคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ 5 ท่านมาหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีการจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. ค่าคะแนนเฉลี่ย ($\overline{X}$) ของความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดยคำนวณจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 137)

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ

N แทน จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ

2. ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญคำนวณจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2540 : 143)

$$S = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S แทน ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ

$\sum X^2$ แทน ผลรวมคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

N แทน จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ

X แทน คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกประสิทธิภาพสูงสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การสร้างและตรวจสอบประสิทธิภาพของ ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของ ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่าน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละตอนสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 นำชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นไปทดลองทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก พบว่าสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้จริง และสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึง 8 วงปิด

ส่วนที่ 2 นำชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมาทำการทดลองตามคู่มือการทำการทดลองจำนวน 3 ตอนที่เขียนขึ้นซึ่งประกอบด้วย

ตอนที่ 1 เปลี่ยนค่าความตึงเชือก(T)แต่ความถี่ (f) และความยาวเชือก(L)คงที่ พบว่าสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ 1 วงปิด จนถึง 8 วงปิด และเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง $1 / T$ กับ n^2 สามารถหาค่าความชันของกราฟได้เท่ากับ 0.376 เมื่อนำไปคำนวณหาความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ)ได้เป็น1.28×10^{-4} kg/m

ตอนที่ 2 เปลี่ยนค่าความถี่ (f) แต่ความตึงเชือก(T) และความยาวเชือก(L)คงที่ พบว่าสามารถทำให้เกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ 1 วงปิด จนถึง 6 วงปิด และเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง f กับ n สามารถหาค่าความชันของกราฟได้เท่ากับ 20 ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ)จะได้เป็น 1.25×10^{-4} kg/m

ตอนที่ 3 หาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก โดยนำค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่ได้จากการวัดโดยตรงซึ่งหาค่าได้จาก $\mu = m/\ell$ ไปแทนในสมการ $v = \sqrt{T/\mu}$ พบว่าหาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือกได้เท่ากับ 72.11 m/s แต่ถ้าหาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือกโดยนำค่าความยาวคลื่น (λ) และความถี่ (f) ที่ได้จากการใช้ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นซึ่ง λ = 1.20 m และ f = 60 Hz ไปแทนในสมการ $v = \lambda f$ พบว่าหาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือกได้เท่ากับ 72 m/s ซึ่งมีค่าความแตกต่างเพียง 0.02 %

ส่วนที่ 3 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ)จากการทดลองตอนที่ 1กับค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่ได้จากการวัดโดยตรง พบว่ามีค่าความแตกต่าง 0.79 % และเมื่อเปรียบเทียบค่า μ จากการทดลองตอนที่ 2 กับค่า μ ที่ได้จากการวัดโดยตรง พบว่ามีค่าความแตกต่าง 1.57 % จะเห็นว่าทั้งสองกรณีมีความแม่นยำโดยมีค่าความแตกต่างไม่เกิน 2 %

จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นสรุปได้ว่าของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงมาก

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประเมินจากการนำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่านมาหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$)และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพใน 4 ด้านคือ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไป

ลักษณะการใช้งาน

การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม

ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ทั้งสี่ด้าน ดังนี้

ตาราง 1 แสดงผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\overline{X}$	S	สรุปผล
1	มีความแข็งแรงทนทาน	4.00	0	ดีมาก
2	การออกแบบชิ้นส่วนเหมาะสมสามารถสร้างได้ง่าย	4.00	0	ดีมาก
3	การออกแบบเหมาะสม มีขนาดพอเหมาะ	4.00	0	ดีมาก
4	การติดตั้งอุปกรณ์มีความมั่นคง	3.60	0.55	ดีมาก
ภาพรวม		3.90	0.13	ดีมาก

จากตาราง 1 สรุปผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าเฉลี่ย 3.90)

2. ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าอยู่ในระดับดีมากหมดทั้ง 4 ข้อ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.00, 4.00, 4.00 และ 3.60 ตามลำดับ

ตาราง 2 แสดงผลการประเมินลักษณะการใช้งานของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\overline{X}$	S	สรุปผล
1	การเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติการทดลองทำได้สะดวก	3.60	0.55	ดีมาก
2	มีการประสิทธิภาพในการทดลอง ค่าต่างๆที่ต้องการวัดสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ทำให้อ่านค่าได้ง่าย ผลการวัดมีความถูกต้อง เชื่อถือได้	3.80	0.45	ดีมาก
3	ปลอดภัยในขณะปฏิบัติการทดลอง	3.80	0.45	ดีมาก
4	มีความคล่องตัวในการใช้ และปฏิบัติการทดลองไม่เกะกะ	3.20	0.45	ดีมาก
5	เคลื่อนย้ายได้สะดวก	3.40	0.55	ดีมาก
ภาพรวม		3.56	0.33	ดีมาก

จากตาราง 2 สรุปผลการประเมินลักษณะการใช้งานของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. ลักษณะการใช้งานของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าเฉลี่ย 3.56)

2. ลักษณะการใช้งานของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าอยู่ในระดับดีมากหมดทั้ง 5 ข้อ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.60 , 3.80 , 3.80 , 3.20 และ 3.40 ตามลำดับ

ตาราง 3 แสดงผลการประเมินการจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\overline{X}$	S	สรุปผล
1	การจัดสร้างเครื่องมือทำได้ง่าย สามารถกระทำได้โดยอาจารย์และบุคลากรที่มีอยู่ในสถานศึกษา	3.60	0.55	ดีมาก
2	การติดตั้งโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก	4.00	0	ดีมาก
3	การบำรุงรักษาทำได้ง่าย	3.80	0.45	ดีมาก
4	สะดวกในการใช้และเก็บรักษา	3.40	0.55	ดีมาก
5	การจัดหาอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมทำได้สะดวก	3.80	0.45	ดีมาก
6	วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย	3.80	0.45	ดีมาก
7	การซ่อมแซมในแต่ละส่วนทำได้สะดวกไม่ทำให้อุปกรณ์อื่นๆเสียหาย	3.80	0.45	ดีมาก
ภาพรวม		3.77	0.36	ดีมาก

จากตาราง 3 สรุปผลการประเมินการจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. การจัดสร้างการติดตั้งโปรแกรมการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าฉลี่ย 3.77)

2. การจัดสร้างการติดตั้งโปรแกรมการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าอยู่ในระดับดีมากหมดทั้ง 7 ข้อ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.60, 4.00, 3.80, 3.40, 3.80, 3.80 และ 3.80 ตามลำดับ

ตาราง 4 แสดงผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ข้อ	รายละเอียด	$\bar{X}$	S	สรุปผล
1	การกำหนดและเปลี่ยนค่าความถี่ทำได้ง่ายมีความละเอียด	3.80	0.45	ดีมาก
2	ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจในเนื้อหาเป็นรูปธรรม	3.80	0.45	ดีมาก
3	ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่าย เป็นการให้ประสบการณ์ตรง	4.00	0	ดีมาก
4	ผู้เรียนมีโอกาสปฏิบัติและมีส่วนร่วม	3.80	0.45	ดีมาก
5	ผู้เรียนสามารถใช้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มได้	4.00	0	ดีมาก
6	ใช้เวลาในการทดลองน้อย และได้ผลการทดลองถูกต้องเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	3.80	0.45	ดีมาก
7	กิจกรรมต่างๆในการทดลองมีส่วนเสริมความรู้ความสามารถและทักษะกระบวนการทางวิทยาสตร์	3.60	0.55	ดีมาก
8	คู่มือการติดตั้งโปรแกรมและคู่มือการใช้เครื่องมือและโปรแกรม ให้รายละเอียดเหมาะสมและชัดเจน	4.00	0	ดีมาก
ภาพรวม		3.85	0.22	ดีมาก

จากตาราง 4 สรุปผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

1. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (มีค่าเฉลี่ย 3.85)

2. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าอยู่ในระดับดีมากหมดทั้ง 8 ข้อ มีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.80, 3.80, 4.00, 3.80, 4.00, 3.80, 3.60 และ 4.00 ตามลำดับ

ตาราง 5 แสดงการประเมินคุณภาพทั้ง 4 ด้านโดยรวมของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ด้านที่ประเมิน	ผลการพิจารณาคะแนนเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญคนที่					$\bar{X}$	S	สรุปผล
	1	2	3	4	5			
1. ลักษะทางกายภาพทั่วไป	4.00	4.00	3.75	3.75	4.00	3.90	0.14	ดีมาก
2. ลักษณะการใช้งาน	4.00	3.80	3.40	3.20	3.40	3.56	0.33	ดีมาก
3.การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม	4.00	4.00	3.86	3.86	3.14	3.77	0.36	ดีมาก
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน	4.00	4.00	4.00	3.75	3.50	3.85	0.22	ดีมาก
ภาพรวมเฉลี่ย	4.00	3.92	3.75	3.60	3.60	3.77	0.18	ดีมาก

จากตาราง 5 แสดงผลการประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ด้าน ลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน การจัดสร้างการติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน โดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ย 3.77 จาก 4.00 ซึ่งอยู่ในระดับ “ ดีมาก ”

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์

สำหรับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ ผู้วิจัยได้รวบรวมและนำมาเรียงเป็นรายข้อได้ดังนี้

1. เป็นชุดทดลองที่มีความคิดสร้างสรรค์ดีมาก สามารถนำไปใช้ให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้เรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามตัวชี้วัดของหลักสูตร

2. เป็นชุดทดลองที่สร้างง่ายจากวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นหรือจากวัสดุเหลือใช้ ซึ่งถือเป็นจุดเด่นของชุดทดลองชุดนี้

3. เป็นชุดทดลองที่มีความละเอียดแม่นยำในการทดลองสูง โดยสามารถกำหนดความถี่จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำให้สะดวก ประหยัด แต่ยังคงความถูกต้องในตัวความรู้ที่เกิดจากการทดลอง

4. ควรนำไปเผยแพร่อบรมให้ครูที่สอนฟิสิกส์ดำเนินการจัดทำและนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

5. ควรนำไปจัดแสดงผลงานหรือนิทรรศการ

6. ควรส่งประกวดสิ่งประดิษฐ์ของ วช. เพื่อเป็นการเผยแพร่องค์ความรู้

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะได้สรุปสาระสำคัญว่าด้วยความมุ่งหมายของการวิจัย วิธีดำเนินการ สรุปผลการวิจัย รวมทั้งการอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ (ซึ่งแยกเป็นข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป)

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อพัฒนาและออกแบบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพสูง สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างละเอียดและต่อเนื่อง สามารถแสดงวงปิดของเส้นเชือกขณะเกิดคลื่นนิ่งได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึงอย่างน้อย 6 วงปิด สามารถใช้ข้อมูลจากการทดลองคำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือก และอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกได้ สามารถใช้ในการเรียนการสอนและการทำปฏิบัติการเรื่องคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างถูกต้อง ตรงตามทฤษฎีและเห็นผลการทดลองชัดเจน

สมมติฐานการวิจัย

1. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่องและละเอียดครั้งละ 1 Hz โดยสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ตั้งแต่ความถี่น้อยๆ เช่น 1 Hz จนถึงค่าความถี่มากๆ เช่น 200 Hz ได้

2. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น สามารถแสดงวงปิดของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึงอย่างน้อย 6 วงปิด

3. . ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้หาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ)ของเส้นเชือกที่ใช้ทดลองได้ และต้องมีความแตกต่างจากค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือกที่ได้จากการวัดโดยตรงไม่เกิน 2 %

4. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพใน 4 ด้านคือ ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านการจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนอยู่ในระดับดี (มีค่าเฉลี่ย 2.51 ขึ้นไปจาก 4.00) จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกประสิทธิภาพสูงสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของ ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่าน

แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

1. ศึกษาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน
2. ออกแบบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกต้นแบบ
3. ทดสอบชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นในเบื้องต้น
4. เขียนคู่มือต่างๆ
5. ตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น
6. ปรับปรุงชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ตอนที่ 2 การประเมินคุณภาพของ ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่าน

สรุปผลการวิจัย

1. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่องและละเอียดครั้งละ 1 Hz โดยสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ตั้งแต่ 1 Hz – 1,000 Hz

2. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น สามารถแสดงวงปิดของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึง 8 วงปิด

3. . ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้หาอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกได้ และใช้หาความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ)ของเส้นเชือกที่ใช้ทดลองได้ โดยค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นจากการทดลองตอนที่ 1 กับค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่ได้จากการวัดโดยตรงมีค่าความแตกต่าง 0.79 % และค่า μ จากการทดลองตอนที่ 2 กับค่า μ จากการวัดโดยตรงมีค่าความแตกต่าง 1.57 % นั่นคือทั้งสองกรณีมีความแม่นยำ โดยมีค่าความแตกต่างไม่เกิน 2 %

4. จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่านพบว่า ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพใน 4 ด้านคือ ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ด้านลักษณะการใช้งาน ด้านการจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และด้าน

ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมากทั้ง 4 ด้าน โดยมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ยเป็น 3.90, 3.56, 3.77 และ 3.85 ตามลำดับ และมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมากโดยมีค่าระดับคะแนนเฉลี่ยเป็น 3.77 จากระดับคะแนนเต็ม 4.00

5. ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นจัดสร้างได้ง่าย สามารถกระทำได้โดยอาจารย์และบุคลากรที่มีอยู่ในสถานศึกษา การติดตั้งโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก มีประสิทธิภาพในการทดลอง ค่าต่างๆที่ต้องการวัดสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ทำให้อ่านค่าได้ง่ายผลการวัดมีความถูกต้องเชื่อถือได้ จึงมีความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำหาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก รวมราคาเสร็จสมบูรณ์ไม่ถึงหนึ่งพันบาท เมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่นที่ขายอยู่มีราคาต่ำสุดที่ 7100 บาทแต่เป็นชุดทดลองอย่างง่ายที่มีความถี่ในการสั่นเพียงความถี่เดียว ไม่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ ถ้าจะให้เปลี่ยนความถี่ได้มีราคาหนึ่งหมื่นสองพันบาทขึ้นไปถึงหลายหมื่นบาท ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นจึงนับว่ามีราคาถูกมาก ดังนั้นถ้ามีการแนะนำวิธีที่ใช้พัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกตามการวิจัยนี้ คณาจารย์ตามสถาบันการศึกษาต่างๆน่าจะพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกขึ้นใช้ได้เอง ทำให้เกิดประโยชน์แก่ผู้เรียน และช่วยประหยัดเงินงบประมาณให้กับประเทศชาติได้เป็นอย่างมาก

อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยจะแยกเป็น 4 ด้านดังนี้

1. ด้านประสิทธิภาพและลักษณะการใช้งาน

จากการวิจัยพบว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น สามารถจัดสร้างได้ง่าย สามารถกระทำได้โดยอาจารย์และบุคลากรที่มีอยู่ในสถานศึกษา การติดตั้งโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก มีประสิทธิภาพในการทดลอง ค่าต่างๆ ที่ต้องการวัดสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ทำให้การอ่านค่าและการใช้งานทำได้ง่าย ผลการวัดมีความถูกต้องเชื่อถือได้ มีประสิทธิภาพสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้อย่างต่อเนื่องและละเอียดครั้งละ 1 Hz โดยสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ตั้งแต่ 1 Hz – 1,000 Hz สามารถแสดงวงปิดของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกได้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 วงปิดถึง 8 วงปิด สามารถนำไปใช้หาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือกที่ใช้ทดลองได้ และมีค่าความแตกต่างจากค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่ได้จากการวัดโดยตรงไม่เกิน 2 % นั่นคือมีความแม่นยำในระดับเดียวกับเครื่องมือที่ซื้อจากต่างประเทศในราคาหลายหมื่นบาท จะเห็นได้ว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมีคุณค่าในด้านการทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ทดแทนซึ่งเป็นไปตามแนวคิดของชาร์มา (Sharma. 1982 : 261)

2. ด้านวิธีการพัฒนา

การที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้ท่อพีวีซีและแผ่นไม้ซึ่งตัดและประกอบเป็นโครงสร้างได้ง่ายจึงทำให้ชุดทดลองสร้างได้ง่ายมาก เครื่องสั่นที่ทำจากลำโพงเมื่อนำเอาแผ่นพลาสติกกลม ฐานผูกลูกโป่ง

และก้านลูกโป่งมาติดกาวแล้วประกอบเข้าด้วยกันจะเป็นเครื่องสั่นอย่างดีได้อย่างง่ายดาย สำหรับเครื่องขยายสัญญาณใช้วงจรง่ายๆ ที่เผยแพร่ทั่วไป คนที่มีความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างขึ้นได้เอง ถ้าไม่มีความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถซื้อเป็นชุดสำเร็จได้ตามร้านขายเครื่องขยายเสียงทั่วไป นอกจากนั้นการติดตั้งซอฟต์แวร์เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดความถี่ทำได้ง่าย และมีคู่มือการติดตั้งโปรแกรมอธิบายไว้อย่างละเอียดและชัดเจน ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเป็นไปตามลักษณะของอุปกรณ์และสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดีตามแนวคิดของโช สาลีฉัน (2541 : 29-30)

3. ด้านค่าใช้จ่ายในการพัฒนา

จากการที่เลือกใช้ท่อพีวีซีและแผ่นไม้เป็นโครงสร้างหลักของชุดทดลองซึ่งเป็นสิ่งที่หาซื้อได้ทั่วไปและมีราคาถูก เครื่องสั่นที่ทำจากลำโพงเมื่อนำเอาแผ่นพลาสติกกลม ฐานผูกลูกโป่ง และก้านลูกโป่งมาติดกาวแล้วประกอบเข้าด้วยกันจะเป็นเครื่องสั่นอย่างดีในราคาเพียงร้อยกว่าบาท ซึ่งถูกกว่าการสั่งซื้อเครื่องสั่นจากต่างประเทศมากแต่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน ส่วนเครื่องขยายสัญญาณใช้วงจรง่ายๆ ที่เผยแพร่ทั่วไป คนที่มีความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างขึ้นได้เอง ถ้าไม่มีความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถซื้อเป็นชุดสำเร็จได้ในราคาเพียงสองร้อยกว่าบาท ซึ่งถูกกว่าต่างประเทศมาก และเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้นสามารถซ่อมบำรุงได้ในราคาถูก นอกจากนั้นยังเลือกใช้ชุดซอฟต์แวร์ที่ผู้ผลิตอนุญาตให้ใช้ได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ทำให้ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมีราคาถูกมาก โดยเสียค่าใช้จ่ายเพียงไม่เกิน 1,000 บาทเท่านั้น ซึ่งนับว่ามีราคาถูกมาก แต่มีประสิทธิภาพและคุณภาพเท่าเทียบกับชุดทดลองที่ซื้อจากต่างประเทศในราคาหลายหมื่นบาท ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเป็นไปตามลักษณะของอุปกรณ์และสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดีตามแนวคิดของโช สาลีฉัน (2541 : 29-30)

4. ด้านส่งเสริมการเรียนรู้

จากการที่ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นได้รับการออกแบบให้มีแผ่นฉากอยู่ด้านหลังของเส้นเชือกจึงทำให้มองเห็นคลื่นอย่างชัดเจน และการที่มีเสกลวัดระยะติดไว้ทำให้อ่านค่าความยาวคลื่นของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นได้สะดวกและแน่นอน นอกจากนั้นการที่ใช้ซอฟต์แวร์ที่ทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดความถี่แบบดิจิตอล ทำให้การกำหนดความถี่และการอ่านค่าความถี่ทำได้แน่นอนไม่ต้องมีการประมาณค่าหรือคาดเดาค่า และการที่มีคู่มือการทำการทดลองและการใช้งานไว้อย่างละเอียด ทำให้ผู้เรียนสามารถใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นได้ง่าย ดังนั้นชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นสื่อที่ส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ดีมาก นั่นคือชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นทำหน้าที่เป็นสื่อการสอนที่มีคุณภาพดังที่แบทเชลเดอร์ (Batchelder. 1956 : 33)ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าอุปกรณ์การสอนได้รับการเลือกสรรอย่างดีมีหลักเกณฑ์ ได้รับการประเมินอย่างเหมาะสม ตลอดจนได้รับการใช้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วจะทำให้ ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างสมบูรณ์

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ควรมีการฝึกอบรมการสร้างชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นให้กับครูวิทยาศาสตร์และครูฟิสิกส์ในโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่างๆ เพื่อให้สามารถสร้างชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกขึ้นใช้ได้เอง

1.2 ควรมีการฝึกอบรมการใช้ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นให้กับครูวิทยาศาสตร์และครูฟิสิกส์ในโรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่างๆเพื่อให้นำไปใช้ทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ

1.3 โรงเรียนและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ควรนำชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นนี้ไปเป็นต้นแบบเพื่อผลิตขึ้นใช้ได้เอง เนื่องจากวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ มีราคาถูกสามารถจัดหาได้ง่าย หรือเป็นวัสดุอุปกรณ์ที่สถาบันการศึกษาต่าง ๆ มีอยู่แล้วเป็นส่วนใหญ่ และวิธีการสร้างง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพื่อให้นักเรียนนักศึกษามีโอกาสได้ใช้เครื่องมือมากกว่าที่เป็นอยู่ในขณะนี้

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

ถึงแม้ว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นนี้จะดีมาก สามารถทำการทดลองเกี่ยวกับคลื่นในเส้นเชือกได้เป็นอย่างดี มีคุณภาพและประสิทธิภาพเท่าเทียมกับชุดทดลองที่สั่งซื้อจากต่างประเทศในราคาแพง สามารถกำหนดค่าความถี่และอ่านค่าความถี่เป็นตัวเลขได้โดยตรง สามารถวัดค่าความยาวคลื่นของคลื่นนิ่งได้ง่าย ทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในสิ่งที่เรียนมากขึ้น วิธีการในการพัฒนาไม่ยาก ใช้เงินในการพัฒนาไม่มาก ทำให้ผู้เรียนมีโอกาสใช้เครื่องมือมากขึ้น เหมาะกับสถานศึกษาที่ไม่มีเงินซื้อชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกอย่างดีมาใช้ แต่ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นยังควรได้รับการพัฒนาให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นอีกเช่น พัฒนาการติดตั้งเครื่องสั่นให้ปรับเปลี่ยนได้ง่ายเพื่อให้สามารถทำการทดลองได้อย่างสะดวกทั้งในกรณีแกนการสั่น สั่นในแนวตั้งฉากกับเส้นเชือกอย่างที่เป็นอยู่และในกรณีแกนการสั่น สั่นแนวขนานกับเส้นเชือก

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2540). ผลการดำเนินงานกรมสามัญศึกษาในรายงานประจำปี 2539. กรุงเทพฯ : กรมสามัญศึกษา.

โช สาลีฉัน. (2541). เทคโนโลยีพื้นฐานการสร้างสื่อการสอน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:สุวีริยาสาส์น.

ไชยยันต์ ศิริโชติ. (2541, มีนาคม-เมษายน). การใช้ ADC ร่วมกับคอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลจากการวัด. วารสารวิทยาศาสตร์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 52(2): 79.

ทนง อัครธีรานนท์. (2549). การพัฒนาสโตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ทนง อัครธีรานนท์. (2552). การพัฒนาออสซิลโลสโคปจากคอมพิวเตอร์ตกรุ่นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์และสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ธงชัย ชิวปรีชา และคนอื่นๆ. (2526). ความรู้เกี่ยวกับการใช้วัสดุอุปกรณ์และการสร้างอุปกรณ์ทดแทนการสอน. ในเอกสารการสอนชุดวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 8-15 หน้า 17 – 272. กรุงเทพฯ: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช.

ธนพรรษ เหมเชื้อ. (2542). การพัฒนาออสซิลโลสโคปจากโทรทัศน์ขาวดำเพื่อใช้แสดงสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้าประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (เทคโนโลยีทางการศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

นพพร เสนีย์คุปต์. (2547). การพัฒนาชุดทดลองเรื่องโมเมนตัมและการชนใน 1 มิติ สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

บุญชม ศรีสะอาด. (2541). การพัฒนาการสอน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ชมรมเด็ก.

ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. (2545, กรกฎาคม – ธันวาคม). ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบความแม่นยำสูง. “ วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 : 15.

ประนอม หมอกกระโทก. (2545). การพัฒนาชุดทดลองเรื่อง การเคลื่อนที่ในแนวตรงในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ภพ เลาหไพบูลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

มงคล จงสุพรรณพงศ์. (2543). การพัฒนาชุดทดลองหลักการทำงานของมอเตอร์และเยนเนอเรเตอร์ เพื่อเป็นชุดทดลองประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

วิมล สำราญวานิช. (2532). การสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น. ขอนแก่น: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิมาณ วรรณคำ. (2542). รายงานการประเมินคุณภาพการศึกษาระดับมัธยมศึกษา เขตการศึกษา 11 ปีการศึกษา 2540. นครราชสีมา : สำนักพัฒนาการศึกษาศาสนาและวัฒนธรรม เขตการศึกษา11.

ศิริเพ็ญ จึงตระกูล. (2542). การสร้างชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สกุลรัตน์ พ่วงเดช. (2529). ผลการสอนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพโดยใช้สอนทดแทนกับอุปกรณ์ต้นแบบของ สสวท. เรื่องโลกและดาว กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2543). มาตรฐานการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สนอง ทองปาน. (2537). การศึกษาผลการใช้เครื่องอัดขยายภาพขาวดำที่พัฒนาขึ้นในการสอนอัดขยายภาพสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สมนึก บุญพาไสว. (2534, มกราคม – มีนาคม). “ การแก้ไข้ปัญหากับมโนคติดในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ” วารสาร สสวท. ปีที่ 45 (3) : 19.

สมปัญญา ศรีภคนานนท์. (2535). การศึกษาความสามารถในการสร้างสิ่งประดิษฐ์และความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยใช้ชุดกิจกรรมสร้างสิ่งประดิษฐ์กับชุดกิจกรรมซ่อมแซมแปลงสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา) กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2543). ความสามารถในการแข่งขันระดับนานาชาติ พศ. 2543. กรุงเทพฯ : บริษัท เซเว่นพริ้นติ้ง กรุปต์จำกัด.

สิปปนนท์ เกตุทัต. (2541). การประชุมเชิงปฏิบัติการระดมความคิดครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์เรื่องวิสัยทัศน์การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ยุคหลังปี ค.ศ. 2000. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กระทรวงศึกษาธิการ.

Batchelder, Howard T. (1956). Audiovisual Material in Teaching Education. New York : McGraw-Hill.

Moszkowski, Alexander. (1971). Conversations with Einstein. New York : Horizon Press.

