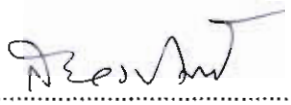
การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกลทางทฤษฎีและปฏิบัติการโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นร่วมกับการวิเคราะห์จากภาพวิดีโอโดยใช้โปรแกรม Tracker

อัยซะห์ วาเตะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ธันวาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ อัยซะห์ วาเตะ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



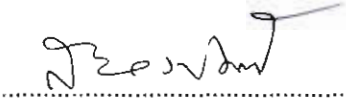
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ สำเภา จงจิตต์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

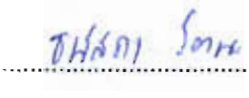
..... ประธาน

(ดร.วิเชียร ศิริพรม)



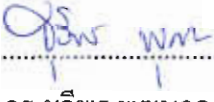
..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สำเภา จงจิตต์)



..... กรรมการ

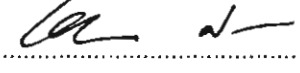
(ดร.ธนัสถา รัตนะ)



..... กรรมการ

(ดร.ชุลีพร พุฒนวล)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 30 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2558

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนการศึกษาระดับปริญญาโท
จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)
และสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.)
ประจำปีการศึกษา 2556-2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.สำเภา จงจิตต์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตรวจแก้ไข และวิจารณ์ผลงาน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการสอบปากเปล่า และคณะกรรมการสอบปากเปล่า ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้อง และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2558 ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการ และคณะครู โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดปัตตานี ซึ่งให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ และคำแนะนำในการทำงานวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีต และปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

อัยซะห์ วาเตะ

56920176 : สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)
คำสำคัญ : อัตราเร็วคลื่น/ ถาดคลื่น/ โปรแกรมแทรคเกอร์

อัยซะห์ วาเตะ : การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกลทางทฤษฎีและปฏิบัติการ โดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นร่วมกับการวิเคราะห์จากภาพวิดีโอโดยใช้โปรแกรม TRACKER (THE TEST OF RELATIONSHIP BETWEEN A MECHANICAL WAVE IN THEORY AND LABORATORY METHODS BY STUDYING A SURFACE WAVE IN THE RIPPLE TANK AND A VIDEO ANALYZING WITH TRACKER PROGRAM) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : สำเภา จงจิตต์, วท.ม. 65 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราเร็วคลื่นในชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น โดยศึกษาที่ระดับความลึก 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 cm โดยใช้สมการ $v = f\lambda$ เพื่อหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางทฤษฎีตามแบบเรียนของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์จากภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับโปรแกรม Tracker โดยวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมที่หย่อนลงไปในชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น สังเกตการเคลื่อนที่ซึ่งเคลื่อนที่ไปแบบเชิงเส้น วิเคราะห์ด้วยสมการเส้นตรง สามารถหาอัตราเร็วคลื่นได้จากความชันของกราฟ ทั้งสองวิธีสามารถหาอัตราเร็วคลื่นในชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นได้ จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการกำหนดระยะอ้างอิง และระยะห่างในการบันทึกภาพ

56920176 : MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)
KEYWORDS : WAVELENGTH / RIPPLE TANK / TRACKER

AISAH WATEH : THE TEST OF RELATIONSHIP BETWEEN A MECHANICAL WAVE IN THEORY AND LABORATORY METHODS BY STUDYING A SURFACE WAVE IN THE RIPPLE TANK AND A VIDEO ANALYZING WITH TRACKER PROGRAM.
ADVISORY COMMITTEE : SAMPHAO JONGJITTA, M.Sc. 65 P. 2015.

The aim of this research was to design the experiment which studied the relationship of wave velocity in ripple tank at the water level depths of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 cm. The equation $v = f\lambda$ was used to find the relationship between a mechanical wave followed by the student's book of the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST) and a laboratory mechanical wave. The data was analyzed from the video tape recorder together with Tracker program. The result was analyzed from the motion of the foam beads which dropped into the ripple tank and observed the dropped foam beads in linear motion with linear equation. The wave velocity was determined from the slope of graph. Both methods can be used to find the wave velocity in ripple tank. The result found the value of the experimental error was less than 5% and may caused from the reference distance setting and the recording distance.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…….…… จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…….……..... ฉ

สารบัญ……..… ช

สารบัญตาราง……..... ฌ

สารบัญภาพ…….. ญ

บทที่

1 บทนำ…… 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……. 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย…….. 1

ตัวแปรที่ศึกษา…… 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 2

ขอบเขตของการวิจัย..... 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….…… 3

คลื่นกล..... 3

ชุดทดลองถาดคลื่น..... 18

โปรแกรม Tracker..... 20

ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์……..…… 21

ทักษะทางวิทยาศาสตร์……..……. 23

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..…… 32

3 วิธีดำเนินการวิจัย.....…… 34

วิธีดำเนินการวิจัย..……..…… 32

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 35

วิธีการทดลอง……..... 36

4 ผลการทดลอง.....…….…… 40

การทดสอบหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางทฤษฎีโดยใช้ชุดทดลอง

คลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นตามแบบเรียนของ สสวท..... 40

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

การหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลของชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น
โดยใช้ภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับโปรแกรม Tracker..... 42

5 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง..... 46

อภิปรายและสรุปผลการทดลอง..... 46

ข้อเสนอแนะ..... 47

บรรณานุกรม 48

ภาคผนวก..... 51

ภาคผนวก ก..... 52

ภาคผนวก ข..... 58

ภาคผนวก ค..... 61

ประวัติย่อของผู้วิจัย..... 65

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4-1 การหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางทฤษฎี โดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น ตามแบบเรียนของ สสวท..... 41

4-2 อัตราเร็วคลื่นจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker โดยใช้เม็ดโฟมสีน้ำเงิน ขนาด 6 mm และอัตราเร็วจากการคำนวณทางทฤษฎี…..... 45

4-3 การศึกษาขนาดและสีของเม็ดโฟมที่เหมาะสมเพื่อหาความสัมพันธ์ของคลื่นกล ที่ระดับความลึก 1.5 cm ……..…..... 45

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 สาธิตการทดลองแสดงการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย…..... 3

2-2 การกระจัดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามีลักษณะแบบไซน์…..... 4

2-3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า……..... 5

2-4 คลื่นตามขวางในเส้นเชือกขึงตึง ที่เกิดจากปลายเชือกถูกสะบัดขึ้นลง..... 6

2-5 คลื่นตามยาวในลวดสปริงที่ถูกยึดที่เกิดจากปลายลวดถูกอัด..... 6

2-6 องค์ประกอบของคลื่น……..... 7

2-7 ความกว้างของคลื่นหนึ่งลูก ซึ่งเป็นระยะระหว่าง 2 จุดที่อยู่ถัดกัน..... 7

2-8 (ก) หน้าคลื่นเส้นตรงแล (ข) หน้าคลื่นวงกลม..... 8

2-9 (ก) รังสีของหน้าคลื่นเส้นตรง และ (ข) รังสีของหน้าคลื่นวงกลม..... 8

2-10 รังสีของหน้าคลื่นเส้นตรงตำแหน่งใด ๆ บนคลื่น..... 9

2-11 (ก) การสะท้อนหน้าคลื่นเส้นตรงและ (ข) การสะท้อนของหน้าคลื่นวงกลม..... 9

2-12 การสะท้อนของหน้าคลื่นที่เป็นเส้นตรง…..... 10

2-13 เปรียบเทียบแสดงการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก..... 10

2-14 การหักเหของคลื่นจากตัวกลาง 1 ไปยังตัวกลาง 2..... 11

2-15 คลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกไปสู่น้ำตื้น และ (ข) คลื่นเคลื่อนที่จากตื้นไปสู่น้ำลึก…… 12

2-16 การรวมกันแบบเสริม……..... 13

2-17 การรวมกันแบบหักล้าง……..... 13

2-18 การซ้อนทับของคลื่นผิวน้ำสองลูกที่เหมือนกันทุกประการ……..... 13

2-19 การรวมกันของคลื่นแบบหักล้างและแบบเสริม…..... 14

2-20 เส้นบัพและเส้นปฏิบัพที่เกิดจากการแทรกสอดของคลื่น…..... 15

2-21 การแทรกสอดของคลื่นเมื่อจุดที่พิจารณาอยู่ไกล ๆ …..... 15

2-22 (ก) การเลี้ยวเบนผ่านช่องปิดเดี่ยวและ (ข) การเลี้ยวเบนผ่านสิ่งกีดขวาง..... 16

2-23 คลื่นนิ่งในเส้นเชือก……..... 17

2-24 การเกิดคลื่นนิ่งแบบฮาร์มอนิกที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ…… 18

2-25 ลักษณะการเกิดคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น……..…. 18

2-26 ส่วนประกอบของถาดคลื่น……..... 19

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2-27 ส่วนประกอบของสโตรโบสโคป……..... 20

2-28โปรแกรม Tracker……..... 21

3-1 กระบวนการดำเนินการวิจัย……..... 34

3-2 ส่วนประกอบของถาดคลื่น……..... 35

3-3 การติดตั้งถาดคลื่น……..... 36

3-4 การหาความถี่ของคลื่นน้ำในถาดคลื่นจากสโตรโบสโคป..... 37

3-5 ตั้งกล้องในแนวมุมสูงสำหรับชุดทดลองถาดคลื่น……..... 38

3-6 การใช้โปรแกรม Tracker ในการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่น..... 39

3-7 การใช้ “data tool”ในโปรแกรม Tracker เพื่อหาค่าอัตราเร็วคลื่น……..... 39

4-1 ความยาวคลื่นบนฉากรับภาพ (ก) ระยะรับภาพที่ระยะ 15 cm (ข) ระยะรับภาพที่ ระยะ 20 cm และ(ค) ระยะรับภาพที่ระยะ 32 cm ตามลำดับ..... 40

4-2 การวัดความยาวคลื่นบนฉากรับภาพ…..……..… 41

4-3 การวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm..... 43

4-4 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm…….. 43

4-5 การวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 2 mm..... 44

4-6 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 2 mm…….. 44

ก-1 หน้าแรกของโปรแกรม Tracker……..…… 53

ก-2 Clip setting……..…… 53

ก-3 slide bar…..……..…… 54

ก-4 ตั้งค่าเฟรมที่ต้องการวิเคราะห์……..…… 54

ก-5 Calibrate ระยะในภาพกับระยะจริง..……..…….. 54

ก-6 กำหนดแกนอ้างอิง……..…… 55

ก-7 Tracker…..……..……..…… 55

ก-8 Autotracker……..…… 56

ก-9 หน้าต่างAutotracker……..……..…… 56

ก-10 เลือกวัตถุในวีดีโอที่ต้องการวิเคราะห์……...……..…… 56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ก-11 Accept เพื่อทำการ Tracker ต่อ……..……..……...… 57

ก-12 ผลการทดลองจากโปรแกรม Tracker ……..……..…. 57

ก-12 ผลการทดลองจากโปรแกรม Tracker ……..……..…. 57

ค-1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 0.5 cm.……... 62

ค-2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 1.0 cm ……... 62

ค-3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 1.5 cm.……... 63

ค-4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 2.0 cm ……... 63

ค-5 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 2.5 cm.……... 64

ค-6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 3.0 cm ……... 64

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในทุกระดับชั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการทดลองเพื่อประกอบการอธิบายในการเรียนการสอนนั้น ๆ การทดลองที่ดีจะเป็นสื่อกลางที่ก่อให้เกิดสถานการณ์ที่ทำให้ผู้เรียนได้รับรู้ และสามารถตอบสนองได้นำมาซึ่งความเข้าใจในปัญหาสามารถสังเกต และรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนของกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์นำไปสู่การสรุปความรู้ในสิ่งที่ตนเองได้เรียน

วิชาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องคลื่นกล เป็นเนื้อหาที่มีความสำคัญ และน่าสนใจ เนื้อหาในบทเรียนบางส่วนจะมีการทดลองบ้างแต่ไม่เจาะลึกลงรายละเอียดได้ครบถ้วน ทำให้ผู้เรียนท่องจำในบางเรื่องแต่เพียงอย่างเดียว ด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าได้มีการนำภาพวิดีโอจากโทรศัพท์มือถือร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอที่เรียกว่าโปรแกรม Tracker ช่วยทำให้การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอในการทดลองฟิสิกส์มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

จากปัญหาการเรียนดังกล่าวรวมทั้งเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบ และพัฒนาชุดทดลองเกี่ยวกับการเกิดคลื่นกลในถาดคลื่นโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ที่ได้จากการทดลองในห้องเรียนกับความรู้ทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กันเปรียบเทียบกับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอเมื่อนักเรียนมีส่วนร่วมในการทดลองในสภาพจริง และใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอมาช่วยในการทำการทดลอง ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ เรื่องคลื่นกลได้ดีขึ้น นอกจากนี้การทดลองยังช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการคิดทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker
2. เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ระหว่างการคำนวณทางทฤษฎีกับการใช้เทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น วิธีการทดลองหาความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ระหว่างการคำนวณทางทฤษฎีกับการใช้เทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

2. ตัวแปรตาม การหาอัตราเร็วคลื่นระหว่างการคำนวณทางทฤษฎีกับการใช้เทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

3. ตัวแปรตาม ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. วิธีการทดลองหาความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

2. ความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ระหว่างการคำนวณทางทฤษฎีกับการใช้เทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาวิธีการทดลองหาความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker เพื่อหาอัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำแล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ระหว่างการคำนวณทางทฤษฎี (ตามแบบเรียน สสวท.) กับการใช้เทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ศึกษาเรื่อง การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกลทางทฤษฎีและปฏิบัติการโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นร่วมกับการวิเคราะห์จากภาพวิดีโอโดยใช้โปรแกรม Tracker มีดังนี้

2.1 คลื่นกล

2.2 ชุดทดลองถาดคลื่น (Ripple Tank)

2.3 โปรแกรม Tracker

2.4 ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

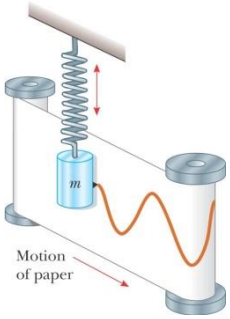
2.5 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่นกล

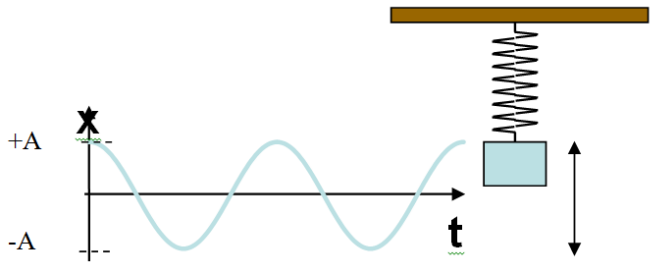
ในการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นกล (Mechanical Wave) ควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion; SHM) การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย หรือ SHM มีลักษณะดังนี้

การแกว่งเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาบนเส้นทางเดิมเรียกว่าการเคลื่อนที่ที่มีคาบ (Period) การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการเคลื่อนที่ที่ไม่คิดแรงเสียดทานใด ๆ



ภาพที่ 2-1 สาธิตการทดลองแสดงการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

จากภาพที่ 2-1 เป็นการสาธิตการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของมวลที่แขวนบนสปริงเมื่อปล่อยให้ลูกตุ้มมวล m ที่แขวนกับสปริงสั่นขึ้น-ลง เส้นทางของปากกาซึ่งติดอยู่กับลูกตุ้มเขียนไว้บนกระดาษที่เคลื่อนที่จะมีลักษณะแบบไซน์ (Sinusoidal) หรือกล่าวได้ว่าการกระจัด (Displacement) จะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลามีลักษณะแบบไซน์



ภาพที่ 2-2 การกระจัดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามีลักษณะแบบไซน์

ภาพที่ 2-2 แสดงการกระจัดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามีลักษณะแบบไซน์ของมวลที่แขวนบนสปริงที่เคลื่อนที่สั่นขึ้น-ลงการกระจัดมีค่าอยู่ระหว่าง –A กับ +A นั่นคือขนาดของแอมพลิจูด (Amplitude)เท่ากับ A และจุดสมดุล คือเมื่อ x = 0

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นการแกว่งใน 1 มิติ มีภาพสมการของการกระจัด (x) ที่ขึ้นกับเวลา (t) เรียกว่าสมการการเคลื่อนที่ (Equation of Motion) เขียนได้เป็น

$$x(t) = A\sin(\omega t + \phi) \qquad \text{..... (2.1)}$$

เมื่อ x เป็นระยะของการกระจัดของวัตถุจากจุดสมดุล (มีหน่วยเป็น m)

A เป็นแอมพลิจูดหรือระยะการกระจัดสูงสุด (มีหน่วยเป็นm)

ω เป็นความถี่เชิงมุม (Angular frequency) (มีหน่วยเป็น radian/s)

ϕ เป็นค่าคงที่เฟส (Phase constant) หรือมุมเฟส (Phase angle) (มีหน่วยเป็น radian)

ความเร็วของวัตถุหรือตัวแกว่ง สามารถหาได้จากอนุพันธ์ของ x เทียบกับเวลา t

$$v = \frac{dx}{dt} = A\cos(\omega t + \phi)\frac{d}{dt}(\omega t + \phi)$$

$$v(t) = \omega A\cos(\omega t + \phi) \qquad \text{..... (2.2)}$$

ความเร่งของวัตถุหรือตัวแกว่งสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของ v เทียบกับเวลา t

$$a = \frac{dv}{dt} = \omega A(-1)\sin(\omega t + \phi)(\omega)$$

$$a(t) = -\omega^2 A\sin(\omega t + \phi) \qquad \text{..... (2.3)}$$

หรือ

$$a = -\omega^2 x(t) \qquad \text{..... (2.4)}$$

เรียกสมการนี้ว่าสมการความเร่งของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าคลื่นเป็นการถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณรอบข้างโดยอาศัยสมบัติการสั่นหรือการแกว่งกวัดเป็นภาพแบบของการเคลื่อนที่ของพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีคาบ

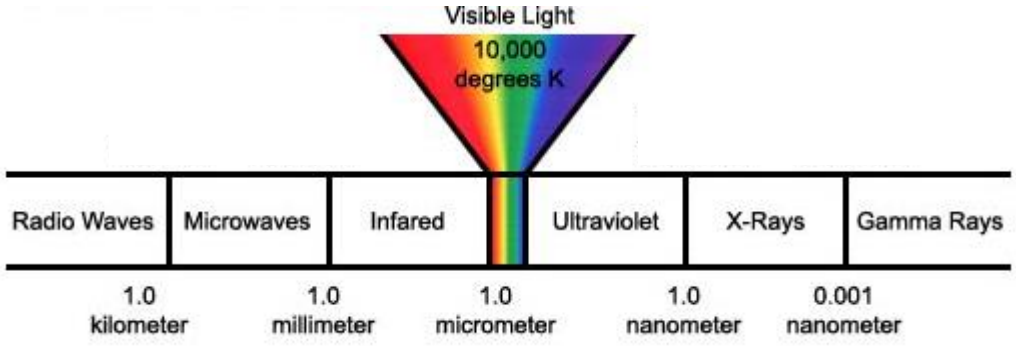
การจำแนกชนิดของคลื่น

สามารถจำแนกได้ตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

(ก) จำแนกตามลักษณะของตัวกลาง

1. คลื่นกล เป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ได้แก่ คลื่นเสียง (Sound Wave) คลื่นผิวน้ำ (Surface Wave) และคลื่นในเส้นเชือก (Waves on a String) เป็นต้น ความเร็วของคลื่นกลขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลาง เช่น เสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่เป็นของแข็งเร็วกว่าเสียงที่เคลื่อนที่ในอากาศ เป็นต้น

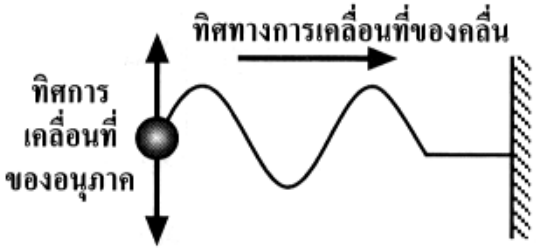
2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) เป็นคลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ได้แก่ คลื่นวิทยุ (Radio Waves) คลื่นแสง (Visible Light) คลื่นไมโครเวฟ (Microwaves) รังสีเอกซ์ (X-rays) รังสีแกมมา (Gamma Rays) ฯลฯ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าคงที่เท่ากับความเร็วแสง หรือ 3×10^8 m/s



ภาพที่ 2-3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

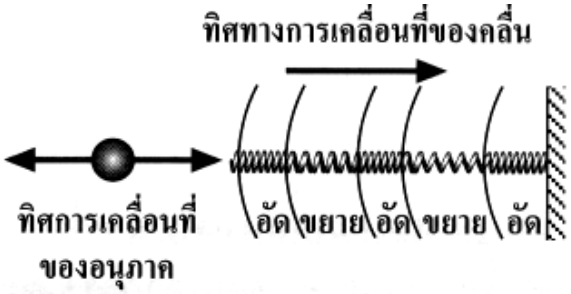
(ข) จำแนกตามลักษณะการสั่นของอนุภาคตัวกลางและทิศการแผ่ของคลื่น

1. คลื่นตามขวาง (Transverse Waves) เป็นคลื่นที่ส่งผ่านไปในตัวกลางแล้วทำให้อนุภาคตัวกลางสั่นในแนวตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 คลื่นตามขวางในเส้นเชือกขึงตึง ที่เกิดจากปลายเชือกถูกสะบัดขึ้นลง

2. คลื่นตามยาว (Longitudinal Waves) เป็นคลื่นที่ส่งผ่านไปในตัวกลางแล้วทำให้อนุภาคตัวกลางสั่นในแนวขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 คลื่นตามยาวในลวดสปริงที่ถูกยึดที่เกิดจากปลายลวดถูกอัด

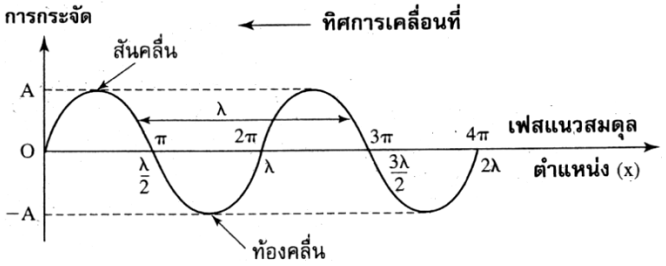
(ค) จำแนกคลื่นตามความต่อเนื่องของแหล่งกำเนิด

1. คลื่นดล (Pulse Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการรบกวนแหล่งกำเนิดเป็นเวลาสั้น ๆ เพียง 1–2 ครั้งจะเกิดคลื่น 1 ลูก ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกันทุกตำแหน่งการเคลื่อนที่เมื่อเวลาผ่านไป

2. คลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave) เป็นคลื่นที่เกิดต่อเนื่องกันไปอย่างสม่ำเสมอ ตำแหน่งต่าง ๆ ของคลื่นจะเปลี่ยนตามเวลาการเคลื่อนที่

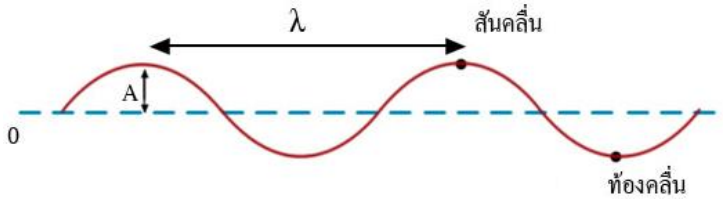
องค์ประกอบต่าง ๆ ของคลื่น

องค์ประกอบต่าง ๆ ของคลื่นมีดังนี้



ภาพที่ 2-6 องค์ประกอบของคลื่น

1. แอมพลิจูด คือระยะการกระจัดที่มีค่ามากที่สุดจากแนวสมดุลไปยังสันคลื่น หรือท้องคลื่น (ระยะ A)
2. ยอดคลื่น หรือสันคลื่นแต่ละลูกคือ ส่วนบนสุดของคลื่นแต่ละลูก
3. ท้องคลื่น คือ ส่วนล่างสุดของคลื่นแต่ละลูก
4. มุมเฟส คือ ตำแหน่งบนคลื่นซึ่งสัมพันธ์กับการกระจัดของการเคลื่อนที่ของคลื่น
5. ความยาวคลื่น (λ) คือ ความกว้างของคลื่นหนึ่งลูก ซึ่งเป็นระยะระหว่าง 2 จุดที่อยู่ถัดกัน ซึ่งมีลักษณะเหมือนกัน อาจเป็นระยะสันคลื่น–สันคลื่น หรือ ท้องคลื่น–ท้องคลื่น ที่ติดกันไปก็ได้



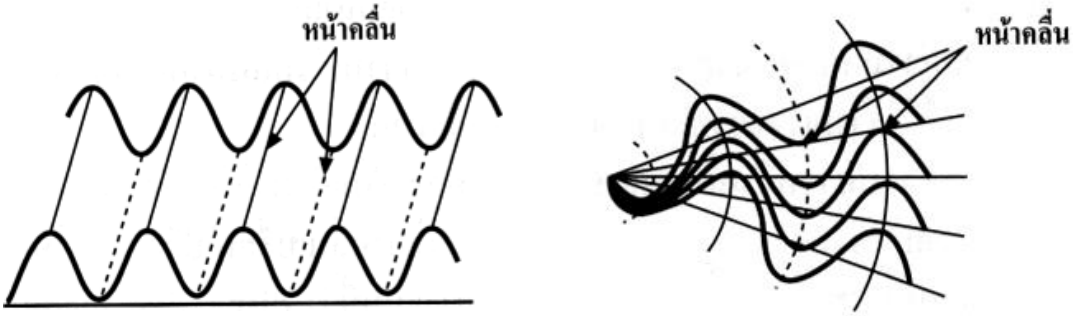
ภาพที่ 2-7 ความกว้างของคลื่นหนึ่งลูก ซึ่งเป็นระยะระหว่าง 2 จุดที่อยู่ถัดกัน

6. หน้าคลื่น (Wave Front) คือ แนวต่อกันของคลื่นที่มีเฟสตรงกัน เช่น

หน้าคลื่นที่เขียนด้วยเส้นเต็ม คือหน้าคลื่นที่เป็นสันคลื่น (เฟสเท่ากับ $\frac{\pi}{2}$ หรือ 90º)