Shuler, Charles A. (1967, December). A Comparison of Two Laboratory Technicques For Teaching Electronics in Industrial Education. Industrial Arts and Vocational Education. 6(12): 56.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์ที่มีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 10 ปี จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย

อาจารย์ผู้สอนหรือเคยสอนในระดับมหาวิทยาลัย 4 ท่าน คือ

1. ผศ.ปราโมทย์ ฉลูกัลป์

ตำแหน่งข้าราชการเกษียณอายุ สังกัดเดิมคือภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ มากกว่า 30 ปี

2. ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 12 ปี

3. อาจารย์สมศักดิ์ มณีรัตนะกูล

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์ สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 18 ปี

4. ดร.สนอง ทองปาน

ตำแหน่งงานคือ อาจารย์ สังกัดภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 18 ปี

อาจารย์ผู้สอนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 1 ท่าน คือ

1. นายทองดี แย้มสรวล

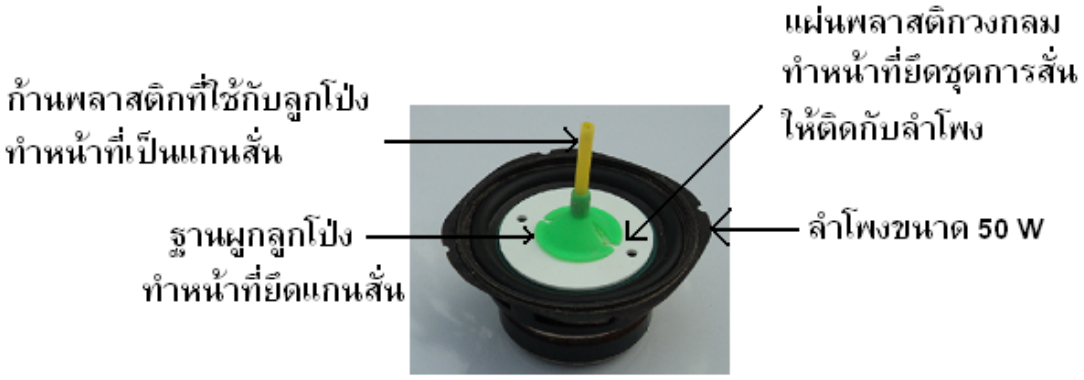
ตำแหน่งครู วิทยฐานะครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาปทุมธานี เขต 1 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องทางด้านฟิสิกส์ มากกว่า 30 ปี และเป็นผู้ที่ได้รับคัดเลือกให้เป็น ครูแห่งชาติสาขาฟิสิกส์

ภาคผนวก ข

การสร้างเครื่องสั่น

การสร้างเครื่องสั่น

เครื่องสั่นทำโดยดัดแปลงนำฐานผูกลูกโป่ง และก้านพลาสติกที่ใช้กับลูกโป่งมาติดตั้งบนแผ่นพลาสติกวงกลมที่ติดกับลำโพง เมื่อติดกาวแล้วประกอบเข้าด้วยกันจะเป็นครื่องสั่นอย่างดีซึ่งเครื่องสั่นที่สร้างเสร็จแล้วมีลักษณะดังรูป 1



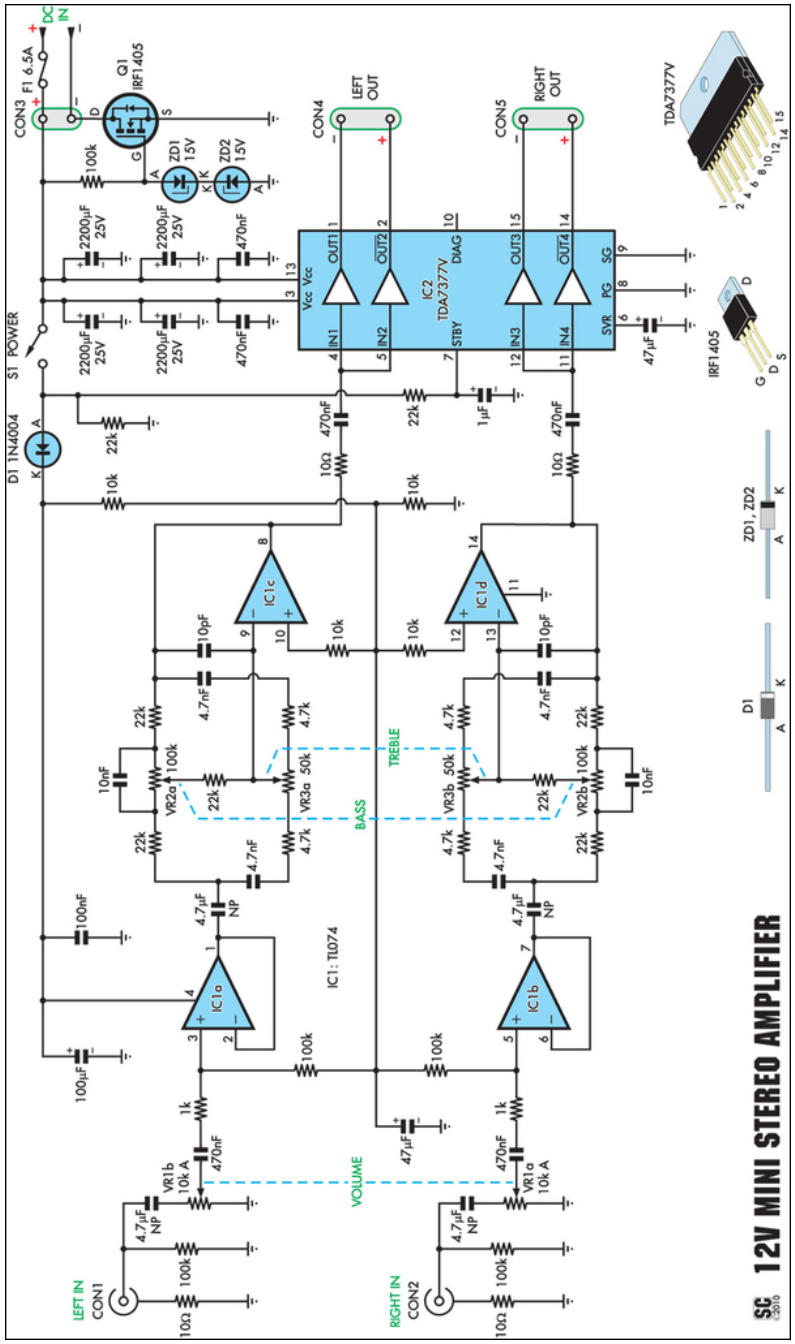
รูป 1 ลำโพงที่ติดตั้งแกนการสั่นซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องสั่น

ภาคผนวก ค

การสร้างเครื่องขยายกำลัง

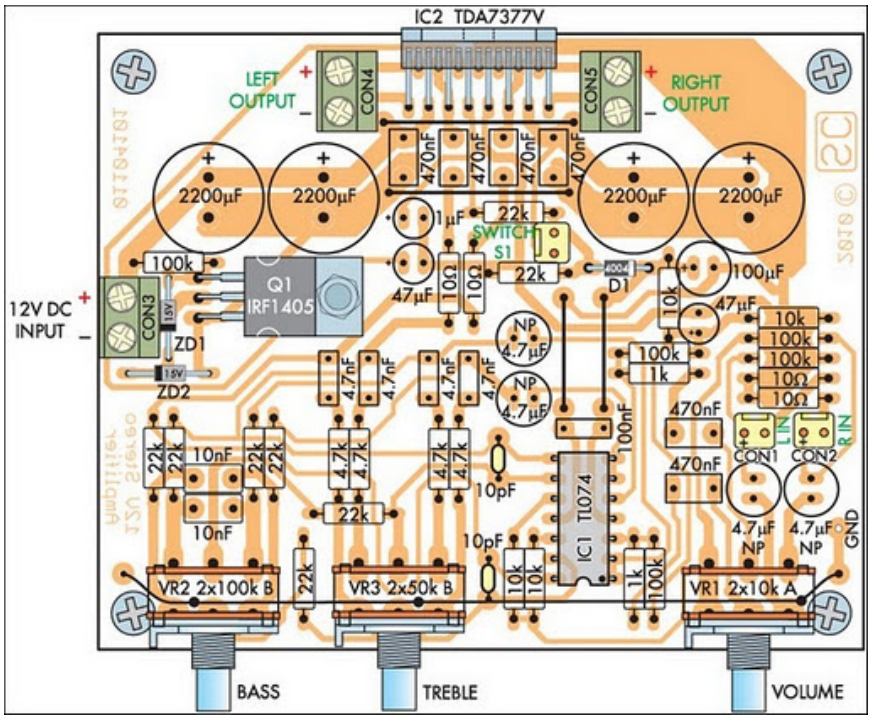
การสร้างเครื่องขยายกำลัง

การคัดเลือกเครื่องขยายกำลังจะเลือกเครื่องขยายกำลังขนาด 20 W ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง 12 V ที่จำหน่ายอยู่ทั่วไปโดยมีตัวอย่างวงจรดังรูป 1



รูป 1 ตัวอย่างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องขยายกำลัง

ตัวอย่างแผนผังอุปกรณ์ที่ประกอบลงบนแผ่นปรินต์วงจรเป็นดังรูป 2

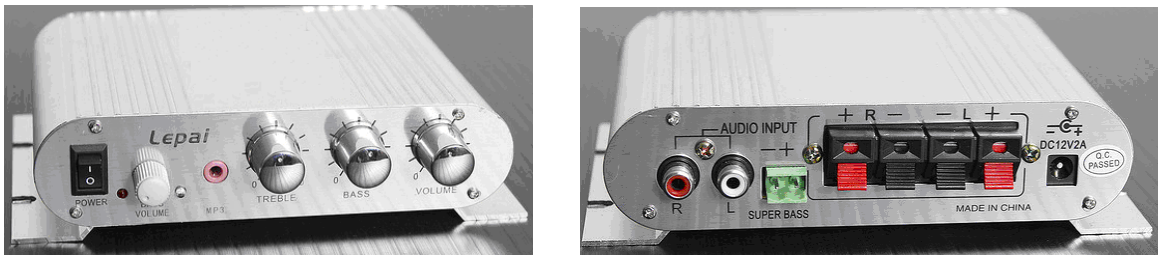


รูป 2 อุปกรณ์ที่ประกอบลงบนแผ่นปรินต์วงจร

ตัวอย่างอุปกรณ์จริงที่ประกอบลงบนแผ่นปรินต์วงจรเป็นดังรูป 3

รูป 3 อุปกรณ์จริงที่ประกอบลงบนแผ่นปรินต์วงจร

ซึ่งเมื่อสร้างเป็นเครื่องขยายกำลังที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้ว มีลักษณะดังรูป 4



(ก) รูปด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

รูป 4 เครื่องขยายกำลังที่บรรจุในกล่องเรียบร้อยแล้ว

สำหรับสายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องขยายกำลังมีปลายสายด้านหนึ่งจะเป็นแจ็ค TR สเตอริโอซึ่งจะเสียบกับช่องเสียบ Line in ของคอมพิวเตอร์เพื่อรับสัญญาณความถี่ต่าง ๆที่เครื่องคอมพิวเตอร์จ่ายออกมา ส่วนปลายสายอีกด้านหนึ่งเป็นแจ็ค RCA ซึ่งจะเสียบเข้ากับเครื่องขยายกำลัง เพื่อขยายกำลังของสัญญาณความถี่ต่าง ๆที่เครื่องคอมพิวเตอร์จ่ายออกมาให้มีกำลังมากขึ้นก่อนที่จะส่งสัญญาณที่ได้รับการขยายกำลังแล้วไปขับลำโพงต่อไป ซึ่งสายเชื่อมต่อดังกล่าวมีลักษณะดังรูป 5

รูป 5 แสดงสายสัญญาณที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องขยายกำลัง

สำหรับตัวอย่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V ที่จ่ายให้กับเครื่องขยายกำลังมีลักษณะดังรูป 6

รูป 6 แสดงตัวอย่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V

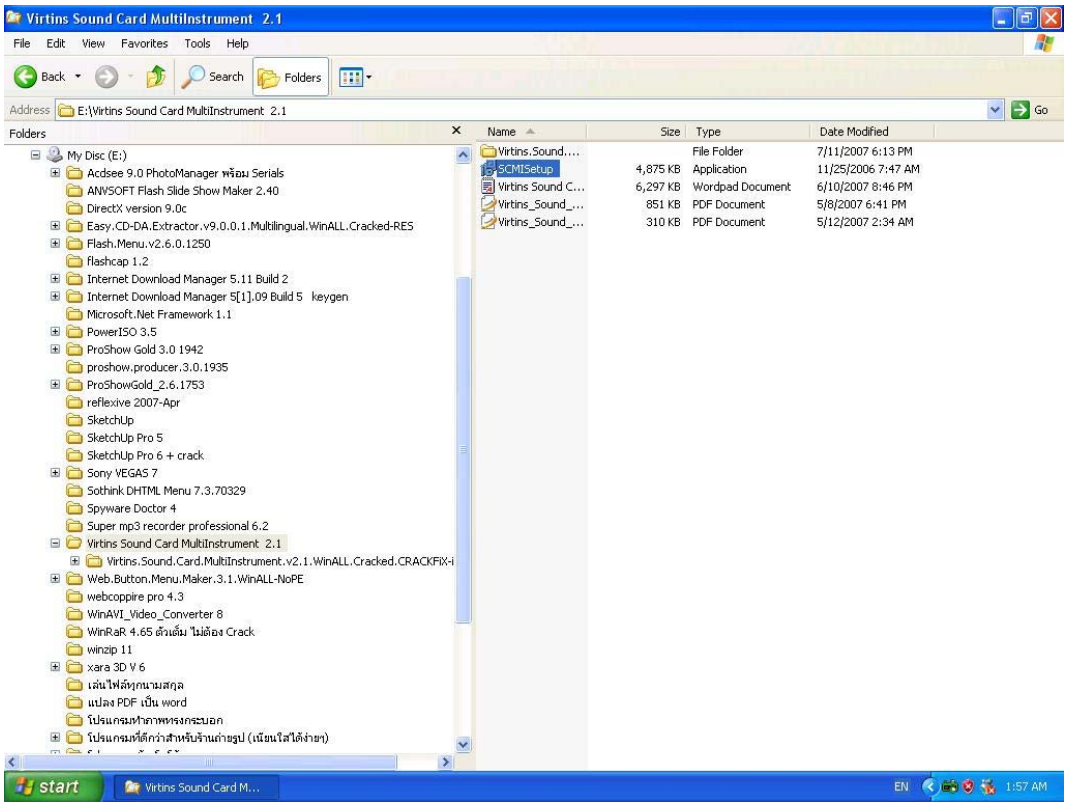
ภาคผนวก ง

คู่มือการติดตั้งโปรแกรม Virtins MultiInstrument

คู่มือการติดตั้งโปรแกรม Virtins Sound Card MultiInstrument

การติดตั้งโปรแกรม Virtins Sound Card MultiInstrument ทำตามลำดับขั้นดังนี้

1. ใส่ CD โปรแกรม ในช่องใส่ CD
2. เปิดโปรแกรม Windows Explorer และคลิกที่โฟลเดอร์ที่เก็บโปรแกรม ฯ
3. คลิกที่โฟลเดอร์ที่เก็บโปรแกรม ฯ กรอบหน้าต่างซีกขวาจะเปิดขึ้นมาดังรูป 1 และจะพบไฟล์ SCMISetup.exe