หน้าคลื่นที่เขียนด้วยเส้นประ คือหน้าคลื่นที่เป็นท้องคลื่น (เฟสเท่ากับ $\frac{3\pi}{2}$ หรือ 270º)

ในคลื่นขบวนหนึ่งมีหน้าคลื่นกี่หน้าคลื่นก็ได้



(ก) (ข)

ภาพที่ 2-8 (ก) หน้าคลื่นเส้นตรงและ (ข) หน้าคลื่นวงกลม

7. รังสี (Ray) คือเส้นแสดงแนว (ทิศ) การเคลื่อนที่ของคลื่น รังสีของคลื่นจะมีทิศตั้งฉากกับหน้าคลื่นเสมอ

(ก) (ข)

ภาพ 2-9 (ก) รังสีของหน้าคลื่นเส้นตรง และ (ข) รังสีของหน้าคลื่นวงกลม

การคำนวณหาอัตราเร็วคลื่น

อัตราเร็วหาได้จากสูตร $v = \frac{s}{t}$

และ $$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T} \qquad \text{..... (2.5)}$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วคลื่น (มีหน่วยเป็น m/s)

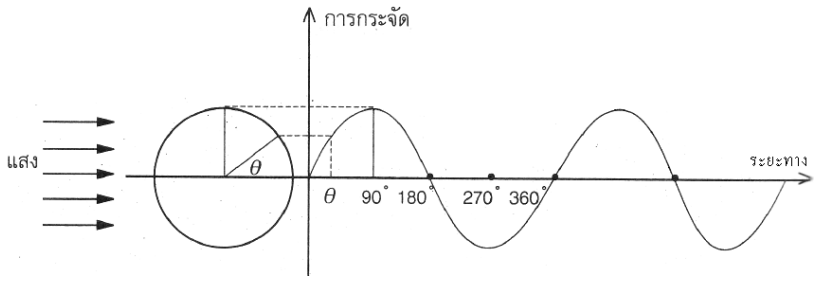
f คือ ความถี่ของคลื่น (มีหน่วยเป็น Hz)

λ คือ ความยาวคลื่น (มีหน่วยเป็น m)

T คือ คาบ (มีหน่วยเป็น s)

มุมเฟส

มุมเฟส คือ มุมที่ใช้เรียกตำแหน่งใด ๆ บนคลื่น โดยวัดเทียบกับการเคลื่อนที่เป็นวงกลม



ภาพที่ 2-10 รังสีของหน้าคลื่นเส้นตรงตำแหน่งใด ๆ บนคลื่น

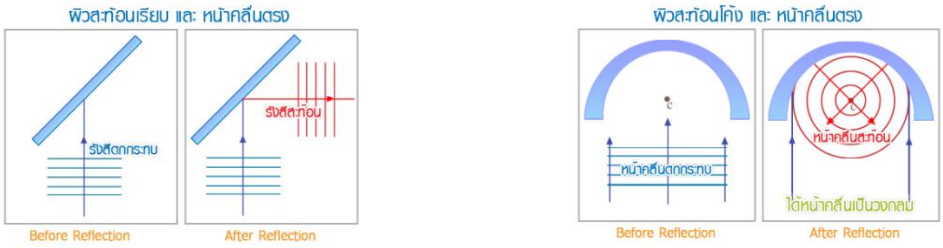
2.1.1 สมบัติของคลื่น

สมบัติของคลื่นมี 4 ลักษณะมีดังนี้

1. การสะท้อน (Reflection)
2. การหักเห (Refraction)
3. การแทรกสอด (Interference)
4. การเลี้ยวเบน (Diffraction)

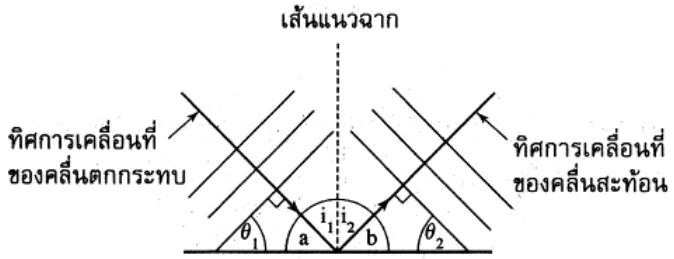
การสะท้อน

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงปลายสุดหรือถึงรอยต่อระหว่างตัวกลางจะมีการสะท้อนกลับมาในตัวกลางเดิม



(ก) (ข)

ภาพที่ 2-11 การสะท้อนของคลื่น (ก) หน้าคลื่นเส้นตรงและ (ข) หน้าคลื่นวงกลม



ภาพที่ 2-12 การสะท้อนของหน้าคลื่นที่เป็นเส้นตรง

สมบัติการสะท้อนของคลื่น มีดังนี้

1. ความเร็วของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับความเร็วของคลื่นตกกระทบเสมอ
2. ความถี่ของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับความถี่ของคลื่นตกกระทบ
3. ความยาวคลื่นของคลื่นสะท้อนเท่ากับความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบ
4. ถ้าการสะท้อนไม่สูญเสียพลังงานแอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนมีค่าเท่ากับแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบ

กฎการสะท้อน

1. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน
2. รังสีตกกระทบ เส้นแนวฉาก และรังสีสะท้อนต้องอยู่บนระนาบเดียวกัน

(ก) (ข)

ภาพที่ 2-13 เปรียบเทียบแสดงการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก

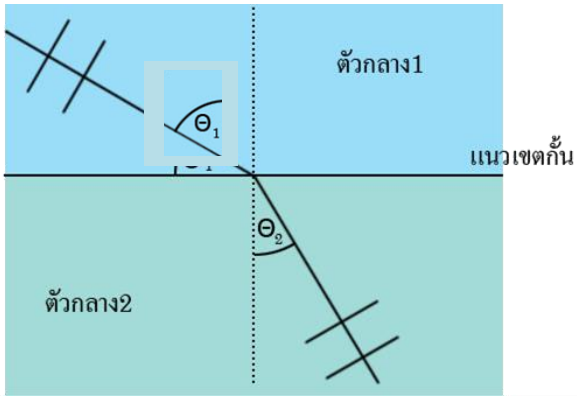
(ก) เมื่อตัวสะท้อนเป็นแบบอิสระที่ปลาย

(ข) เมื่อตัวสะท้อนเป็นแบบตรึงที่ปลาย

1. การสะท้อนของคลื่นที่ปลายสุดตรึงแน่น จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนที่มีเฟสตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ
2. การสะท้อนของคลื่นที่ปลายสุดเป็นปลายอิสระ จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนที่มีเฟสเหมือนกับคลื่นตกกระทบ

การหักเหของคลื่น

การหักเห คือ ปรากฏการณ์ที่คลื่นเปลี่ยนอัตราเร็ว (v) หรือ ความยาวคลื่น (λ) เมื่อมีการเปลี่ยนตัวกลาง โดยขณะที่เกิดการหักเห ความถี่ (f) ของคลื่นจะเท่าเดิมเสมอ เพราะแหล่งกำเนิดเป็นแหล่งเดิม (ทิศการเคลื่อนที่อาจไม่เปลี่ยนแปลงถ้าทิศการเคลื่อนที่ตอนแรกตั้งฉากกับรอยต่อของตัวกลาง)



ภาพที่ 2-14 การหักเหของคลื่นจากตัวกลาง 1 ไปยังตัวกลาง 2

กฎการหักเหจะใช้กฎของสเนลล์ (Snell's Law) กล่าวว่า "อัตราส่วนของค่า sine ของมุมตกกระทบ (θ_1) ในตัวกลางที่ 1 ต่อค่า sine ของมุมหักเห (θ_2) ในตัวกลางที่ 2 จะมีค่าคงที่เสมอ" เรียกอัตราส่วนนี้ว่าค่าดัชนีหักเห (Refractive Index) ของตัวกลางที่ 2 เทียบกับตัวกลางที่ 1

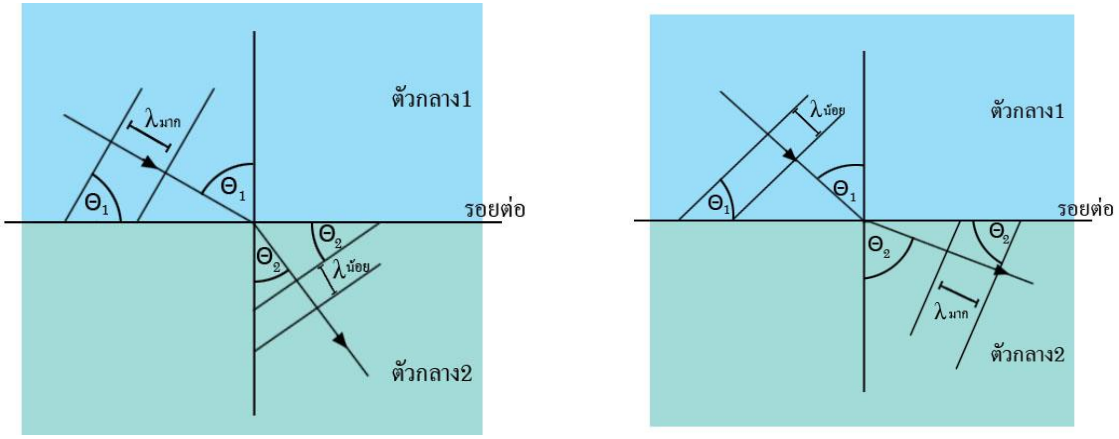
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \text{..... (2.6)}$$

เมื่อคลื่นน้ำมีการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันหรือตัวกลางเดิมแต่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ลักษณะการหักเหที่สำคัญมีดังนี้

1. เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากลึกไปน้ำตื้นรังสีหักเหจะเบนเข้า (v ลดลง λ สั้นลง) ($\theta_1>\theta_2$)
2. เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากน้ำตื้นไปยังน้ำลึกรังสีหักเหจะเบนออก (v เพิ่มขึ้น λ ยาวขึ้น) ($\theta_2>\theta_1$)

ข้อสังเกต

1. คลื่นน้ำในน้ำลึกความเร็วคลื่น (v) จะมาก ความยาวคลื่น (λ) จะยาว มุมตกกระทบจะใหญ่
2. คลื่นน้ำในน้ำตื้นความเร็วคลื่น (v) จะน้อย ความยาวคลื่น (λ) จะสั้น มุมตกกระทบจะน้อยลง



(ก) (ข)

ภาพ 2-15 (ก) คลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกไปสู่น้ำตื้น และ (ข) คลื่นเคลื่อนที่จากตื้นไปสู่น้ำลึก

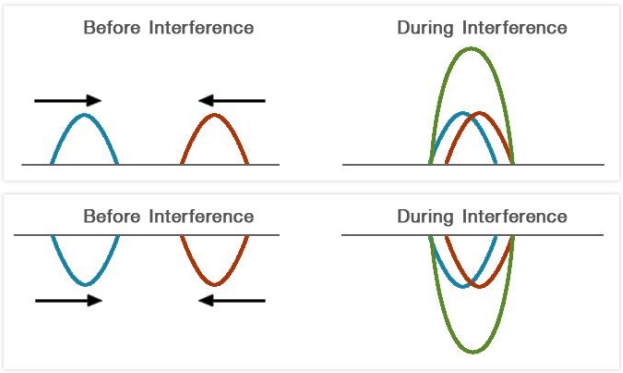
การแทรกสอด คือ การที่คลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent Source) 2 แหล่งหรือตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปเคลื่อนที่มาพบกันและเกิดการซ้อนทับกันของคลื่นต่อเนื่องนั้น

หลักการซ้อนทับกันของคลื่น (Principle of Superposition)

เมื่อคลื่นตั้งแต่ 2 คลื่นขึ้นไปมาพบกัน ณ ตำแหน่งหนึ่ง จะเกิดการรวมกันเท่ากับผลบวกแบบเวกเตอร์ของการกระจัดของคลื่นทั้งสองรวมกัน

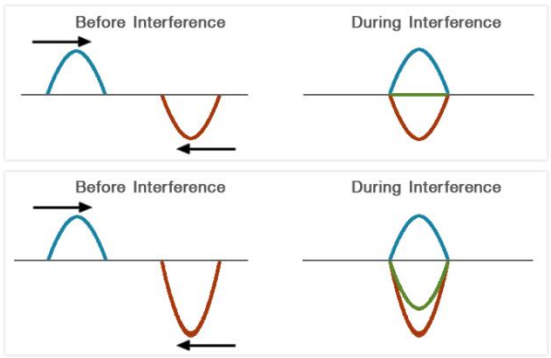
แหล่งกำเนิดอาพันธ์ คือ แหล่งกำเนิดที่ผลิตคลื่นที่มีความถี่ (f) เท่ากันความยาวคลื่น (λ) เท่ากัน และความต่างเฟสคงที่

1. การแทรกสอดกันแบบเสริม (Constructive Interference) เป็นการเกิดขึ้นเมื่อส่วนที่เป็นสันคลื่นมาพบกับส่วนที่เป็นสันคลื่น หรือส่วนที่เป็นท้องคลื่นมาพบกับส่วนที่เป็นท้องคลื่น จะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองจะเสริมกัน ทำให้แอมพลิจูด ณ ตำแหล่งนั้นมีระดับสูงที่สุด และต่ำที่สุดตามลำดับเรียกตำแหล่งนี้ว่า ปฏิบัพ (Antinode)