รูปที่ 1 หน้าต่างโปรแกรม Virtins Sound Card MultiInstrument

4. ดับเบิ้ลคลิกที่ไฟล์ SCMISetup.exe จะพบหน้าต่างให้เลือกภาษาดังรูป 2

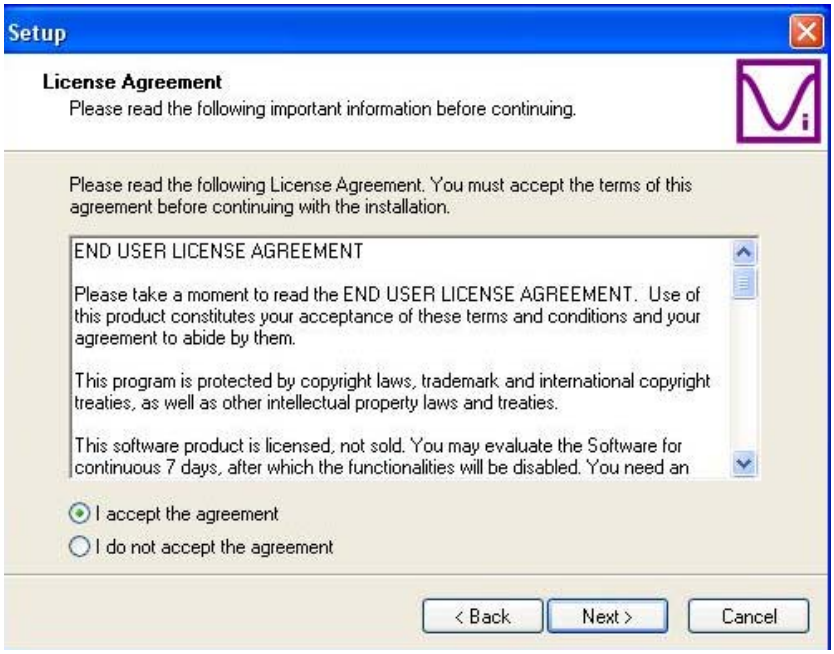
รูป 2 หน้าต่างให้เลือกภาษา

5. ให้เลือกภาษาในการติดตั้งโปรแกรมเป็น English

6. จะปรากฏหน้าต่างการติดตั้งโปรแกรม ให้คลิกที่ปุ่ม Next ทางด้านล่างดังรูป 3

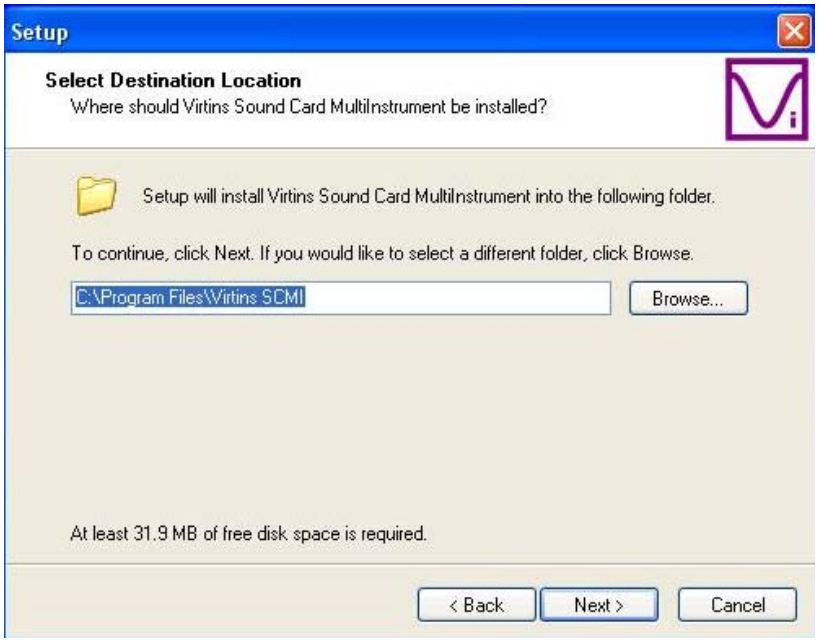
รูป 3 หน้าต่างการติดตั้งโปรแกรม ฯ

7. โปรแกรมจะถามเกี่ยวกับการลงทะเบียน ดังรูป 4 ให้เลือก I accept the agreement แล้วคลิกที่ปุ่ม Next ทางด้านล่างดังรูป 4



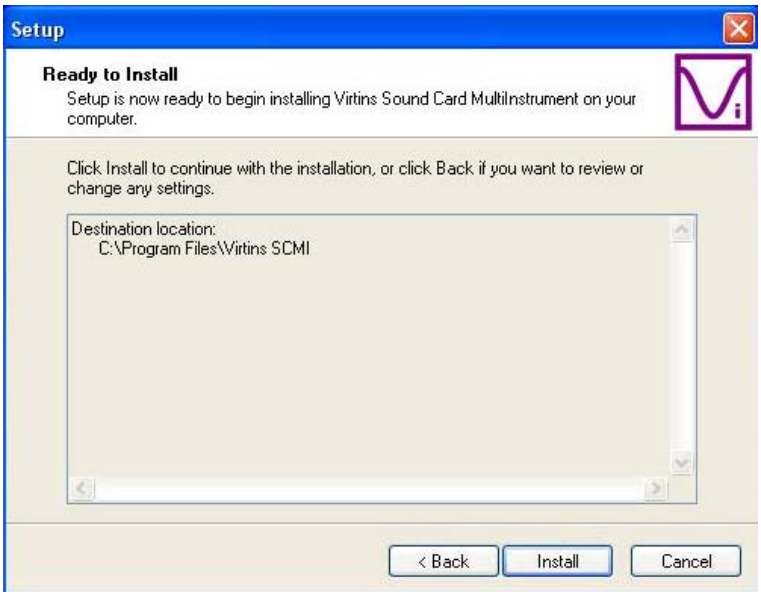
รูป 4 หน้าต่างการลงทะเบียน

8. โปรแกรมจะให้กำหนดว่า จะติดตั้งโปรแกรมเอาไว้ที่ใด ผู้ใช้สามารถกำหนดเองได้ แต่ตามปกติจะกำหนดไว้ที่ไดรว์ C : จากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม Next ทางด้านล่างดังรูป 5



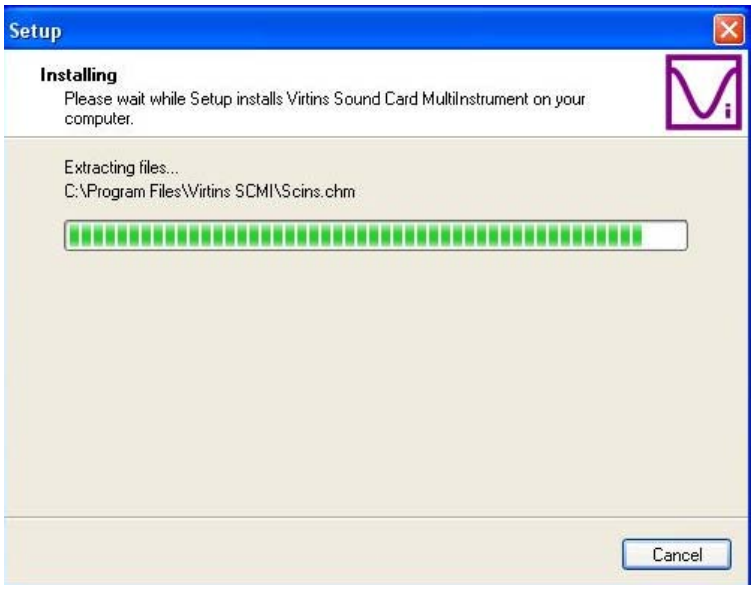
รูป 5 หน้าต่างกำหนดไดรว์ที่ใช้เก็บโปรแกรม ฯ ในคอมพิวเตอร์

9. จะมีหน้าต่างเพื่อให้ทำการติดตั้งโปรแกรมฯ ปรากฏขึ้น ให้คลิกที่ปุ่ม install ทางด้านล่างดังรูป 6



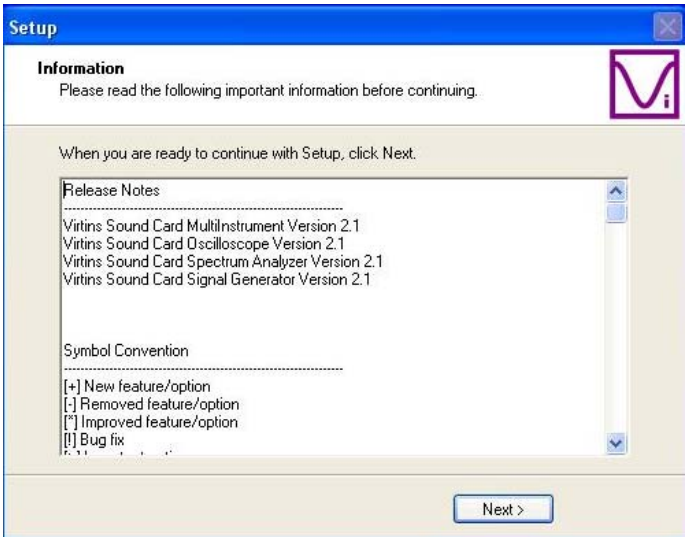
รูป 6 หน้าต่างสั่งให้ติดตั้งโปรแกรมฯ ในคอมพิวเตอร์

10. โปรแกรมฯ จะดำเนินการติดตั้งในคอมพิวเตอร์ และปรากฏหน้าต่างการติดตั้ง ดังรูป 7



รูป 7 หน้าต่างระหว่างการติดตั้งโปรแกรมฯ ในคอมพิวเตอร์

11. จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างแสดงข้อมูลและรุ่นของโปรแกรม ฯ ให้คลิกที่ปุ่ม Next ทางด้านล่างดังรูป 8

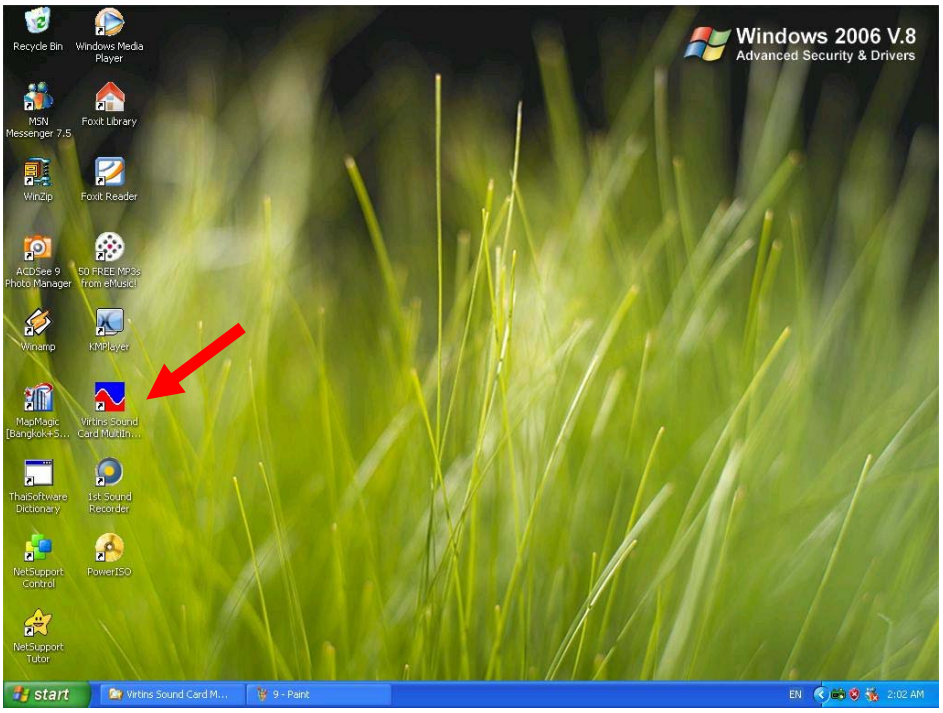


รูป 8 หน้าต่างแสดงข้อมูลและรุ่นของโปรแกรม ฯ

12. เมื่อการติดตั้งโปรแกรม ฯ เสร็จเรียบร้อยจะปรากฏหน้าต่างดังรูป 9 ให้คลิกที่ปุ่ม Finish ทางด้านล่างดังรูป 9 และการติดตั้งเป็นอันเสร็จสมบูรณ์