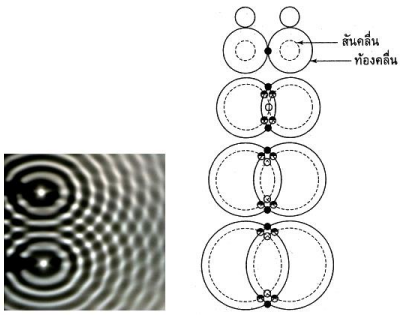


ภาพที่ 2-16 การรวมกันแบบเสริม

2. การแทรกสอดกันแบบหักล้าง (Destructive Interference) เป็นการเกิดขึ้นเมื่อส่วนที่เป็นสันคลื่นมาพบกับส่วนที่เป็นท้องคลื่น จะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองจะหักล้างกันทำให้แอมพลิจูด ณ ตำแหล่งนี้เป็นศูนย์เรียกตำแหน่งนี้ว่า บัพ



ภาพที่ 2-17 การรวมกันแบบหักล้าง



ภาพที่ 2-18 การซ้อนทับของคลื่นผิวน้ำสองลูกที่เหมือนกันทุกประการ

โดยที่ ● แทนการซ้อนทับของท้องคลื่นกับท้องคลื่น (ปฏิบัพ)

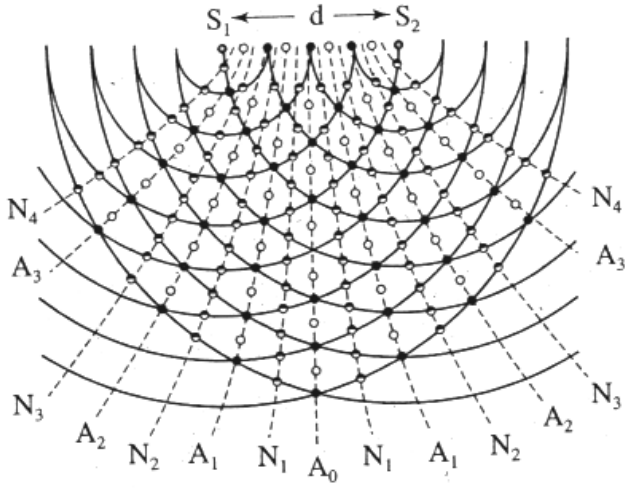
○ แทนการซ้อนทับของสันคลื่นกับสันคลื่น (ปฏิบัพ)

◓ แทนการซ้อนทับของสันคลื่นกับท้องคลื่น (บัพ)

บัพและปฏิบัพ

บัพ (N) หมายถึง จุดที่คลื่นมาพบกันแล้วแทรกสอดกันหักล้างหมดตลอดเวลาเป็นจุดที่ท้องคลื่นพบสันคลื่น

ปฏิบัพ (A) หมายถึง จุดที่คลื่นมาพบกันแล้วแทรกสอดแบบเสริมกันตลอดเวลาเป็นจุดที่ท้องคลื่นพบท้องคลื่นหรือจุดที่สันคลื่นพบสันคลื่น



ภาพที่ 2-19 การรวมกันของคลื่นแบบหักล้างและแบบเสริม

โดยที่ ● แทนการซ้อนทับของท้องคลื่นกับท้องคลื่น (ปฏิบัพ)

○ แทนการซ้อนทับของสันคลื่นกับสันคลื่น (ปฏิบัพ)

◓ แทนการซ้อนทับของสันคลื่นกับท้องคลื่น (บัพ))

S_1 และS_2 เป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์

การหาความต่างระยะทาง (Path Difference)

กรณีปฏิบัพ หาได้จากสูตร

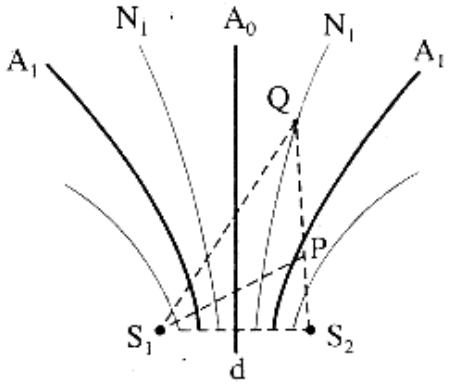
$$\left|S_1P - S_2P\right| = n\lambda \qquad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, \ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.7)$$

โดยที่ $S_1P - S_2P$ = ความต่างระยะทาง

กรณีบัพ หาได้จากสูตร

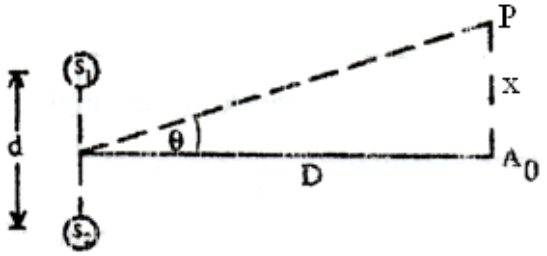
$$|S_1Q - S_2Q| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.8)$$

โดยที่ $S_1Q - S_2Q$ = ความต่างระยะทาง



ภาพที่ 2-20 เส้นบัพและเส้นปฏิบัพที่เกิดจากการแทรกสอดของคลื่น

การแทรกสอดของคลื่นเมื่อจุดที่พิจารณาอยู่ไกล ๆ



ภาพที่ 2-21 การแทรกสอดของคลื่นเมื่อจุดที่พิจารณาอยู่ไกล ๆ

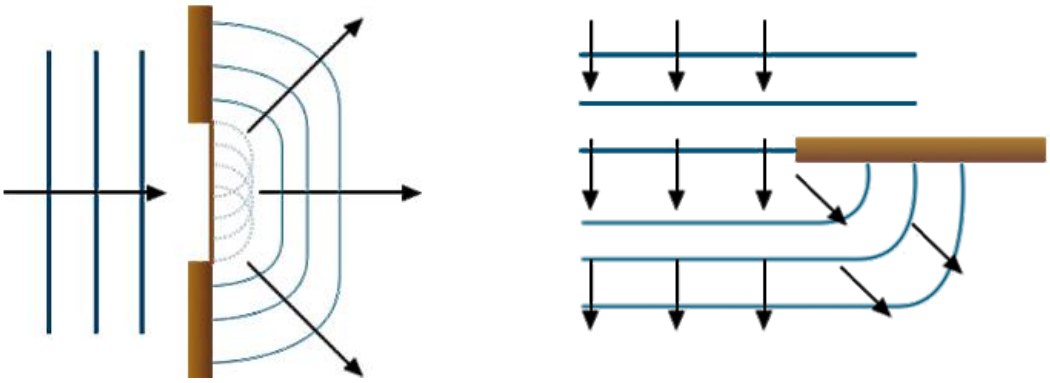
กรณีปฏิบัพ $d \sin\theta = n\lambda$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, \ldots$ ..... (2.9)

กรณีบัพ $d \sin\theta = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$ เมื่อ $n = 1, 2, 3, \ldots$ ..... (2.10)

การเลี้ยวเบนของคลื่น คือ ปรากฏการณ์ที่คลื่นสามารถแผ่จากขอบของสิ่งกีดขวางไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางได้

หลักการของฮอยเกนส์

คริสเตียน ฮอยเกนส์ (Christian Huygens) ได้อธิบายหลักการเกิดการเลี้ยวเบนว่า “แต่ละจุดบนคลื่นถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ ซึ่งคลื่นออกไปทุกทิศทางด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วของคลื่นเดิม”



(ก) (ข)

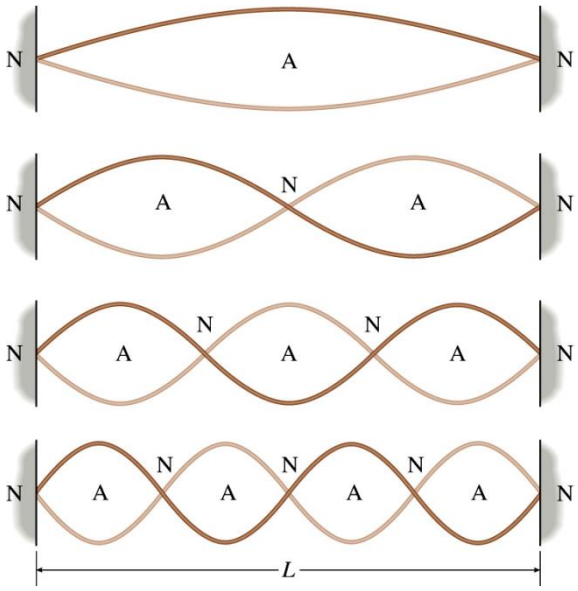
ภาพที่ 2-22 (ก) การเลี้ยวเบนผ่านช่องปิดเดี่ยวและ (ข) การเลี้ยวเบนผ่านสิ่งกีดขวาง

คลื่นนิ่ง (Standing Wave) คือ คลื่นซึ่งเกิดจากการแทรกสอดของคลื่น 2 ขบวน ที่เคลื่อนที่สวนทางกันในตัวกลางเดียวกัน โดยคลื่นทั้งสองมีแอมพลิจูด ความถี่ ความยาวคลื่น และความเร็วเท่ากัน เป็นผลทำให้เกิดคลื่นผลลัพธ์ที่มีแนวปฏิบัพ และแนวบัพ อยู่ในแนวเดียวกันตลอดเวลา

1. บัพเกิดขึ้นตรงจุดที่มีแอมพลิจูดเป็นศูนย์ และปฏิบัพ เกิดขึ้นตรงจุดที่มีแอมพลิจูดสูงสุด

2. ระยะระหว่าง บัพ ที่อยู่ติดกัน คือ $\frac{\lambda}{2}$ และระยะระหว่าง ปฏิบัพ ที่อยู่ติดกัน คือ $\frac{\lambda}{2}$ เช่นกัน

3. ระยะระหว่างบัพ และปฏิบัพ ที่อยู่ติดกัน คือ $\frac{\lambda}{4}$



ภาพที่ 2-23 คลื่นนิ่งในเส้นเชือก

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่ยาว L ที่ปลายของเส้นเชือกถูกตรึงไว้ และจะเป็นบัพเสมอ และมีแอมพลิจูดเป็นศูนย์

ฮาร์มอนิกที่หนึ่ง หรือ ความถี่มูลฐาน (1st Harmonic or Fundamental Frequency)

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = 2L$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} \quad \Rightarrow \quad f_1 = \frac{v}{2L}$$

ฮาร์มอนิกที่สอง (2nd Harmonic)

$$L = \lambda_2 \quad \Rightarrow \quad \lambda_2 = L$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} \quad \Rightarrow \quad f_2 = \frac{v}{L}$$

ฮาร์มอนิกที่สาม (3rd Harmonic)

$$L = \frac{3\lambda_3}{2} \quad \Rightarrow \quad \lambda_3 = \frac{2L}{3}$$

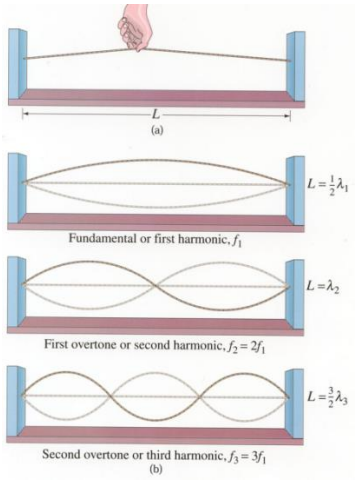
$$f_3 = \frac{v}{\lambda_3} \quad \Rightarrow \quad f_3 = \frac{3v}{2L}$$

ฮาร์มอนิกที่ n (nth Harmonic)

$$f_n = n f_1 = \frac{n v}{2L} \qquad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \ldots \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.11)$$

โดย n = จำนวนของคลื่นนิ่ง

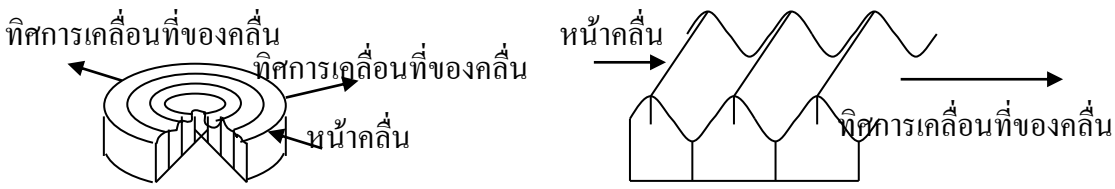
L = ความยาวของเส้นเชือก



ภาพที่ 2-24 การเกิดคลื่นนิ่งแบบฮาร์มอนิกที่ 1 2 และ3 ตามลำดับ

2.2 ชุดทดลองถาดคลื่น (Ripple Tank)

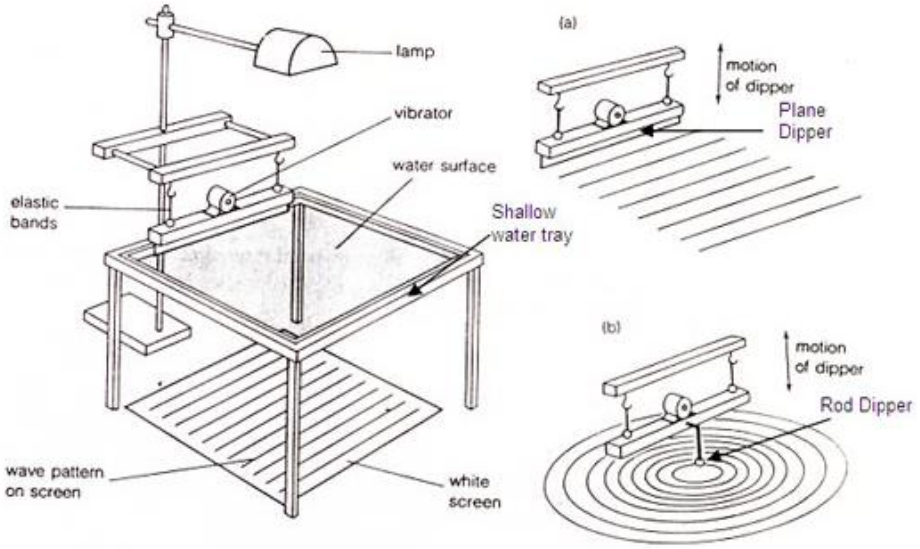
การศึกษาคลื่นผิวน้ำเพื่อให้สะดวกในการสังเกตปรากฏการณ์คลื่นบนผิวน้ำ เราใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าถาดคลื่น ส่วนสำคัญของอุปกรณ์คือ ตัวถาดคลื่น ตัวกำเนิดคลื่น โคมไฟ วิธีศึกษาคลื่นผิวน้ำเราไม่ได้ดูผิวน้ำกระเพื่อมขึ้นลงโดยตรงแต่จะดูจากความเข้มของแสงที่ผ่านคลื่นในถาดคลื่นแทนโดยส่วนที่เป็นสันคลื่นจะทำหน้าที่เสมือนเลนส์นูนซึ่งจะรวมแสงทำให้เกิดแถบสว่างบนแผ่นกระดาษขาวที่วางอยู่ใต้ถาดคลื่น ส่วนท้องคลื่นจะทำหน้าที่เสมือนเลนส์เว้าซึ่งกระจายแสงทำให้เกิดแถบมืดบนแผ่นกระดาษ ดังนั้นภาพของคลื่นผิวน้ำที่ปรากฏบนกระดาษ คือ แถบสว่างและมืดสลับกันเมื่อผิวน้ำถูกรบกวนเป็นจังหวะต่อเนื่องจะทำให้เกิดคลื่นผิวน้ำออกจากตัวกำเนิดคลื่นตลอดเวลาเรียกว่า คลื่นต่อเนื่อง เมื่อปรับปุ่มกำเนิดคลื่นวงกลมให้แตะผิวน้ำ และปรับมอเตอร์ให้หมุนด้วยความถี่ที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการรบกวนผิวน้ำเป็นจังหวะต่อเนื่อง และมีคลื่นผิวน้ำแผ่ขยายออกจากตัวกำเนิดคลื่นไปเป็นภาพวงกลม ดังภาพ ก. ถ้าเปลี่ยนตัวกำเนิดคลื่นเป็นคานนั่นคือให้มีการรบกวนผิวน้ำในแนวยาว และเป็นจังหวะต่อเนื่องจะเกิดเป็นแนวเส้นตรงเคลื่อนออกจากตัวกำเนิดคลื่น ดังภาพที่ 2-25 ข. ซึ่งประกอบด้วยส่วนโค้งขึ้น และส่วนโค้งลงของผิวน้ำแผ่ออกไปจากตัวกำเนิด



(ก) (ข)

ภาพที่ 2-25 ลักษณะการเกิดคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น

จากภาพที่ 2-25 (ก) และ (ข) เส้นที่ลากผ่านตำแหน่งที่มีเฟสตรงกันในคลื่นลูกหนึ่ง ๆ เช่น แนวสันคลื่นหรือแนวของท้องคลื่น เรียกว่า หน้าคลื่น ดังนั้น แนวเส้นกลางของแถบสว่างซึ่งเกิดขึ้นจากแนวของสันคลื่น และแนวเส้นกลางของแถบมืดซึ่งเกิดจากแนวของท้องคลื่นต่างก็เป็นหน้าคลื่น ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นจะตั้งฉากกับหน้าคลื่น โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงหน้าคลื่นเราใช้แนวใดแนวหนึ่งดังกล่าวมาแล้วเป็นหน้าคลื่น ในภาพ (ก) และ (ข) ในแนวของแถบสว่างเป็นหน้าคลื่น



ภาพที่ 2-26 ส่วนประกอบของถาดคลื่น

สโตรโบสโคป (stroboscope)

สโตรโบสโคป คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดหาความยาวคลื่นน้ำ มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมแบ่งออกเป็นช่อง ๆ ห่างเท่ากันจำนวนหลายช่อง วิธีใช้ให้ปรับความถี่ของสโตรโบสโคป จนภาพที่มองเห็นคลื่นอยู่นิ่ง

วิธีการใช้งานของสโตรโบสโคป

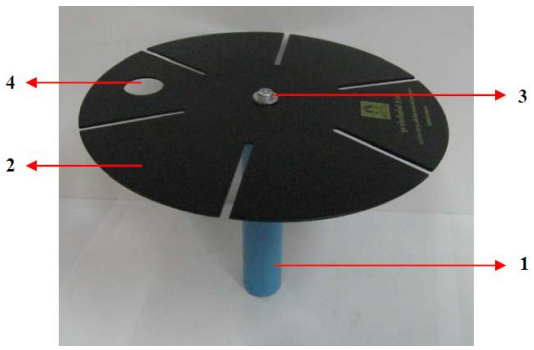
ในการทดลองจะต้องประกอบสโตรโบสโคปโดยการขันสกรูล็อคแผ่นหมุนโดยวางแหวนรองน็อต 1 ตัวบนด้ามหมุนแล้วเอาแผ่นหมุนวางทับบนแหวนนั้น จากนั้นเอาแหวนรองน็อตอีก 1 ตัว วางบนแผ่นหมุนแล้วขันสกรูพอสมควร ไม่ควรให้แน่นหรือคับจนเกินไปซึ่งมีข้อปฏิบัติดังนี้

1. ใช้ปลายนิ้วมือหมุนสโตรโบสโคป (ตรงที่เจาะรู) หรือใช้มือจับตัวแผ่นหมุน หมุนแผ่นสโตรโบสโคปไปให้คล่องเสียก่อน

2. ขณะที่แผ่นสโตรโบสโคปหมุนไป ให้มองไปยังวัตถุที่กำลังหมุนอยู่ เช่น พัดลม

เป็นต้น โดยการมองผ่านช่องใดช่องหนึ่ง หมุนแผ่นสโตรโบสโคปไปจนกระทั่งเห็นวัตถุที่กำลังหมุน (สั่น) เสมือนหยุดนิ่ง แสดงว่าความถี่ของวัตถุที่กำลังหมุน (สั่น) สัมพันธ์กับความถี่ของสโตรโบสโคป

3. จับเวลาของการหมุนของสโตรโบสโคป เช่น 10 หรือ 20 รอบ ว่าใช้เวลาเท่าใด แล้วหาเวลาของการหมุนครบ 1 รอบ



ภาพที่ 2-27 ส่วนประกอบของสโตรโบสโคป

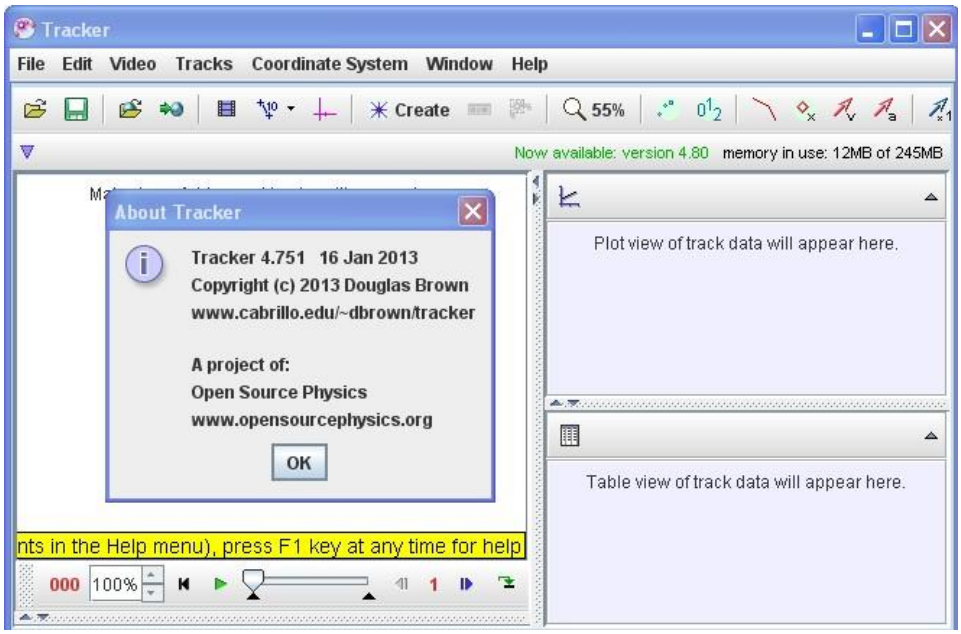
จากภาพที่ 2-27 มีส่วนประกอบของสโตรโบสโคปดังนี้

1. ด้ามมือถือสำหรับหมุนสโตรโบสโคป ทำด้วย พีวีซี หรือไม้
2. แผ่นหมุนทำด้วยไม้อัดยางหรือพลาสติก
3. สกรูพร้อมแหวนสำหรับขันแผ่นไม้ให้ติดกับด้ามถือ
4. รูสำหรับใช้ในการทำให้แผ่นสโตรโบสโคปหมุน

2.3 โปรแกรมTracker

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้โทรศัพท์ที่มีฟังก์ชันถ่ายวิดีโอ รวมทั้งโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอหลายโปรแกรมที่พัฒนาโดยนักฟิสิกส์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองฟิสิกส์โดยเฉพาะในกลศาสตร์ ปัจจัยเหล่านี้สร้างโอกาสให้ผู้สอนวิชาฟิสิกส์สามารถนำเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอมาใช้สอนในวิชาฟิสิกส์ การจัดองค์ประกอบสำหรับบันทึกวิดีโอ และโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอโดยการใช้โปรแกรม Tracker

โปรแกรม Tracker เป็น open source physics (OSP) สามารถหาตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่งของวัตถุจากวีดีโอ และเลือกกรอบอ้างอิง (Reference frames) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งแบบพิกัดฉาก และพิกัดเชิงขั้ว รวมทั้งวิเคราะห์ สเปกตรัม โมเดลการเคลื่อนที่ของอนุภาค



ภาพที่ 2-28 โปรแกรมTracker

2.4 ปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

ความหมายของปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

วิมล สำราญวานิช (2532, หน้า 79-80) ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการหรือการทดลองหมายถึงการที่ผู้เรียนได้ลงมือกระทำได้ปฏิบัติ และเรียนรู้จากการทดลองด้วยตนเองภายใต้การแนะนำของครู ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจ มีความรับผิดชอบ มีโอกาสปฏิบัติงานร่วมกันขณะปฏิบัติการทดลองได้มีโอกาสใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2541, หน้า 68) ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ว่าคือการสอนให้ผู้เรียนมีโอกาสทำกิจกรรมการทดลองโดยได้รับการแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครูเป็นการฝึกการใช้ทฤษฎีโดยผ่านการทดลอง

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542, หน้า 167-168) ให้ความหมายการสอนแบบทดลองว่าเป็นการสอนเพื่อจัดประสบการณ์ในการทดลอง และการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียนให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริงกฎหลักการหรือทฤษฎีได้ถูกต้องเป็นการทดลองเพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้วหรือเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่เป็นการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาหรือค้นหาคำตอบได้ด้วยตัวเองโดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลางในการเรียนการสอน

จากความหมายดังกล่าวสรุปได้ว่าการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หมายถึงการสอนที่ให้โอกาสผู้เรียนได้ลงมือกระทำการทดลองได้ปฏิบัติด้วยตนเองได้มีโอกาสใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์

โดยได้รับการแนะช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดจากครูทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ข้อเท็จจริงกฎหลักการ และทฤษฎีได้ถูกต้อง และสามารถทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว หรือเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่

ความสำคัญของการสอนปฏิบัติการ

บุญชม ศรีสะอาด (2541, หน้า 278-279) และไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2536, หน้า 95-96) ได้สรุปความสำคัญของการสอนแบบปฏิบัติการเป็น2 ส่วนคือ

1. ความสำคัญในแง่ของการศึกษาการสอนแบบฝึกปฏิบัติเป็นการสอนที่ผสมผสานกันทั้งทฤษฎี และปฏิบัติเป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากของจริงหรือสื่อ และลงมือทำด้วยตนเองซึ่งเป็นรากฐานของการแก้ปัญหาช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ และสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้จึงเป็นการศึกษาที่สมบูรณ์

2. ความสำคัญในแง่ของผู้สอนการสอนแบบฝึกปฏิบัติช่วยให้ผู้สอนมีโอกาสเห็นผลการสอนของตัวเองได้ทันที่ว่าผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้จริงหรือไม่ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือเป็นการสอนที่ช่วยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสปรับปรุงแก้ไขได้ทันที่ช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ในด้านการนำไปใช้

ประโยชน์ของการสอนแบบปฏิบัติการ

จากการศึกษาเอกสารทางวิชาการของภพ เลาหไพบูลย์ (2542, หน้า 170-171) บุญชม ศรีสะอาด (2541, หน้า 69) และวิมล สำราญวานิช (2532, หน้า 85-86) สามารถสรุปประโยชน์ของการสอนแบบปฏิบัติการได้ดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงมีโอกาสฝึกทักษะการทดลองใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา

2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอน และได้เรียนรู้ผ่านประสาทสัมผัสหลายด้านโดยตรง

3. เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองเนื่องจากผู้เรียนเป็นผู้ออกแบบการทดลอง ทำการสืบเสาะหาความรู้จากการทดลอง วิเคราะห์หาเหตุผลตั้งสมมติฐาน และทดสอบสมมติฐาน สรุปผล และวัดผลการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง

4. ผู้เรียนมีความสามารถในการทำงาน และมีทักษะมากขึ้น

5. ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง และจดจำได้นาน

6. การสอนแบบปฏิบัติการอาจดำเนินโดยผู้เรียนเป็นรายบุคคล หรือเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ได้ช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะการทำงานร่วมกัน

7. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนแต่ละคนได้แสดงความคิดเห็นในการแก้ปัญหารวมทั้งเป็นการ

ฝึกการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ

8. ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ และการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

สรุปได้ว่าการสอนแบบปฏิบัติการหรือการสอนแบบทดลอง เป็นการสอนที่ผสมผสานกันทั้งทฤษฎี และปฏิบัติ ผู้เรียนมีโอกาสฝึกทักษะ รู้จักการแก้ปัญหา และการทำงานร่วมกัน ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง เป็นการได้รับประสบการณ์ตรง ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ และการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้จากคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ด้วย

2.5 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1. ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถของพฤติกรรมที่เกิดจากการปฏิบัติ และฝึกฝนความคิดอย่างเป็นระบบเนื่องจากในขณะที่ทำการทดลองผู้ทดลองจะได้ฝึกฝนทั้งในด้านปฏิบัติ และพัฒนาความคิด (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 23) รวมทั้ง การตอบคำถามได้อย่างถูกต้องโดยใช้เหตุผล หลักเกณฑ์ของความรู้ และผลการทดลองเป็นข้อมูล (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 57) ในการเสาะแสวงหาความรู้หรือแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ (ยุพา วีระไวทยะ และปรีชา นพคุณ, 2544, หน้า 88) โดยการใช้กระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การสังเกตการวัด การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับเวลา การใช้ตัวเลข การจัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็น การพยากรณ์ การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการการตั้ง สมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลอง และการตีความหมาย ข้อมูล และการลงข้อสรุปอย่างคล่องแคล่วถูกต้อง และแม่นยำ (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า ค)

2. ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แบ่งออกเป็น 13 ทักษะ (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 157) คือ

1. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

1.1 ทักษะการสังเกต

1.2 ทักษะการวัด

1.3 ทักษะการจำแนกประเภท

1.4 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปส และสเปสกับเวลา

1.5 ทักษะการคำนวณ

1.6 ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล

1.7 ทักษะการลงความเห็นข้อมูล

1.8 ทักษะการพยากรณ์

2. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงหรือขั้นผสม

2.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน

2.2 ทักษะการกำหนด และควบคุมตัวแปร

2.3 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

2.4 ทักษะการทดลอง

2.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูล และการลงข้อสรุป

3. ลักษณะ และความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์รายละเอียดของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แต่ละทักษะได้สรุปจากสาระสำคัญของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. ทักษะการสังเกต

ทักษะการสังเกต หมายถึง ความสามารถในการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น หู ตา จมูก ลิ้น หรือผิวกาย เข้าไปสัมผัสโดยตรงกับวัตถุ เหตุการณ์ หรือปรากฏการณ์ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 25-26) ที่เกิดขึ้น ในธรรมชาติหรือจากการทดลองซึ่งผู้สังเกตต้องการ (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 157) รวมทั้งใช้เครื่องมือเข้าช่วยประสาทสัมผัสเพื่อให้ได้ข้อมูล และมีการจดบันทึกข้อมูลนั้นไว้ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 58-60) เพื่อหารายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ โดยไม่เพิ่มความคิดเห็นส่วนตัวลงไป (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 90) ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตมี 3 ประเภท คือ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 25-26)

1.1 ข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะ และคุณสมบัติประจำตัวของสิ่งของที่สังเกต เช่น ภาพร่าง กลิ่น รส เสียง และความรู้สึกจากการสัมผัส เช่น เมื่อให้สังเกตมะนาว จะบรรยายได้ว่ามีลักษณะกลม สีเขียว มีกลิ่น ผิวเรียบ รสเปรี้ยว

1.2 ข้อมูลเชิงปริมาณ เป็นข้อมูลที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณ เช่นน้ำหนัก ขนาด อุณหภูมิ ข้อมูลที่ได้นี้จะบอกหน่วยมาตรฐานไว้ เช่น มะนาวหนักประมาณ 20 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร

1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง เป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกตปฏิสัมพันธ์ของสิ่งนั้นกับสิ่งอื่น นอกจากนี้การได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงบางอย่างสามารถกระทำได้ด้วยการทดลอง โดยเก็บข้อมูลระยะก่อน และหลังการทดลองหรือขณะทำการทดลองความสามารถที่แสดงให้เห็นว่าเกิดทักษะการสังเกตคือ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 25-26)

1) ชี้บ่ง และบรรยายสมบัติของวัตถุที่สังเกตได้ โดยการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง เช่น ก้อนหินมีลักษณะกลม สีดำ ผิวขรุขระ

2) บรรยาย หรือรายงานผลการสังเกตสมบัติของวัตถุออกมาในเชิงของปริมาณ โดยการกะประมาณซึ่งต้องอ้างอิงหน่วยมาตรฐาน เช่น ก้อนหินหนักประมาณ 50 กรัม หน้าต่างมีความสูงประมาณ 120 เซนติเมตร น้ำมีอุณหภูมิประมาณ 16 องศาเซลเซียส

3) บรรยายการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สังเกตได้ เช่น ลักษณะของสถานการณ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลง เช่น เมื่อหย่อนก้อนดินลงในแก้วน้ำ ก้อนดินจะแยกออกเป็นก้อนเล็ก ๆ หลายก้อน โดยจะเริ่มแยกจากส่วนนอกก่อนขณะที่ก้อนดินแยกออกจะมีฟองอากาศเล็ก ๆ ลอยขึ้นสีของน้ำค่อยเปลี่ยนจากใสเป็นขุ่นโดยเปลี่ยนจากก้นแก้วก่อนจึงกระจายขึ้นไปด้านบน และจะมีก้อนดินเล็ก ๆ จมอยู่ที่ก้นแก้ว ข้อแนะนำในการสังเกต นอกจากจะต้องพยายามสังเกตตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ และสังเกตหลาย ๆ ครั้งอย่างละเอียดรอบคอบแล้ว ยังมีข้อแนะนำที่ควรคำนึงถึง ดังนี้ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 58-60)

1) ควรใช้ประสาทสัมผัสมากกว่าหนึ่งอย่างในการสังเกต

2) ควรสังเกตให้ได้ทั้ง ข้อมูลเชิงคุณภาพ และข้อมูลเชิงปริมาณ

3) ถ้าเป็นไปได้ควรสังเกตให้ได้ข้อมูลจากการทดลองอย่างละเอียดความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะ (Key Indicator) การสังเกตแล้ว คือ

1) บ่งชี้ และบรรยายสมบัติของวัตถุด้วยประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่ง

2) บรรยายสมบัติเชิงปริมาณของวัตถุได้ โดยการกะปริมาณ

3) บรรยายการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สังเกตได้

2. ทักษะการวัด

ทักษะการวัด หมายถึง ความสามารถในการเลือก และใช้เครื่องมือทำการวัดหาปริมาณของสิ่งต่าง ๆ ออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอน โดยมีหน่วยกำกับเสมอ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 26-27) ตลอดจนสามารถอ่านค่าที่วัดได้ถูกต้อง และใกล้เคียงความเป็นจริง (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 158) เพื่อวัดปริมาณสิ่งต่าง ๆ ที่ต้องการทราบค่าปริมาณที่ได้จากการวัดเป็นรากฐานที่สำคัญสำหรับนำไปสู่ข้อสรุปเกี่ยวกับหลักการ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 60) ในการวัดควรทำการวัด 3ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อจะได้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

ประเภทในการวัดนั้น มี 3 ประเภท คือ การวัดความยาว การวัดมวล และการวัดปริมาตร (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 91) ส่วนองค์ประกอบของการวัด ประกอบด้วย 3 อย่าง คือ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 26-27)

2.1 เครื่องมือที่ใช้วัด เช่น ไม้บรรทัด เครื่องชั่ง นาฬิกา เทอร์โมมิเตอร์ ฯลฯ

2.2 ค่าที่ได้จากการวัดซึ่งเป็นตัวเลขที่แน่นอน ไม่ใช่กะประมาณ

2.3 หน่วยในการวัด เช่น วัดความยาวออกมาเป็นเซนติเมตร เมตร วัดน้ำหนักเป็นกรัม กิโลกรัม วัดเวลาเป็นวินาที นาที หรือวัดอุณหภูมิออกมาเป็นองศาเซลเซียส เป็นต้น

ความสามารถที่แสดงว่าผู้เรียนเกิดทักษะการวัด คือ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 26-27)

1) เลือกเครื่องมือได้เหมาะสมกับสิ่งที่จะวัด

2) บอกเหตุผลในการเลือกเครื่องมือได้

3) บอกวิธีวัด และวิธีใช้เครื่องมือวัดได้ถูกต้อง

4) ทำการวัดปริมาณต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

5) ระบุหน่วยของตัวเลขที่ได้จากการวัดได้

3. ทักษะการจำแนกประเภท

ทักษะการจำแนกประเภท หมายถึง ความสามารถในการจำแนกหรือจัดจำพวกวัตถุหรือเหตุการณ์ออกเป็นประเภทต่าง ๆ โดยมีเกณฑ์ในการจำแนกหรือจัดจำพวกเกณฑ์ที่ใช้อาจพิจารณาจากลักษณะที่เหมือนกัน แตกต่างกัน หรือสัมพันธ์กันอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 28-30) ที่ต้องการศึกษาออกเป็นหมวดหมู่โดยจัดสิ่งที่มีสมบัติบางประการร่วมกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 158) โดยใช้เกณฑ์ซึ่งอาจเป็นของตนเองหรือผู้อื่นเป็นผู้กำหนดก็ได้ นอกจากนี้ยังมีการบอกเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งพวกหรือเรียงลำดับสิ่งที่ของผู้อื่นได้ทำไว้ (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 96) เพื่อสะดวกในการจดจำ และการศึกษาสิ่งที่ศึกษากลุ่มหนึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นหลายประเภททั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่เราจะใช้มีผลทำให้สิ่งที่ศึกษาชิ้นหนึ่งจะอยู่ในกลุ่มเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้นความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการจำแนกประเภทคือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 62)

3.1 จำแนกสิ่งต่าง ๆ จากเกณฑ์ที่ผู้อื่นกำหนดให้ได้

3.2 บอกเกณฑ์ที่ผู้อื่นใช้จำแนกประเภทได้

3.3 ตั้งเกณฑ์ในการเรียงลำดับหรือจำแนกสิ่งต่าง ๆ พร้อมทั้งเรียงลำดับหรือจำแนกได้

4. ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปส และสเปสกับเวลา

ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปส และสเปสกับเวลาหมายถึงความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มิติกับ 3 มิติสิ่งที่อยู่หน้ากระจกเงากับภาพที่ปรากฏในกระจกเงาตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุหนึ่งกับอีกวัตถุหนึ่งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลาหรือสเปสของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 30-31) ซึ่งอาจรวมถึงภาพร่างความสมมาตรการเคลื่อนไหวความเร็วของการเปลี่ยนแปลงการเป็นเงาของ

ภาพสามมิติ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 62-63) ขนาดตำแหน่ง และทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เวลาต่าง ๆ กัน (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 160) เช่นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของน้ำแข็งที่เปลี่ยนแปลงไปในเวลาต่าง ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของพืชที่เจริญเติบโตในเวลาต่าง ๆ (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 97-101) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปส และสเปสกับเวลาคือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 62-63)

4.1 วาดภาพ 2 มิติจากภาพ 3 มิติที่กำหนดให้ได้

4.2 วาดภาพ 3 มิติจากภาพ 2 มิติที่กำหนดให้ได้

4.3 บอกความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มิติกับ 3 มิติได้

4.4 บอกความสัมพันธ์ของสิ่งที่อยู่หน้ากระจก และเงากระจกว่าเป็นซ้ายหรือขวาของกันและกันอย่างไร

4.5 บอกได้ว่าวัตถุหนึ่งอยู่ในตำแหน่งหรือทิศทางของอีกวัตถุหนึ่ง

4.6 บอกความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลา

5. ทักษะการคำนวณ

ทักษะการคำนวณหมายถึงความสามารถในการนำจำนวนที่ได้จากการสังเกต การวัดมาจัดกระทำให้เกิดค่าใหม่ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 28) เพื่อใช้ในการสื่อความหมายให้ชัดเจนและเหมาะสม (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 159) โดยการนับการคำนวณหรือการหาค่าเฉลี่ย (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 95-96) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความหมาย ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในการตีความหมาย และลงข้อสรุปต่อไปทักษะการคำนวณเป็นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ และแตกต่างจากทักษะกระบวนการขั้นพื้นฐานอื่น ๆ เพราะทักษะการคำนวณมีความจำเป็นมากต้องการให้มีทักษะอย่างเพียงพอจึงจำเป็นต้องให้เวลาในการฝึกหัดเกี่ยวกับการคำนวณการใช้ตัวเลขเพื่อให้เกิดทักษะขึ้นในตัวผู้เรียนได้ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 61-62) ความสามารถที่แสดงว่าผู้เรียนเกิดทักษะการคำนวณคือ (พวงทอง มีมั่ง, 2537, หน้า 28)