รูป 9 หน้าต่างแสดงว่าการติดตั้งโปรแกรม ฯ เสร็จเรียบร้อย

13. เมื่อการติดตั้งโปรแกรมฯ เสร็จเรียบร้อยจะมีสัญลักษณ์ของโปรแกรมเป็นรูป ปรากฏบน Desktop ของคอมพิวเตอร์ ดังรูป 10



รูป 10 แสดงสัญลักษณ์ของโปรแกรมบนหน้าจอ Desktop

14. การเปิดโปรแกรมขึ้นใช้งานทำได้โดย ดับเบิ้ลคลิกที่สัญลักษณ์ บนหน้าจอ Desktop

ภาคผนวก จ

คู่มือการทำปฏิบัติการทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก

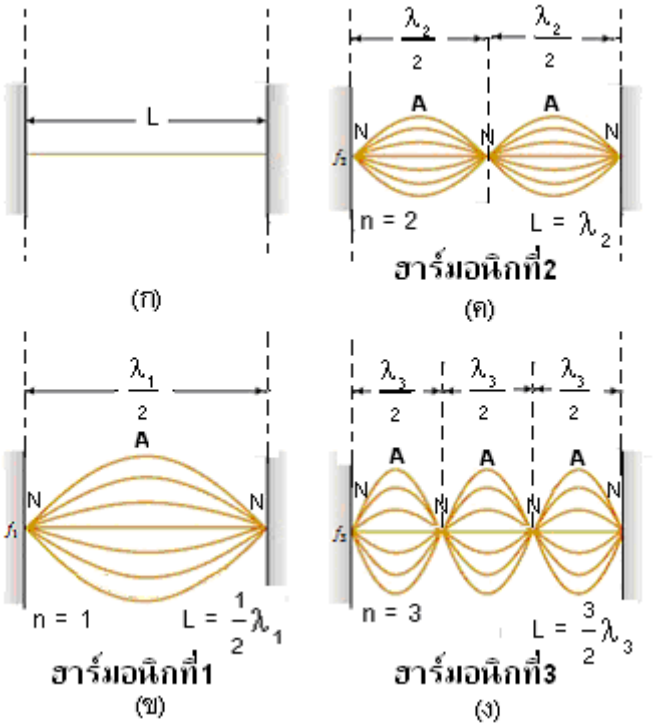
คลื่นนิ่งบนเส้นเชือก

วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดคลื่นนิ่ง
2. เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ของความตึงในเส้นเชือกและความถี่ในการสั่นของเส้นเชือกต่อการทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก
3. เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอนุกรมฮาร์มอนิก
4. เพื่อวัดค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือก
5. เพื่อหาค่าอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือก

ทฤษฎี

เมื่อทำให้วัตถุสั่นหรือแกว่งอย่างอิสระโดยการออกแรงกระทำกับวัตถุเพียงครั้งเดียว วัตถุจะสั่นหรือแกว่งด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นความถี่ประจำตัวของวัตถุนั้นๆ เรียกความถี่นี้ว่าความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) เช่นการแกว่งของลูกตุ้มที่ผูกไว้ด้วยเชือก ถ้าเชือกที่ใช้ผูกลูกตุ้มสั้นลูกตุ้มจะแกว่งด้วยความถี่สูงหรือแกว่งเร็ว ถ้าเชือกที่ใช้ผูกลูกตุ้มยาวลูกตุ้มจะแกว่งด้วยความถี่ต่ำหรือแกว่งช้าๆ นั่นคือลูกตุ้มที่ผูกไว้ด้วยเชือกที่ยาวต่างกันจะแกว่งด้วยความถี่ธรรมชาติที่ต่างกัน สำหรับแอมพลิจูดของการแกว่งขึ้นกับขนาดของแรงที่กระทำต่อลูกตุ้ม แต่ถ้าให้แรงกระทำต่อเนื่องในจังหวะที่เหมาะสมกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ จะทำให้แอมพลิจูดค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงมากที่สุด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการสั่นพ้อง(resonance) การสั่นพ้องเกิดจากการที่วัตถุถูกบังคับให้สั่นด้วยแรงภายนอกที่มีความถี่เท่ากับหรือเป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น มีผลให้วัตถุสั่นด้วยแอมพลิจูดที่กว้างกว่าปกติ ในกรณีของเส้นเชือกที่ถูกตรึงปลายข้างหนึ่งเอาไว้ และอีกปลายถูกดึงให้ตึงแล้วสะบัด จะเกิดคลื่นตามขวางเคลื่อนที่จากปลายที่สะบัดไปยังจุดที่ตรึงด้วยอัตราเร็วที่ขึ้นกับความตึงในเส้นเชือกและค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(linear mass density) ของเส้นเชือก เมื่อคลื่นเดินทางมาถึงจุดตรึง จะเกิดการสะท้อนออกมาจากจุดที่ตรึง เรียกคลื่นที่เดินทางจากจุดที่สะบัดแล้วเคลื่อนที่มาตามเส้นเชือกว่าคลื่นตกกระทบ และเรียกคลื่นที่สะท้อนออกมาจากจุดตรึงว่าคลื่นสะท้อน ถ้าทำให้เกิดขบวนของคลื่นตกกระทบอย่างต่อเนื่อง ก็จะมีขบวนของคลื่นสะท้อนอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ซึ่งคลื่นที่ตกกระทบจะรวมกันหรือเกิดการซ้อนทับกัน (superposition)กับคลื่นที่สะท้อนออกมา และถ้าจัดความยาวและความตึงของเชือกให้เหมาะสม คลื่นทั้งสองขบวนจะรวมกันในลักษณะพิเศษคือ มองเห็นเชือกเป็นรูปแบบของการแทรกสอดที่นิ่งหรืออยู่กับที่ โดยจะเห็นเชือกสั่นเป็นส่วนๆ ในลักษณะเป็นวงปิดหรือลูฟ (loop) โดยวงปิดหรือลูฟที่เกิดขึ้นมีได้หลายรูปแบบ เช่นที่แสดงดังรูป 1



รูป 1 แสดงเส้นเชือกตึงที่ถูกตรึงปลายทั้งสองข้างและตัวอย่างวงปิดที่สามารถเกิดขึ้นได้

จากรูป 1 พบว่า มีตำแหน่งที่เชือกไม่สั่นและมีตำแหน่งที่เชือกสั่นมากที่สุด เรียกรูปแบบของการสั่นที่ไม่ได้เคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือทางขวาและมีตำแหน่งบางตำแหน่งที่อยู่นิ่งหรืออยู่กับที่นี้ว่าคลื่นนิ่ง(standing waves หรือ stationary waves) เรียกตำแหน่งที่เชือกไม่สั่นว่าบัพ(node) เรียกตำแหน่งที่เชือกสั่นมากที่สุดว่าปฏิบัพ(antinode) จากรูป 1 พบว่าระยะห่างระหว่างบัพที่อยู่ต่อเนื่องกันหรือระยะห่างระหว่างปฏิบัพที่อยู่ต่อเนื่องกันจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น พบว่าตำแหน่งที่เชือกถูกตรึงจะเป็นตำแหน่งของบัพเสมอ และตรงกลางระหว่างบัพจะเป็นปฏิบัพเสมอ การเกิดคลื่นนิ่งในลักษณะนี้มีสาเหตุมาจากเกิดการสั่นพ้องของเส้นเชือก ซึ่งความถี่ของคลื่นนิ่งที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องในเส้นเชือกมีได้หลายค่า เรียกความถี่เหล่านี้ว่า ความถี่สั่นพ้อง (resonant frequencies)

การวิเคราะห์เพื่อหาสมการฟังก์ชันคลื่นของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น จะสมมติให้มีคลื่นรูปไซน์สองขบวนที่มีแอมพลิจูด(A) ความถี่(f) และความยาวคลื่น(λ)เท่ากัน เคลื่อนที่สวนทางกันบนเส้นเชือก โดยจากที่ศึกษามาแล้วทราบว่าสมการฟังก์ชันคลื่นของคลื่นรูปไซน์ที่เคลื่อนที่ไปทางขวามีสมการเป็น $y_1 = A \sin (kx - \omega t)$ และสมการฟังก์ชันคลื่นของคลื่นรูปไซน์ที่เคลื่อนที่ไปทางซ้ายมีสมการเป็น $y_2 = A \sin (kx + \omega t)$

โดย k คือเลขคลื่น (wave number) และ $k = 2\pi/\lambda$

ω คือความถี่เชิงมุม (angular frequency) และ $\omega = 2\pi f$

เมื่อคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่มาสวนทางกันบนเส้นเชือกจะเกิดการรวมกันหรือซ้อนทับกันเกิดเป็นคลื่นลัพธ์ที่มีสมการเป็น

$$y = y_1 + y_2 = A \sin (kx - \omega t) + A \sin (kx + \omega t)$$

$$= A\{\sin (kx - \omega t) + \sin (kx + \omega t)\}$$

จากความรู้ในวิชาตรีโกณมิติทราบว่า

$$\sin a + \sin b = 2 \sin \left(\frac{a+b}{2} \right) \cos \left(\frac{a-b}{2} \right)$$

ดังนั้น $\sin (kx - \omega t) + \sin (kx + \omega t) = 2 \sin \left(\frac{kx - \omega t + kx + \omega t}{2} \right) \cos \left(\frac{kx - \omega t - kx - \omega t}{2} \right)$

$$= 2 \sin kx \cos (- \omega t)$$

$$= 2 \sin kx \cos \omega t$$

ดังนั้น $$y = 2A \sin kx \cos \omega t \qquad (1)$$

ฟังก์ชันคลื่นในสมการ(1)มีรูปแบบต่างไปจากฟังก์ชันคลื่นเคลื่อนที่ก่อนที่จะมาซ้อนทับกัน และไม่ได้ประกอบไปด้วยฟังก์ชันของ $kx \pm \omega t$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันคลื่นของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ แต่ x และ t แยกกันอยู่คนละเทอม ดังนั้นสมการ(1)ไม่ได้บอกถึงคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ แต่เป็นสมการของคลื่นนิ่งที่มีความถี่เชิงมุมเป็น ω และแต่ละจุดของตัวกลางจะเคลื่อนที่เป็นฮาร์มอนิกอย่างง่าย แต่ทุกอนุภาคไม่ได้มีแอมพลิจูดเท่ากันเสมอเหมือนในกรณีคลื่นที่เคลื่อนที่ แต่แอมพลิจูดจะขึ้นกับตำแหน่ง x โดยแอมพลิจูดที่ตำแหน่ง x หาค่าได้จาก 2A sin kx ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งปฏิบัพ และณ ตำแหน่งปฏิบัพนี้ sin kx มีค่ามากที่สุดเท่ากับ ± 1 นั่นคือแอมพลิจูดสูงสุดของคลื่นนิ่งเท่ากับ 2A ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$kx = \frac{1\pi}{2} , \frac{3\pi}{2} , \frac{5\pi}{2} , \ldots$$

จากการที่ทราบว่า $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

ดังนั้นตำแหน่ง x ของปฏิบัพหาได้จาก

$$x = \frac{1\lambda}{4} , \frac{3\lambda}{4} , \frac{5\lambda}{4} , \ldots = \frac{n\lambda}{4} \qquad (2)$$

เมื่อ n = 1 , 3 , 5 , 7 ,...

จะสังเกตพบว่าจุดปฏิบัพของคลื่นนิ่งที่อยู่ถัดกันจะห่างกันเท่ากับ $\lambda / 2$

สำหรับตำแหน่ง x ที่ทำให้ค่าแอมพลิจูดของคลื่นนิ่ง 2A sin kx มีค่าเป็น 0 เรียกตำแหน่งนี้ว่าบัพ จะเกิดขึ้นเมื่อ sin kx = 0 นั่นคือเกิดขึ้นเมื่อ

$$kx = 0 , \pi , 2\pi , 3\pi , \ldots$$

จากการที่ทราบว่า $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

ดังนั้นตำแหน่ง x ของบัพหาได้จาก

$$x = 0, \frac{1\lambda}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \ldots = \frac{n\lambda}{2} \qquad (3)$$

เมื่อ n = 0 , 1 , 2 , 3 ,...