5.1 นับจำนวนของสิ่งของได้ถูกต้อง

5.2 ใช้ตัวเลขแสดงจำนวนที่นับได้

5.3 บอกวิธีคำนวณ คิดคำนวณ และแสดงวิธีคิดคำนวณได้

5.4 บอกวิธีหาค่าเฉลี่ย หาค่าเฉลี่ย และแสดงวิธีหาค่าเฉลี่ยได้

6. ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล

ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล หมายถึง กระบวนการที่นำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต

การวัดหรือการทดลอง หรือจากแหล่งอื่น ๆ มาจัดกระทำให้อยู่ในภาพที่มีความหมายหรือความสัมพันธ์กันมากขึ้น (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 64) มาจัดกระทำใหม่โดยการหาความถี่ เรียงลำดับ จัดจำแนกประเภท (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 102) แล้วนำข้อมูลที่ได้จัดกระทำแล้วมาเสนอ และแสดงให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลชุดนั้นได้ดีขึ้น (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 31-32) โดยการใช้ภาษาพูดหรือภาษาเขียน รวมทั้ง การเขียนแผนภาพแผนภูมิ ตาราง กราฟ วงจร และสมการ ประกอบการพูดหรือการบรรยาย สิ่งที่ต้องการสื่อได้ชัดเจน ถูกต้องชัดเจน (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 161) ความสามารถที่แสดงให้เห็นว่าเกิดทักษะการสื่อความหมายข้อมูล คือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 64)

6.1 เลือกภาพแบบ และบอกเหตุผลของการเสนอข้อมูลที่เหมาะสมได้

6.2 ออกแบบการเสนอข้อมูลตามภาพแบบที่เลือกได้

6.3 เปลี่ยนแปลงภาพแบบข้อมูลให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้น

6.4 บรรยายข้อลักษณะใดลักษณะหนึ่งได้ด้วยข้อความที่เหมาะสมกะทัดรัด และสื่อความหมายให้ผู้อื่นเข้าใจได้

6.5 บรรยายหรือวาดแผนผัง แสดงตำแหน่งของสถานที่จนสื่อความหมายให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายได้ดีขึ้น โดยอาจเสนอในภาพของตาราง แผนภูมิ แผนภาพ กราฟ สมการ และการเขียนบรรยาย เป็นต้น

7. ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล

ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล หมายถึง ความสามารถในการนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต วัตถุหรือปรากฏการณ์ไปสัมพันธ์กับความรู้ หรือประสบการณ์เดิม (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 33) เพื่อการอธิบาย การลงสรุป การคาดคะเน ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตอย่างมีเหตุผลโดยอาศัยความรู้หรือประสบการณ์เดิม หรือเป็นการใช้ความรู้สึกของตนลงไปใน สิ่งที่เห็นเพื่อแปลความหมายหรือให้ความหมายของสิ่งที่สังเกตได้ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 65) การลงความเห็นมักใช้ประสบการณ์เดิมหรือความรู้เดิมเข้าช่วย เนื่องจากประสบการณ์เดิมของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 160) สามารถอธิบายหรือสรุปเกินข้อมูลที่ได้จากการสังเกตโดยตรงโดยเพิ่มความคิดเห็นส่วนตัวที่มีเหตุผลลงไปด้วยความคิดเห็นส่วนตัวที่เพิ่มลงไปได้จากการใช้ความรู้เดิมประสบการณ์เดิมของข้อมูลประกอบ (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 103) ความสามารถที่แสดงให้เห็นว่าเกิดทักษะการลงความเห็นแล้วคือความสามารถในการอธิบายหรือสรุปเกินข้อมูลที่ได้ จากการสังเกตโดยตรงโดยใช้ความรู้ประสบการณ์เดิมมาช่วยอธิบาย (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 65)

8. ทักษะการพยากรณ์

ทักษะการพยากรณ์ หมายถึง ความสามารถในการทำนายหรือการคาดคะเนสิ่งที่จะเกิดขึ้น ล่วงหน้า อาศัยข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด รวมไปถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ได้ศึกษามาแล้ว (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 36) หรือกฎ ทฤษฎี หลักการหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ มาช่วยในการพยากรณ์ โดยการพยากรณ์จะเที่ยงแม่นยำได้ก็ต่อเมื่อมีการสังเกตอย่างละเอียดลออ รอบคอบ ระมัดระวัง (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 64-65) รวมทั้งการวัดที่ถูกต้อง และการจัดกระทำกับข้อมูลอย่างเหมาะสม (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 159) การพยากรณ์จะมีส่วนช่วยให้การตั้งสมมติฐานให้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การพยากรณ์ อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ การพยากรณ์ภายในขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่และการพยากรณ์ภายนอกขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่ การพยากรณ์ภายในขอบเขตของข้อมูลให้ความเชื่อมั่นหรือมีโอกาสผิดพลาดได้น้อยกว่าการพยากรณ์ภายนอกขอบเขตของข้อมูล (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 104-105)ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการพยากรณ์หรือการทำนาย คือ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้ง แต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป แล้วใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นเครื่องมือในการคาดการณ์คำตอบทั้ง ภายในขอบเขตของข้อมูลหรือภายนอกขอบเขตของข้อมูลได้ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 64-65)

9. ทักษะการตั้งสมมติฐาน

ทักษะการตั้งสมมติฐาน หมายถึง ความสามารถในการคิดหาคำตอบหรือสรุปคำตอบของปัญหาล่วงหน้าก่อนจะทำการทดลอง (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 105-106) เป็นการสันนิษฐานที่คาดคะเนว่าปัญญานั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากอะไร สมมติฐานอาจจะตั้ง ได้หลายข้อ และอาจจะถูกหรือผิดบ้าง หรือถูกทั้ง หมดผิดทั้งหมด (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 37) โดยไม่ทราบความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวกับสิ่งที่ทำนายมาก่อน (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 162) โดยอาศัยการสังเกต ความรู้ และประสบการณ์เดิมหรือหลักการ กฎ และทฤษฎีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการตั้ง สมมติฐานแล้ว คือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 65-66)

9.1 สรุปคำตอบล่วงหน้าก่อนจะทดลองโดยอาศัยการสังเกต ความรู้ประสบการณ์เดิม

9.2 บอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

9.3 มีการตั้งสมมติฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องหรือต่อเนื่องจากการทดลองที่ได้ทดลองมาแล้วซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมา และการแปลความหมายของข้อมูลที่ผ่านมาจะทำให้

เข้าใจเรื่องที่ทำ การทดลองได้เป็นอย่างดี หลังจากนั้นก็สามารถที่จะรวบรวมความรู้ต่าง ๆ คาดคะเนความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในเรื่องลักษณะเดียวกันอย่างมีหลักการ และเหตุผล และสามารถพิสูจน์การคาดคะเนว่าถูกต้องหรือไม่โดยการทดลองต่อไป

10. ทักษะการกำหนด และควบคุมตัวแปร

ทักษะการกำหนด และควบคุมตัวแปร หมายถึง ความสามารถในการชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ต้องควบคุมให้คงที่ในการทดลองหนึ่ง ๆ (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 162) ในการหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ระหว่างตัวแปรในสมมติฐานหนึ่ง ๆ หรือในปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ รวมถึงการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ นอกหรือจากตัวแปรต้นที่จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ถ้าหากไม่ควบคุมให้เหมือนกัน (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 38) เป็นกระบวนที่ใช้กันแพร่หลายในการเสาะแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยตัวแปรจะเป็นตัวกำหนดและควบคุมการทดลองอย่างระมัดระวัง ซึ่งตัวแปรนี้เป็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงหรือแตกต่างจากเดิมเมืออยู่ในสถานการณ์ใดสถานการณ์หนึ่ง มีด้วยกัน 3 ประเภท คือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 67-68)

ตัวแปรต้น (Manipulated Variable หรือ Independent Variable) คือ สิ่งที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดผลต่าง ๆ หรือสิ่งที่ต้องการทดลองว่าเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลเช่นนั้น จริงหรือไม่

ตัวแปรตาม (Responding Variable หรือ Dependent Variable) คือ สิ่งที่เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรต้น เมือตัวแปรต้นหรือสิ่งที่เป็นสาเหตุเปลี่ยนไป ตัวแปรตามหรือสิ่งที่เป็นผลจะเปลี่ยนตามไปด้วย

ตัวแปรควบคุม (Controlling Variable) คือ สิ่งอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากตัวแปรต้นที่มีผลต่อการทดลองด้วย ซึ่งจะต้องควบคุมให้เหมือน ๆ กันไม่เช่นนั้น จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการกำหนด และควบคุมตัวแปร คือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 67-68)

10.1 ชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้

10.2 กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้

11. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ หมายถึง ความสามารถในการกำหนดความหมายและขอบเขตของตัวแปรที่อยู่ในสมมติฐานที่ต้องการทดสอบให้ เข้าใจตรงกัน (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 162) สามารถสังเกต หรือวัด หรือตรวจสอบได้ง่าย (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 108) รวมทั้งเป็นการกำหนดขอบเขตของตัวแปรหรือสิ่งที่จะศึกษา รวมทั้ง ตัวแปรที่จะมีผลเกี่ยวข้องกับการทดลองหรือตัวแปรที่ต้องควบคุมด้วย (วารีรัตน์ แก้วอุไร,

2543, หน้า 67) การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการจะต้องประกอบด้วยสาระสำคัญ 2 ประการ คือ บรรยายวิธีการทดสอบในนิยามให้เห็นอย่างชัดเจน และระบุสิ่งที่จะต้องสังเกตไว้ในคำนิยาม (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 37-38) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ คือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 67)

11.1 สามารถกำหนดความหมาย และขอบเขตของตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมของสิ่งที่ต้องการศึกษาหรือทดลองได้

11.2 สามารถกำหนดความหมาย และขอบเขตของคำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการศึกษาหรือทดลองได้

12. ทักษะการทดลอง

ทักษะการทดลอง หมายถึง ความสามารถในการวางแผนการทดลอง และควบคุมการทดลองได้อย่างเหมาะสม เลือกแบบแผนการทดลองได้ดี เหมาะสม สะดวกในการปฏิบัติง่ายแก่การดำเนินการ (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 162) ตลอดจนการใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง และการบันทึกผลการทดลอง (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 39-40) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้น (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 113) การทดลองเป็นการสร้างเหตุการณ์หรือสถานการณ์จำลองขึ้นมาเพื่อจะได้สำรวจหรือสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้น ภายใต้การควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ไว้แล้ว และสามารถทดลองซ้ำ ได้อีก โดยมีวัตถุประสงค์ของการทดลอง 2 ประการ คือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 68-71)

12.1 ทดลองเพื่อสำรวจหาข้อมูลภายใต้การควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ไว้ โดยลักษณะนี้มักทำการทดลองโดยมีกลุ่มเดียว โดยไม่ต้องมีกลุ่มควบคุมเพื่อเปรียบเทียบ

12.2 ทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน โดยลักษณะนี้จะต้องสร้างสถานการณ์อย่างน้อยเป็น 2 กลุ่ม คือ มีกลุ่มควบคุม (The Controlled Group) และกลุ่มทดลอง (The Experimental Group) การทดลองในลักษณะนี้จะต้องมีกลุ่มควบคุมเพื่อเปรียบเทียบ และกลุ่มทดลองจะเป็นกลุ่มที่ใส่การจัดกระทำ (Treatment) ลงไปเพื่อดูผลกระทบของมันโดยทั้งสองกลุ่มจะต้องพยายามจัดสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ให้เหมือนกันหมดทุกอย่างตลอดการทดลอง เพื่อให้สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าผลที่เกิดขึ้น เกิดเนื่องจากการจัดกระทำที่ทำที่ให้ไปเรียกการทดลองลักษณะนี้ว่า The Controlled Experiment พฤติกรรมที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการทดลองมีดังนี้คือ (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 39-40)

1) กำหนดวิธีการทดลองได้ถูกต้อง และเหมาะสม โดยคำนึงถึงตัวแปรต้นตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องควบคุมด้วย

2) ระบุอุปกรณ์ และสารเคมีที่จะต้องใช้ในการทดลองได้

3) ปฏิบัติการทดลอง และใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้อง และเหมาะสม