และพบว่าบัพของคลื่นนิ่งที่อยู่ถัดกันจะห่างกันเท่ากับ $\lambda / 2$

จากสมการ (1) ถ้าจัดรูปเสียใหม่จะได้เป็น

$$y = (2A \cos \omega t) \sin kx \qquad (4)$$

สมการนี้แสดงรูปร่างของคลื่น ณ เวลา t ใดๆ โดยแอมพลิจูดจะมากหรือน้อยขึ้นกับ $\cos \omega t$ นั่นคือพบว่าที่เวลาต่างกันคลื่นนิ่งจะมีแอมพลิจูดต่างกัน ดังนั้นขณะเกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกและคลื่นมีความถี่สูงจะมองเห็นเส้นเชือกในแต่ละวงปิดหรือแต่ละลูฟมีลักษณะสั่นพร่า

จากรูป 1 พบว่ารูปแบบการสั่นของเส้นเชือกขณะเกิดคลื่นนิ่งมีได้หลายรูปแบบ เรียกรูปแบบการสั่นเหล่านี้ว่า โมดปกติ(normal mode)ของการสั่น โมดปกติรูปแบบแรกมีลักษณะดังรูป 1(ข) คือมีลักษณะเป็น 1 วงปิด หรือ 1 ลูฟ ปลายเชือกทั้งสองที่ถูกตรึงเป็นตำแหน่งบัพของคลื่นนิ่ง ตรงกลางระหว่างบัพเป็นปฏิบัพ จากรูปพบว่าความยาวของเชือกจะเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($\lambda_1 / 2$) นั่นคือ

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \qquad \text{หรือ} \qquad \lambda_1 = 2L$$

โมดปกติรูปแบบที่ 2 มีลักษณะดังรูป12(ค) คือมีลักษณะเป็น 2 วงปิด หรือ 2 ลูฟ และพบว่า

$$L = \frac{2\lambda_2}{2} = \lambda_2 \qquad \text{หรือ} \qquad \lambda_2 = L$$

โมดปกติรูปแบบที่ 3 มีลักษณะดังรูป12(ง) คือมีลักษณะเป็น 3 วงปิด หรือ 3 ลูฟ และพบว่า

$$L = \frac{3\lambda_3}{2} \qquad \text{หรือ} \qquad \lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

สรุปได้ว่าความยาวคลื่นของคลื่นนิ่งสำหรับโมดปกติที่ n วงปิดใดๆ หาได้จาก

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (5)$$

เมื่อ n คือจำนวนวงปิด หรือจำนวนลูฟ หรือเลขอันดับของโมดการสั่น

จากที่ทราบว่าอัตราเร็วของคลื่น(v) ความถี่ของคลื่น(f) และความยาวคลื่น(λ) สัมพันธ์กันตามสมการ

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

ดังนั้นความถี่สั่นพ้องของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่สัมพันธ์กับจำนวนวงปิดหรือจำนวนลูฟที่เกิด

บนเส้นเชือกหาได้จาก

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L} \quad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (6)$$

แต่อัตราเร็วของคลื่น(v) ความตึงในเส้นเชือก (T) และความหนาแน่นมวลเชิงเส้น (μ) ของเส้นเชือกสัมพันธ์กันตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \qquad (7)$$

ดังนั้นถ้าแทนสมการ(7) ลงในสมการ (6) จะได้

$$f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} = (\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}})n \quad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (8)$$

ถ้า n = 1 $f_n = f_1 = (\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}})$ (9)

และพบว่า $f_n = nf_1$ เมื่อ n = 1,2,3,… (10)

จากสมการ(9) พบว่าความถี่สั่นพ้องต่ำสุด (f_1) ของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือก คือความถี่ที่เส้นเชือกสั่นเป็น 1 วงปิด นั่นคือ n = 1 ความถี่สั่นพ้องต่ำสุดตามสมการ (9) เรียกว่า ความถี่หลักมูล (fundamental frequency) หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ฮาร์มอนิกที่1(first harmonic) ดังนั้นในกรณีที่ n = 2 , n = 3 และต่อๆ ไปตามลำดับ จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกที่2 ฮาร์มอนิกที่3 และต่อๆ ไปตามลำดับ เรียกชุดโมดการสั่นของเส้นเชือกซึ่งขึ้นกับความถี่ที่ทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกว่า อนุกรมฮาร์มอนิก(harmonic series) เรียกค่า n ว่าเลขฮาร์มอนิก(harmonic number) ความถี่ที่เส้นเชือกสั่นเป็น 2 วงปิด นั่นคือ n = 2 นอกจากจะเรียกว่าฮาร์มอนิกที่2 แล้วยังสามารถเรียกได้ว่าโอเวอร์โทนที่1(first overtone)ได้ด้วย สำหรับความถี่เมื่อ n = 3 สามารถเรียกได้ว่าโอเวอร์โทนที่2(second overtone)หรือฮาร์มอนิกที่3 และในทำนองเดียวกันสำหรับ n=4,5,6...จะได้โอเวอร์โทนหรือฮาร์มอนิกที่สูงขึ้นไปตามลำดับ

จากสมการ(8)ถ้ากำหนดให้ความยาวเชือก(L)และความตึงในเส้นเชือก(T)คงที่ เมื่อเขียนกราฟระหว่างความถี่ f_n และจำนวนวงปิด n กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $f_1 = (\frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}})$ ซึ่งจากค่าความชันจะสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นได้

ถ้ายกกำลังสองสมการ(8)แล้วจัดรูปเสียใหม่จะได้

$$\frac{1}{T} = (\frac{1}{4\mu L^2 f_n^2})n^2 \quad \text{เมื่อ} \quad n = 1,2,3,\ldots \qquad (11)$$

จากสมการ(11)ถ้ากำหนดให้ความยาวเชือก(L)และความถี่เชือก(f) คงที่ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง 1 / T และ n^2 กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1 / 4 \mu L^2 f_n^2$ ซึ่งจากค่าความชันจะสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นได้

อุปกรณ์

1.ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

2. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ลงโปรแกรม Virtins MultiInstrument แล้ว

4. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดระบบดิจิตอล

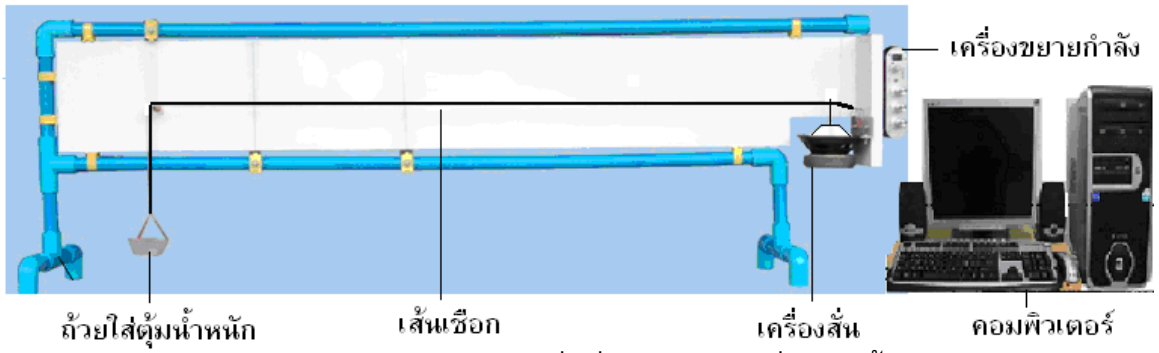
5. ถ้วยใส่ตุ้มน้ำหนักพร้อมที่แขวน

6. ตุ้มน้ำหนักขนาดต่างๆ

วิธีทำการทดลอง

1. หาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือก(μ)จากการวัดโดยตรง โดยนำเชือกที่มีความยาวพอสมควรเช่นยาว 10 m ไปทำการชั่งกับเครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดระบบดิจิตอล จากนั้นนำค่าที่ชั่งได้ไปบันทึกในตาราง 3 พร้อมทั้งคำนวณค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นโดยใช้สมการ $\mu = m/\ell$ แล้วบันทึกค่าในตาราง 3

2. ตัดเชือกมา 1.30 m นำปลายหนึ่งไปร้อยผ่านรูของแผ่นพลาสติกซึ่งทำเป็นแกนสั่นและติดอยู่กับลำโพง จากนั้นนำปลายนี้ไปผูกกับตะขอสำหรับผูกเชือกซึ่งอยู่ใกล้ลำโพงดังรูป 2 ปลายเชือกด้านที่เหลือไปคล้องผ่านรอกแล้วผูกเข้ากับที่แขวนของถ้วยใส่ตุ้มน้ำหนัก เลื่อนตำแหน่งของรอกเพื่อให้ได้ความยาวของเชือกที่จะเกิดคลื่นนิ่งตามต้องการ ซึ่งในการทดลองนี้แนะนำให้ใช้ความยาวของเชือกที่จะเกิดคลื่นนิ่ง (L)= 1.20 m ดังรูป 2 นำ L= 1.20 m ไปบันทึกในตาราง 1 และ 2



รูป 2 การจัดชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

3. แบ่งการทดลองเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 เปลี่ยนค่าความตึงเชือกแต่ความถี่และความยาวเชือกคงที่

ตอนที่ 2 เปลี่ยนค่าความถี่แต่ความตึงเชือกและความยาวเชือกคงที่

ตอนที่ 3 หาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก

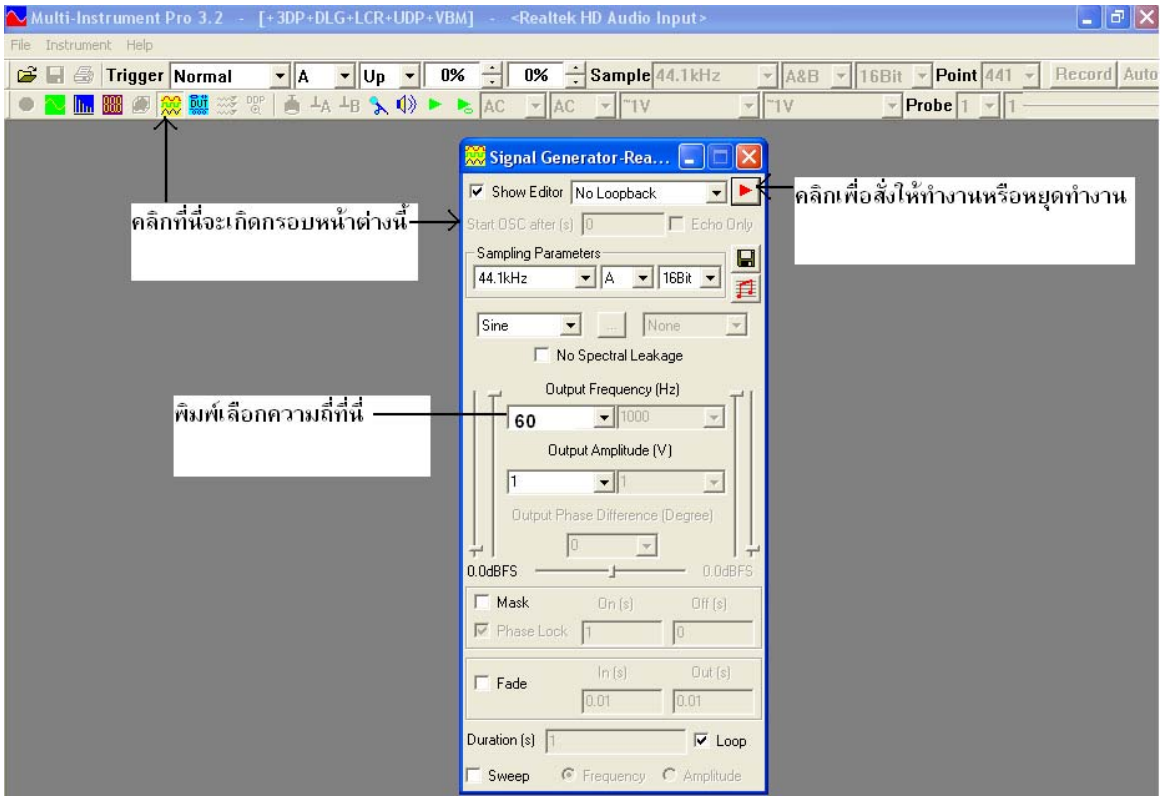
การทดลองตอนที่ 1 เปลี่ยนค่าความตึงเชือกแต่ความถี่และความยาวเชือกคงที่

1. จัดเครื่องมือทดลองดังรูป 2

2. เปิดเครื่องขยายกำลัง ปรับปุ่ม BASS ให้มีความแรงของการสั่นปานกลาง

3. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเข้าสู่หน้าจอเครื่องกำเนิดความถี่ (Signal Generator) โดยดับเบิลคลิกที่ไอคอนรูป บน Desktop ของคอมพิวเตอร์ จะมีกรอบหน้าต่าง Multi-Instrument เกิดขึ้นมาดังรูป 3 จากนั้นคลิกเลือกอุปกรณ์เครื่องกำเนิดความถี่ ขณะนี้คอมพิวเตอร์พร้อมจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดความถี่

4. นำตัวชี้เมาส์ไปคลิกที่ช่องเลือกความถี่ พิมพ์เลือกความถี่ที่ 60 Hz



รูป 3 หน้าจอคอมพิวเตอร์ที่แสดงเป็นเครื่องกำเนิดความถี่ (Signal Generator)

5. นำตุ้มน้ำหนักใส่ลงในถ้วยสำหรับใส่ตุ้มน้ำหนัก เริ่มจากตุ้มน้ำหนักที่เป็นน๊อต 1 ตัวจากนั้นค่อยๆ เพิ่มตุ้มน้ำหนักลงไปเรื่อยๆ จนเห็นเส้นเชือกสั่นเป็นคลื่นนิ่งวงปิด 6 วง นำค่ามวลที่ใส่เข้าไปรวมกับมวลของถ้วยที่ใส่ตุ้มน้ำหนักไปบันทึกในตาราง 1 ให้ตรงกับช่องจำนวนวงปิด 6 วง

6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 โดยเพิ่มตุ้มน้ำหนักขึ้นเรื่อยๆ จนเห็นคลื่นนิ่งวงปิด 5 วง 4 วง 3 วง 2 วง และ 1 วง แล้วบันทึกค่ามวลที่ใส่เข้าไปรวมกับมวลของถ้วยที่ใส่ตุ้มน้ำหนักเพื่อให้เกิดคลื่นนิ่งวงปิดตามที่ระบุข้างต้นในตาราง 1

7. หาค่า n^2 เมื่อ n คือจำนวนวงปิดซึ่งตามการทดลองนี้ n มีค่าเป็น 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แล้วบันทึกค่าลงในตาราง 1

การทดลองตอนที่ 2 เปลี่ยนค่าความถี่แต่ความตึงเชือกและความยาวเชือกคงที่

1. จัดเครื่องมือทดลองดังรูป 2

2. เปิดเครื่องขยายกำลัง ปรับปุ่ม BASS ให้มีความแรงของการสั่นปานกลาง

3. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเข้าสู่หน้าจอเครื่องกำเนิดความถี่ (Signal Generator) โดยดับเบิลคลิกที่ไอคอนรูป บน Desktop ของคอมพิวเตอร์ จะมีกรอบหน้าต่าง Multi-Instrument เกิดขึ้นมาดังรูป 3 จากนั้นคลิกเลือกอุปกรณ์เครื่องกำเนิดความถี่ ขณะนี้คอมพิวเตอร์พร้อมจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดความถี่

4. นำตุ้มน้ำหนักใส่ลงในถ้วยสำหรับใส่ตุ้มน้ำหนักโดยดูค่าตุ้มน้ำหนักจากตาราง 1 ตรงช่องจำนวนวงปิด 3 วงปิดซึ่งค่าน้ำหนักนี้จะใช้คงที่ตลอดการทดลองตอนที่ 2

5. นำตัวชี้เมาส์ไปคลิกที่ช่องเลือกความถี่ ปรับเลือกความถี่จาก 1 Hz แล้วเพิ่มค่าความถี่ขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดคลื่นนิ่งวงปิด 1 วง จากนั้นนำค่าความถี่ที่ได้ไปบันทึกในตาราง 2

6. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 โดยเพิ่มค่าความถี่ขึ้นเรื่อยๆจนเกิดคลื่นนิ่งวงปิด 2 วง 3 วง 4 วง 5 วง และ 6 วง จากนั้นนำค่าความถี่ที่ได้ไปบันทึกในตาราง 2

การทดลองตอนที่ 3 หาค่าอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก

ทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่สั่นแบบฮาร์มอนิกที่ 2 (เห็นเป็น 2 วงปิด) บันทึกค่าความยาวคลื่น ความถี่ของการสั่น และความตึงเชือกลงในตาราง 4 จากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้ไคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก

ตาราง 1 ข้อมูลการทดลองตอนที่ 1 เปลี่ยนค่าความตึงเชือก

ความยาวเชือก (L) คงที่ = ...

ความถี่ในการสั่นของเชือกคงที่ = ...

จำนวนวงปิด(n)	มวล (kg)	ความตึงเชือก(T)	1 / T	n^2
1	2.67×10^{-1}	2.622	0.40	1
2	6.74×10^{-2}	6.612×10^{-1}	1.51	4
3	2.94×10^{-2}	2.873×10^{-1}	3.50	9
4	1.69×10^{-2}	1.656×10^{-1}	6.04	16
5	1.08×10^{-2}	1.062×10^{-1}	9.40	25
6	7.41×10^{-3}	7.268×10^{-2}	13.76	36

ตาราง 2 ข้อมูลการทดลองตอนที่ 2 เปลี่ยนค่าความถี่ในการสั่นของเชือก

ความยาวเชือก (L) คงที่ = ……..…m

ความตึงของเชือกคงที่ = ...N

จำนวนวงปิด (n)	ความถี่ (Hz)
1	.....
2	.....
3	.....
4	.....
5	.....
6	.....

ตาราง 3 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น

ความยาวของเชือกทั้งเส้น (ℓ) = 10 m

มวลของเชือกทั้งเส้น (m)ที่ยาว 10 m = ... kg

วิธีการหาค่า μ	ค่าของ μ	% ความแตกต่าง
จากการวัดโดยตรง	.....	
จากวิธีในการทดลองตอนที่ 1	.....	.....
จากวิธีในการทดลองตอนที่ 2	.....	.....

ตาราง 4 ข้อมูลสำหรับหาอัตราเร็วคลื่นบนเส้นเชือก

ความยาวคลื่น (λ) = ……..

ความถี่ (f) = ……..

ความตึงเชือก(T) = ……..

ความหนาแน่นมวลเชิงเส้น($\mu = m/\ell$) = ……..

อัตราเร็วคลื่น(จาก $v = \sqrt{T/\mu}$) = ……..

อัตราเร็วคลื่น(จาก $v = \lambda f$) = ……..

การคำนวณและวิเคราะห์ผล

ตอนที่ 1

1) เขียนกราฟระหว่าง(1 / T) บนแกน y กับ n^2 บนแกน x แล้วหาค่าความชันของกราฟเส้นตรงที่ได้

2) นำค่าความชันไปหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ) โดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการ (11) แล้วบันทึกผลลงในตาราง 3 หาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง แล้วบันทึกลงในตาราง 3

ตอนที่ 2

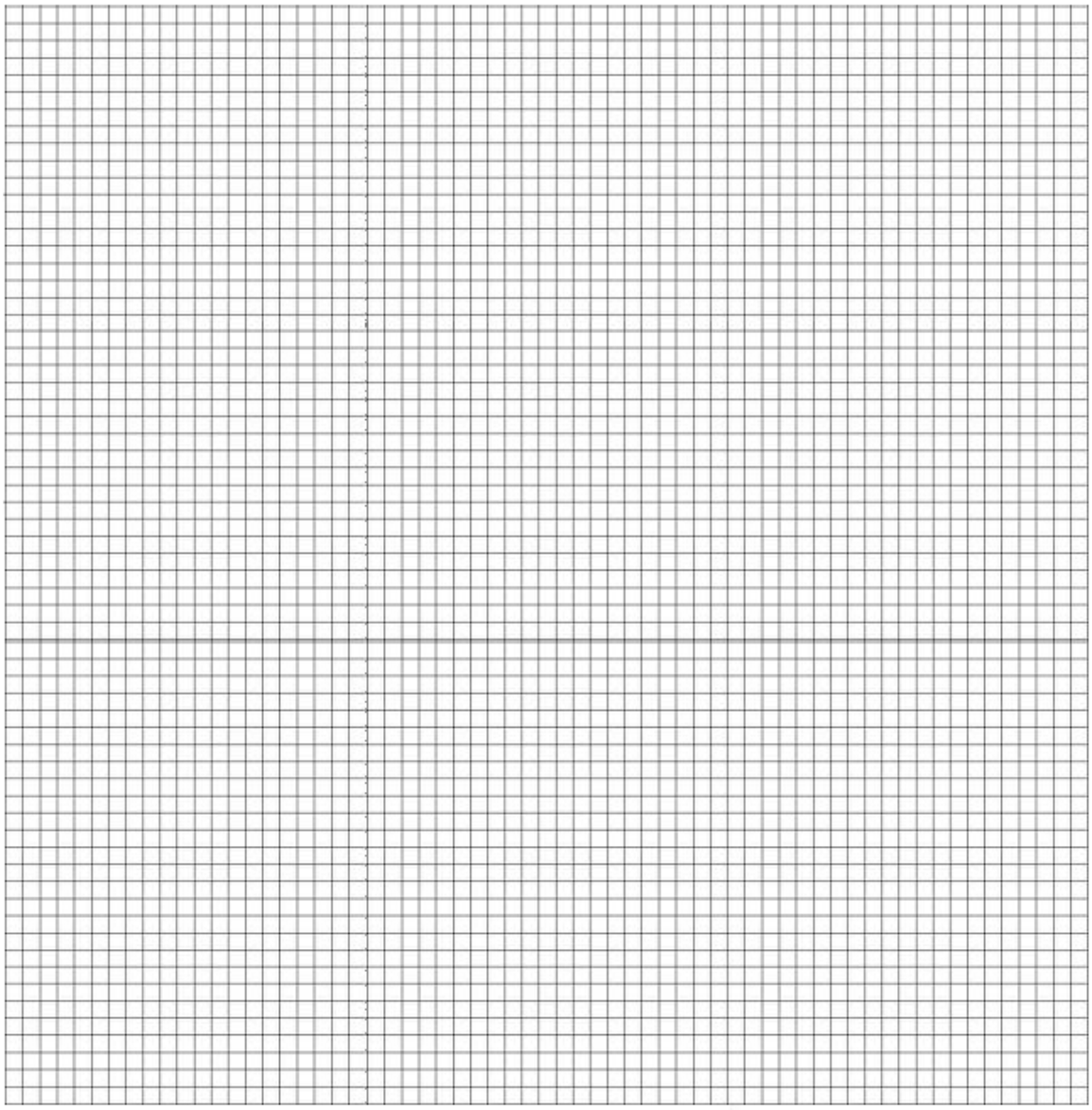
1) เขียนกราฟระหว่างความถี่ในการสั่นของเส้นเชือก(f) บนแกน y กับจำนวนวงปิด(n) บนแกน x แล้วหาค่าความชันของกราฟเส้นตรงที่ได้

2) นำค่าความชันไปหาค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ) โดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการ (8) แล้วบันทึกผลลงในตาราง 3 หาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการวัดโดยตรง แล้วบันทึกลงในตาราง 3

ตอนที่ 3

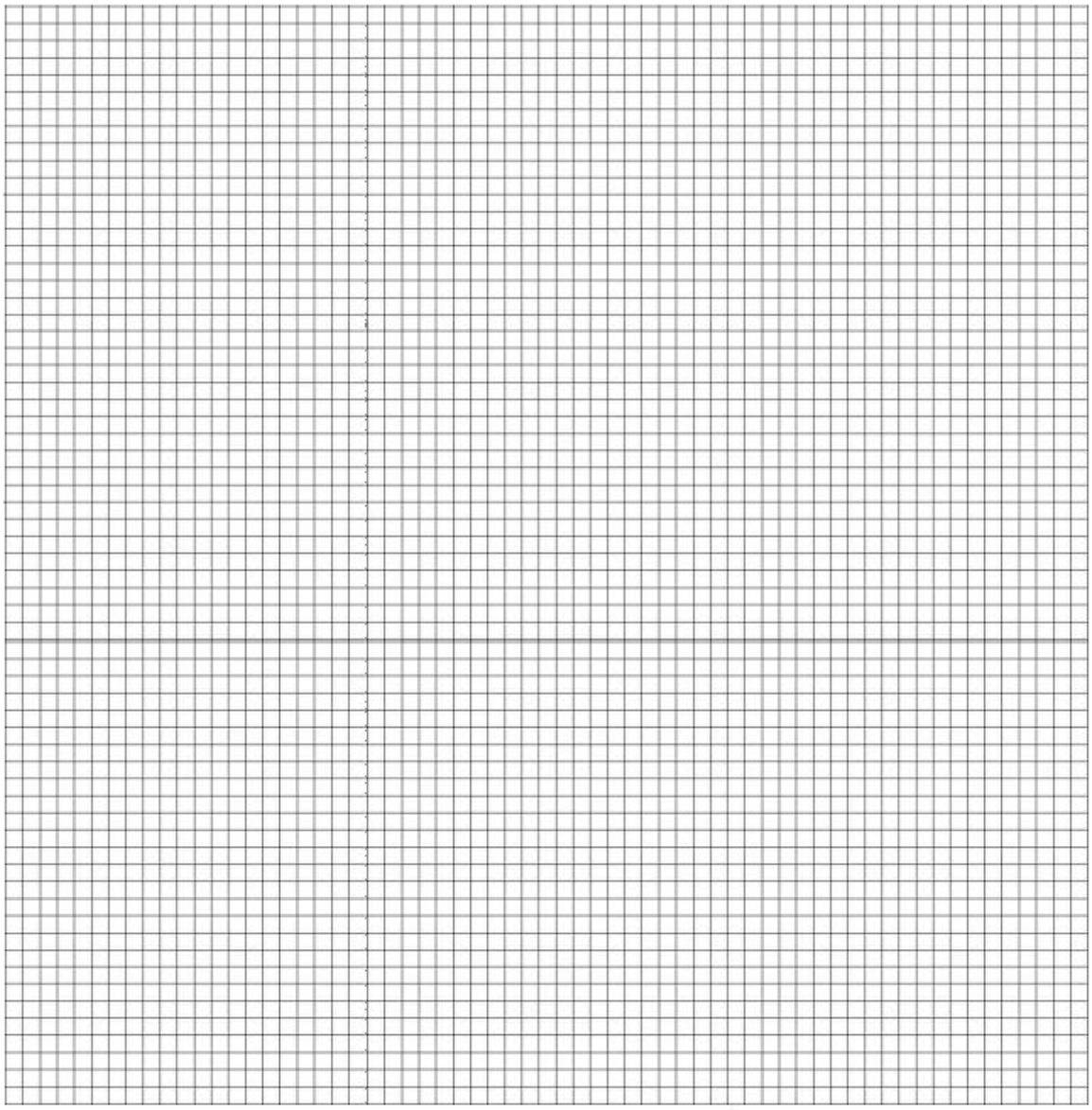
1) จากค่าความตึงเชือก (T) และค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้น(μ)ที่ได้จากการวัดโดยตรง คำนวณหาค่าอัตราเร็วคลื่นโดยใช้ความสัมพันธ์ $v = \sqrt{T/\mu}$ แล้วบันทึกผลในตาราง 4

2) จากค่าความยาวคลื่น(λ) และความถี่ในการสั่นของเส้นเชือก(f) คำนวณหาค่าอัตราเร็วคลื่นโดยใช้ความสัมพันธ์ $v = \lambda f$ แล้วบันทึกผลในตาราง 4



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของความตึงเชือก (1 / T) กับ n^2

ความชันของกราฟ = ...



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความความถี่ f_n กับ จำนวนวงปิดของคลื่นนิ่ง n

ความชันของกราฟ = ……..

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ฉ

แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

แบบประเมินชุดนี้เป็นแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ เกี่ยวกับคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

คำชี้แจง แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาฟิสิกส์ ประกอบด้วยคำถาม 4 ข้อ

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์เกี่ยวกับคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นจำนวน 24 ข้อ แบ่งเป็น

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป	4 ข้อ
2. ลักษณะการใช้งาน	5 ข้อ
3. การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม	7 ข้อ
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน	8 ข้อ

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์

ตอนที่ 1 วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน

แบบประเมินชุดนี้สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ เกี่ยวกับคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

แบบประเมินชุดนี้แบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป
2. ลักษณะการใช้งาน
3. การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม
4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะภาพของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์

กรุณาเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในกรอบ □ หน้าข้อความที่ตรงกับความเป็นจริง และเติมข้อความลงในช่องว่าง

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. ระดับการศึกษา
   - □ ปริญญาตรี
   - □ ปริญญาโท
   - □ ปริญญาเอก
   - □ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....
3. ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านฟิสิกส์ .....ปี
4. ตำแหน่งงานในปัจจุบัน

   ตำแหน่ง.....

   .....

   .....

   สังกัด .....

   .....

   .....

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์เกี่ยวกับคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น

ข้อแนะนำในการตอบแบบประเมิน

1. แบบประเมินในตอนที่ 3 มีทั้งหมด 24 ข้อ
2. โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ตามความคิดเห็นของท่านหลังจากทดสอบออสซิลโลสโคปที่พัฒนาขึ้น
3. ค่าระดับคะแนนกำหนดไว้ดังนี้

ผลการประเมินในระดับดีมาก	หมายถึง	4
ผลการประเมินในระดับดี	หมายถึง	3
ผลการประเมินในระดับพอใช้	หมายถึง	2
ผลการประเมินในระดับต้องปรับปรุง	หมายถึง	1
ผลการประเมินในระดับใช้ไม่ได้	หมายถึง	0

ตารางแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้น
โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
1.ลักษณะทางกายภาพทั่วไป					
1.1 มีความแข็งแรงทนทาน	.....	.....	.....	.....	.....
1.2 การออกแบบชิ้นส่วนเหมาะสม สามารถสร้างได้ง่าย	.....	.....	.....	.....	.....
1.3 การออกแบบเหมาะสมมีขนาดพอเหมาะ	.....	.....	.....	.....	.....
1.4 การติดตั้งอุปกรณ์มีความมั่นคง	.....	.....	.....	.....	.....
2.ลักษณะการใช้งาน					
2.1 การเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติการทดลองทำได้สะดวก	.....	.....	.....	.....	.....
2.2 มีประสิทธิภาพในการทดลอง ค่าต่างๆ ที่ต้องการวัดสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ทำให้อ่านค่าได้ง่าย ผลการวัดมีความถูกต้องเชื่อถือได้	.....	.....	.....	.....	.....
2.3 ปลอดภัยในขณะปฏิบัติการทดลอง	.....	.....	.....	.....	.....
2.4 มีความคล่องตัวในการใช้และปฏิบัติการทดลอง ไม่เกะกะ	.....	.....	.....	.....	.....
2.5 เคลื่อนย้ายได้สะดวก	.....	.....	.....	.....	.....

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
3.การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและ การซ่อมแซม					
3.1 การจัดสร้างเครื่องมือทำได้ง่าย สามารถกระทำได้โดยอาจารย์และบุคลากรที่มีอยู่ในสถานศึกษา	.....	.....	.....	.....	.....
3.2 การติดตั้งโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก	.....	.....	.....	.....	.....
3.3 การบำรุงรักษาทำได้ง่าย	.....	.....	.....	.....	.....
3.4 สะดวกในการใช้และเก็บรักษา	.....	.....	.....	.....	.....
3.5 การจัดหาอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมทำได้สะดวก	.....	.....	.....	.....	.....
3.6 วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำมีราคาถูกหาซื้อได้ง่าย	.....	.....	.....	.....	.....
3.7 การซ่อมแซมในแต่ละส่วนทำได้สะดวก ไม่ทำให้อุปกรณ์ส่วนอื่นๆ เสียหาย	.....	.....	.....	.....	.....
4.ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน					
4.1 การกำหนดและเปลี่ยนค่าความถี่ทำได้ง่ายและมีความละเอียด	.....	.....	.....	.....	.....
4.2 ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาเป็นรูปธรรม	.....	.....	.....	.....	.....
4.3 ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่ายเป็นการให้ประสบการณ์ตรง	.....	.....	.....	.....	.....
4.4 ผู้เรียนมีโอกาสปฏิบัติและมีส่วนร่วม	.....	.....	.....	.....	.....
4.5 ผู้เรียนสามารถใช้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มได้	.....	.....	.....	.....	.....
4.6 ใช้เวลาในการทดลองน้อยและได้ผลการทดลองถูกต้องเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	.....	.....	.....	.....	.....

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง	ใช้ไม่ได้
4.7 กิจกรรมต่าง ๆ ในการทดลองมีส่วนเสริมความรู้ความสามารถและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	.....	.....	.....	.....	.....
4.8 คู่มือการติดตั้งโปรแกรมและคู่มือการใช้เครื่องมือและโปรแกรมให้รายละเอียดเหมาะสมและชัดเจน	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

อภิธานศัพท์

การสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์: การสอนที่ให้โอกาสผู้เรียนได้ลงมือกระทำการทดลอง ได้ปฏิบัติด้วยตนเอง มีโอกาสใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์โดยได้รับการแนะช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครู ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ เข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ข้อเท็จจริง กฎ หลักการและทฤษฎีได้ถูกต้อง และสามารถทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว หรือเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่

การสั่นพ้อง : เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำกับวัตถุในจังหวะ(ความถี่)ที่พอดีกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุนั้น ทำให้วัตถุนั้นมีการสั่นที่แรงที่สุด

คลื่นนิ่ง : คือการแทรกสอดของคลื่นต่อเนื่อง 2 ขบวนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ ซึ่งเคลื่อนที่เข้าหากันในตัวกลางเดียวกัน ทำให้เราเห็นมีบางตำแหน่งที่อยู่คงที่แน่นอน นั่นคือมีบางตำแหน่งไม่มีการสั่นเลย เรียกจุดนี้ว่าจุดบัพ (Node) และมีบางตำแหน่งที่สั่นได้มากที่สุด เรียกจุดนี้ว่าปฏิบัพ (Antinode) ซึ่งปฏิบัพจะอยู่ระหว่างบัพ

ความถี่ของคลื่น : (Frequency = f)หมายถึงจำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา (รอบต่อวินาที หรือ Hz)

ความถี่ธรรมชาติ : (Natural frequency)หมายถึง ความถี่ในการสั่นของวัตถุที่สั่นหรือแกว่งอย่างอิสระ เช่นการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา เมื่อเราดึงลูกตุ้มให้แนวเชือกเบนไปจากแนวดิ่งเล็กน้อยแล้วปล่อย ลูกตุ้มจะแกว่งหรือสั่นไปมาอย่างอิสระด้วยความถี่ธรรมชาติ ซึ่งไม่ขึ้นกับขนาดของลูกตุ้ม แต่จะขึ้นกับความยาวเชือก และอัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง หรือเช่นเอาไม้ตีระฆัง 1 ครั้ง ระฆังจะสั่น จำนวนครั้งของการสั่นของระฆังนี้ในเวลา 1 วินาที คือความถี่ธรรมชาติของระฆังใบนั้น

ความยาวคลื่น : เป็นความกว้างของคลื่น 1 ลูกซึ่งคือระยะห่างของตำแหน่งบนคลื่นที่มีลักษณะเดียวกันที่ติดต่อกัน เช่น ระยะจากสันคลื่นลูกหนึ่งถึงสันคลื่นลูกถัดไป

คอมพิวเตอร์ : คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จัดการข้อมูลโดยใช้ชุดคำสั่งที่เรียกว่า ซอฟต์แวร์ (Software) หรือ โปรแกรม (Program) เพื่อให้หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) ทำการประมวลผลข้อมูลด้านการคำนวณ การเปรียบเทียบด้านตรรกะ แล้วแสดงผลลัพธ์ ทำให้สามารถนำคอมพิวเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง

คาบ : (Period) เป็นเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ หรือเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ 1 ความยาวคลื่น

เครื่องกำเนิดความถี่เสียง : (Audio generator) คือเครื่องกำเนิดหรือสร้างสัญญาณความถี่โดยเน้นความถี่ในช่วงความถี่เสียงที่ใช้อยู่หรือกำหนดความถี่อื่นๆ ได้มากมาย

เครื่องกำเนิดสัญญาณ : (Signal generator) เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการทดสอบหรือตรวจสอบวงจรว่าทำงานตามที่ต้องการได้หรือไม่ โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณ

ต่างๆ ในวงจรที่จะทดสอบ เช่น สัญญาณรูปคลื่นซายน์ (Sine wave) สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Trianggular wave) นอกจากนี้ยังสามารถปรับความถี่ตามความต้องการได้

เครื่องขยายกำลัง (power amplifier) หมายถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าต่างๆ มาขยายสัญญาณไฟฟ้าจนมีกำลังมากพอจึงส่งออกสู่ลำโพงเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง

ช่วงกว้างของคลื่น : (Amplitude) หมายถึงระยะจากสันคลื่น หรือระยะจากท้องคลื่นถึงแนวสมดุล(การกระจัดที่มีค่ามากที่สุด)

แชร์แวร์ : (Shareware) เป็นซอฟต์แวร์ที่ให้ผู้ใช้ได้ทดลองใช้ก่อนได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย แต่ซอฟต์แวร์ประเภทนี้มักมีข้อจำกัดบางอย่างในการให้ทดลองใช้ เช่น มีการจำกัดเวลาในการให้ทดลองใช้ เช่น 15 วัน หรือ 30 วัน เป็นต้น หรือจำกัดโดยตัดคุณสมบัติบางประการออกไป ถ้าผู้ใช้อยากใช้แบบที่มีคุณสมบัติครบถ้วนก็ต้องซื้อจากผู้ผลิตโปรแกรม

ซอฟต์แวร์ : คือโปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่มนุษย์เขียนขึ้น เพื่อสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานต่างๆ ตามที่ต้องการ โดยชุดคำสั่งหรือโปรแกรมจะเขียนขึ้นมาจากภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาใดภาษาหนึ่งซอฟต์แวร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือซอฟต์แวร์ระบบ (System software) และซอฟต์แวร์ประยุกต์ (Application software)

ฟรีแวร์ : (Freeware) เป็นซอฟต์แวร์ที่ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้เป็นการส่วนตัว หรือนำไปใช้เพื่อการศึกษาได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ แต่ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า

ไฟฟ้ากระแสตรง : เป็นกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไปในตัวนำในทิศทางที่กำหนดในทิศทางเดียว มีขั้วของแหล่งจ่ายไฟที่แน่นอน เช่นกระแสไฟฟ้าจากถ่านไฟฉาย หรือแบตเตอรี่ เป็นต้น โดยขนาดของกระแสไฟฟ้าอาจเรียบสม่ำเสมอ หรืออาจไม่ราบเรียบมีการกระเพื่อมก็ได้

ยอดคลื่น : (หรือสันคลื่น) หมายถึงส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก

เว็บไซต์ : (Web Site) คือ คำที่ใช้เรียกกลุ่มของเว็บเพจ (ดังนั้นภายในเว็บไซต์จะประกอบไปด้วยโฮมเพจและเว็บเพจ) โดยมักใช้เรียกเว็บที่มีขนาดใหญ่และมีการจดทะเบียนชื่อเว็บไซต์นั้นๆไว้แล้ว (Domain Name) เช่น http://www.geocities.com เป็นต้น

สันคลื่น : (หรือยอดคลื่น) หมายถึงส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก

สิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์ : หมายถึง ชิ้นงานที่มนุษย์ทำขึ้นจากวัสดุอุปกรณ์ โดยใช้ความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานในการคิดออกแบบ ดัดแปลง ปรับปรุง ซ่อมแซมหรือสร้างขึ้นใหม่

อัตราเร็วคลื่น : หมายถึงระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา

อินเตอร์เน็ต : เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network) เครือข่ายคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปหมายถึง กลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน สามารถแลกเปลี่ยนแปลงข้อมูล และใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ดิสก์ เครื่องพิมพ์ ร่วมกันได้

อุปกรณ์ทดแทน : หมายถึงอุปกรณ์ที่ครูและนักเรียนร่วมกันสร้างขึ้นใช้เอง จากวัสดุเหลือใช้หรือวัสดุที่มีในท้องถิ่น เพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่ต้องซื้อจากร้านขายอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ อุปกรณ์ทดแทนหมายถึงอุปกรณ์ที่ครู นักเรียน หรือสมาชิกในชุมชนได้สร้างขึ้น หรือร่วมมือกันสร้างขึ้นโดยใช้วัสดุเหลือใช้ วัสดุที่ได้เปล่า วัสดุที่มีราคาถูกในท้องถิ่น เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน เป็นการทดแทนอุปกรณ์ที่ต้องซื้อจากร้านขายอุปกรณ์

ประวัติผู้ทำการวิจัย

1. ชื่อ นายทนง อัครธีรานนท์

   MR. THANONG AKKRATHEERANUN

2. รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ 00120226

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์
   มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 114 ถนนสุขุมวิท ซอยสุขุมวิท 23
   เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
   โทร. 02 - 6641000 ต่อ 5560

5. ประวัติการศึกษา
   กศ.บ.ฟิสิกส์ (เกียรตินิยม) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
   กศ.ม.ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

6. ประวัติการได้รับรางวัล
   6.1 ใบประกาศเกียรติคุณและเข็มเชิดชูเกียรติเป็นอาจารย์ผู้สอนดีเด่น ปี 2540
   6.2 เหรียญพิทักษ์เสรีชน

7. สาขาวิชาการที่ชำนาญพิเศษ การสร้างและพัฒนาอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

8. ประสบการณ์เกี่ยวกับการวิจัย
   8.1 การป้องกันนิวตรอน (ปี 2521)
   8.2 การผลิตแอลกอฮอล์จากการหมักกากวัตถุดิบจากพืชไร่ (ปี 2528)
   8.3 สัมฤทธิผลของนิสิตชั้นปีที่ 4 คณะศึกษาศาสตร์ องค์รักษ์
   มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ปี 2545)
   8.4 การพัฒนาสโตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอน
   ฟิสิกส์เรื่องคลื่น (ปี 2549)
   8.5 การพัฒนาออสซิลโลสโคปจากคอมพิวเตอร์ตกรุ่นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน
   อิเล็กทรอนิกส์และสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า (ปี 2552)