4) บันทึกผลการทดลองได้คล่องแคล่ว และถูกต้อง

13. ทักษะการตีความหมายข้อมูล และการลงข้อสรุป

ทักษะการตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป หมายถึง ความสามารถในการแปลความหมาย การบรรยายลักษณะ (วรรณทิพา รอดแรงค้า, 2544, หน้า 163) สมบัติของข้อมูลที่มีอยู่ และการบอกความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่ (ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ, 2544, หน้า 114) ซึ่งอาจอยู่ในภาพของตาราง กราฟ แผนภูมิ หรือแผนภาพต่าง ๆ หรือข้อมูลในภาพเชิงสถิติ ซึ่งการแปลความหมายข้อมูลจะนำไปสู่การทำนาย การลงความเห็นจากข้อมูล หรือการตั้งสมมติฐาน ส่วนการสรุปเป็นการบอกความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือตัวแปรที่ได้จากการทดลอง (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 71-72) เป็นกระบวนการขั้นสุดยอดหรือขั้น สุดท้ายของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์การทดลองใด ๆ แม้ว่าจะออกแบบการทดลองทำการทดลองอย่างรัดกุม ได้ข้อมูลจากการทดลองอย่างละเอียดแต่ถ้าขาดกระบวนการขั้นนี้ก็จะไม่สามารถสรุปผลการทดลอง ตอบรับหรือตอบปฏิเสธสมมติฐานได้ เพราะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป เป็นการมองข้อมูลในทุกแง่ทุกมุม การพิจารณาถึงความหนักแน่นของหลักฐานที่สนับสนุนหรือขัดแย้งการนำประสบการณ์ความรู้ และหลักการคิดหาเหตุผลมาเป็นเครื่องมือในการตีความหมายแล้วจึงลงเป็นข้อสรุปต่อไป(พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 40) ความสามารถที่แสดงว่าเกิดทักษะการตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป คือ (วารีรัตน์ แก้วอุไร, 2543, หน้า 71-72)

13.1 สามารถบรรยายสรุปลักษณะ และสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่จากการทดลองได้

13.2 สามารถสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือตัวแปรที่มีอยู่จากการทดลองได้

จากแนวคิด และเอกสารดังกล่าวจะเห็นได้ว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือหรือวิธีการแก้ปัญหา และค้นคว้าข้อมูลใหม่ ๆ ซึ่งไม่เฉพาะแต่ทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาอื่น ๆ ในชีวิตประจำวันได้อีกด้วย สรุปได้ว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการทางสติปัญญาใช้ในการศึกษาค้นคว้าสืบเสาะหาความรู้ และแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรกฤษณ์ แก้วสุทธิ (2555) ได้พัฒนาชุดทดลองเกี่ยวกับแรงต้านที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแรงต้านอากาศ และแรงต้านในของเหลวโดยใช้เทคนิคภาพถ่ายวิดีโอความเร็วสูง และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชุดการทดลองเพื่อศึกษาแรงต้านอากาศ และแรงต้านในของเหลวด้วยเทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอความ

เร็วสูง นำไปทดสอบกับนักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ชั้นปีที่ 3 ที่ลงกระบวนวิชา 207314 ดังนั้นเพื่อทำการประเมินผลการเรียนรู้ก่อน และหลังเรียนของนักศึกษากลุ่มดังกล่าวในเรื่องแรงต้านอากาศ และแรงต้านในของเหลว โดยใช้กลุ่มผู้เรียนจำนวน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง คือ นักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ชั้นปีที่ 3 ที่ลงกระบวนวิชา 207314 ปีการศึกษา 2555 จำนวน 5 คน และ กลุ่มเปรียบเทียบ คือ นักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ชั้นปีที่ 3 ที่ไม่ได้ลง กระบวนวิชา 207314 ปีการศึกษา 2555 จำนวน 5 คน จากนั้นเพื่อทำการเปรียบเทียบความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องแรงต้านระหว่างสองกลุ่ม พบว่า Normalized change ของกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบมีค่าเท่ากับ 0.41 และ0.25 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองมีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องแรงต้านได้ดีกว่ากลุ่มเปรียบเทียบ

สรายุทธ พรหมราช (2554) พัฒนาการสาธิตสำหรับการสอนการเคลื่อนที่ แบบกลิ้งเพื่อศึกษาการกลิ้งทั้งในทางทฤษฎี และการทดลองโดยได้เริ่มศึกษาการกลิ้งของทรงกระบอกตัน และกลวงลงจากพื้นเอียงโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายวีดีโอความเร็วสูง โดยใช้โปรแกรม Tracker คณะผู้วิจัยพบว่าความเร่งจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุที่มีค่าเท่ากัน และไม่ขึ้นอยู่กับมวลทรงกระบอกตัน มีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าจึงกลิ้งได้เร็วกว่าทรงกระบอกกลวงนอกจากนี้ทรงกระบอกทั้งสองกลิ้งโดยไม่ไถลเมื่อมุมของพื้นเอียงน้อยกว่ามุมวิกฤตค่าจากทฤษฎีของมุมวิกฤตสำหรับทรงกระบอกทั้งสองใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองพบว่าพลังงานกลรวมของทรงกระบอกมีค่าคงที่ในกรณีกลิ้งโดยไม่ไถล

อาบีดีน ดะแซสาเมาะ (2557) ได้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโปรเจ็คไทล์ กรณีศึกษาจรวดขวดน้ำ เป็นกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่ส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญผ่านกิจกรรม การสืบเสาะหาความรู้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวดขวดน้ำโดยทำการยิงที่มุม 45º และความดัน 0.25 0.50 0.75 1.00 และ1.25 bar บันทึกภาพการเคลื่อนที่ของจรวดด้วยกล้องวีดีโอ และวิเคราะห์การเคลื่อนที่ด้วย โปรแกรม Tracker ผลการวิเคราะห์พบว่า จรวดขวดน้ำมีการเคลื่อนที่แบบโปรเจ็คไทล์ ความคลาดเคลื่อนของพิสัยการยิงระหว่างการวัด และการวิเคราะห์ไม่เกินร้อยละ 5 และระยะทางในแนวราบของจรวดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความดันที่ใช้ เป็นไปตามสมการ $S_x = 18.72\ P + 9.35$

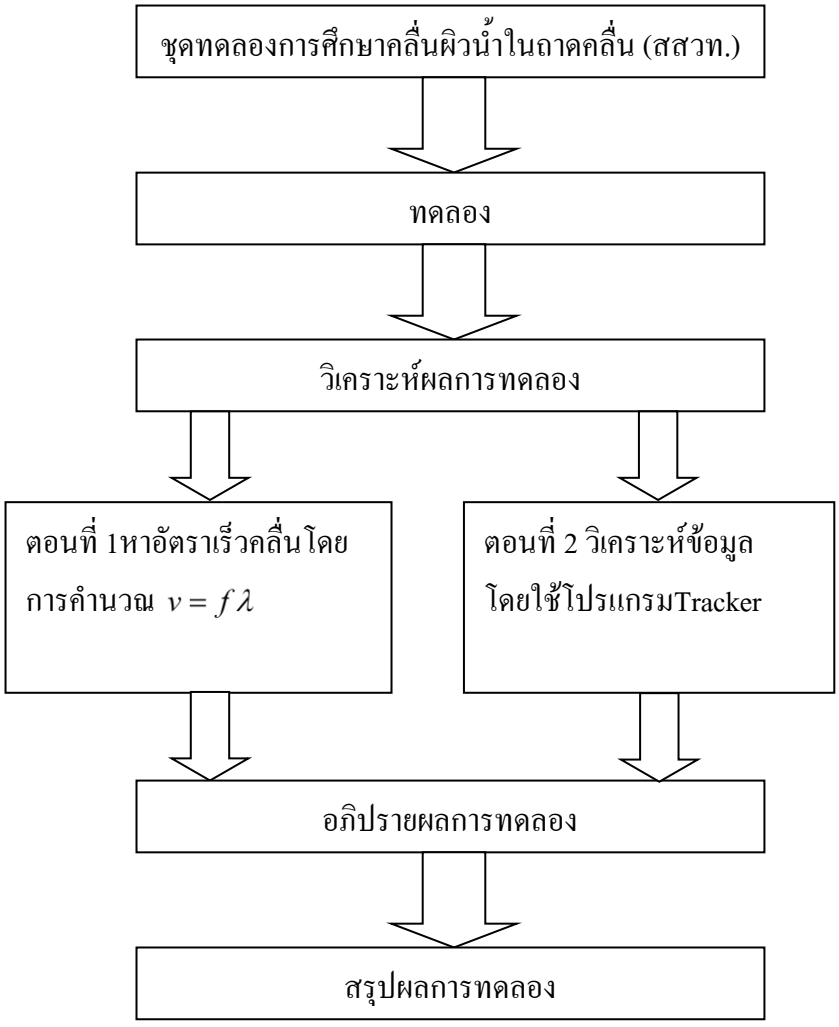
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่าอุปกรณ์การทดลองที่พัฒนาขึ้นหรือสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพทางการศึกษาสูงทำให้มีอุปกรณ์หลากหลายสามารถส่งเสริมการเรียนการสอนให้มีคุณภาพทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนส่วนใหญ่จะสูงกว่าการสอนแบบปกติช่วยให้ไม่จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง และอุปกรณ์ที่สร้างหรือพัฒนาขึ้นใช้วัสดุในประเทศจึงมีราคาถูกกว่า

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการทดสอบหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลในทางทฤษฎีและปฏิบัติโดยใช้ชุดทดลองการศึกษาคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นร่วมกับโปรแกรม Tracker

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการดำเนินการวิจัยแต่ละขั้นมีดังแสดงในแผนภาพตามภาพที่ 3-1

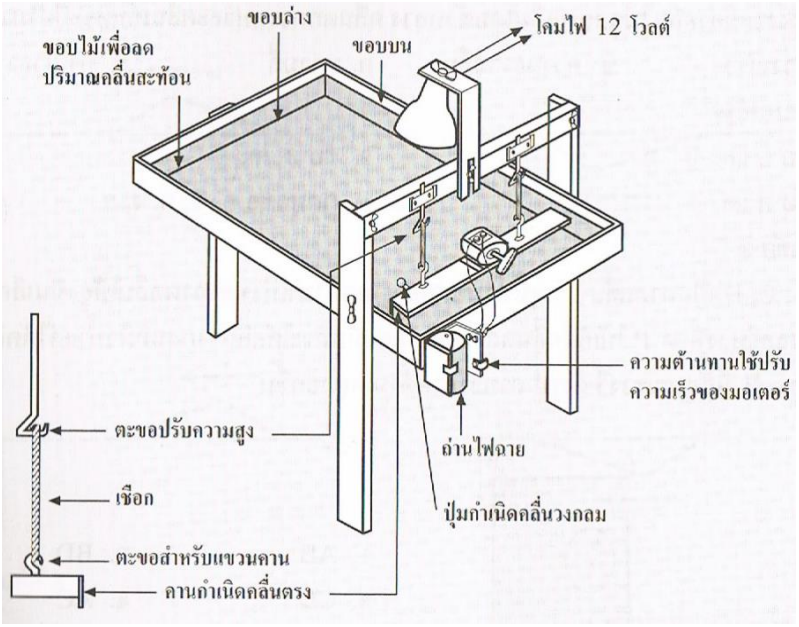


ภาพที่ 3-1 กระบวนการดำเนินการวิจัย

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. ถาดคลื่นขนาด 48 cm × 48 cm × 4 cm โดยวางสูงจากพื้น 32 cm
2. มอเตอร์ตัวกำเนิดคลื่น
3. โคมไฟ 12 โวลต์
4. คานติดอุปกรณ์สำหรับให้เกิดคลื่นชนิดหน้าคลื่นเส้นตรง
5. เม็ดโฟมขนาด 2 mm และ6 mm
6. ฉากรับภาพสำหรับดูคลื่น (วางด้านล่างของถาดคลื่นโดยวางติดกับพื้น)
7. น้ำ
8. โทรศัพท์รุ่น iphone 5s ความละเอียดของกล้องหลัง 8 Mpixels
9. โปรแกรม Tracker
10. เทปวัดระยะ

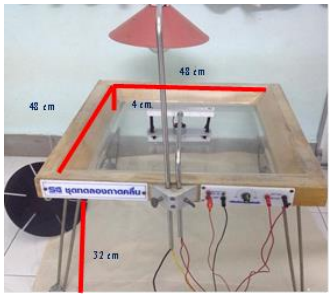


ภาพที่ 3-2 ส่วนประกอบของถาดคลื่น

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางทฤษฎีโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นตามแบบเรียนของ สสวท.

1. นำถาดคลื่นตั้งในตำแหน่งดังภาพที่ 3-3 เติมน้ำลงในถาดให้มีระดับน้ำสูงประมาณ 0.5 – 2.0 เซนติเมตร ปรับขาตั้งของถาดให้มีระดับน้ำสูงสม่ำเสมอเท่ากันตลอด



ภาพที่ 3-3 การติดตั้งถาดคลื่น

2. เสียบปลั๊กโคมไฟเข้ากับไฟ 12 V AC/DC และปลั๊กของมอเตอร์เข้ากับ DC Power Supply 0 – 24 V 3 A

3. เมื่อต้นกำเนิดคลื่นมีความยาวเป็นเส้นตรง ปรับระดับคานเพื่อทำให้ปลายแผ่นอะลูมิเนียมแตะสัมผัสผิวน้ำสม่ำเสมอกันตลอดความยาวของแผ่น เปิดสวิตช์ของ DC Power Supply เพื่อให้มอเตอร์หมุนสั่นทำให้เกิดคลื่น

4. นำฉากรับภาพวางบนพื้นโดยวางข้างใต้ของถาดคลื่นเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน ปรับความถี่หรือปรับระยะห่างของแผ่นฉากกับต้นกำเนิดคลื่นให้พอเหมาะจนกระทั่งมองเห็นรูปแบบคลื่นชัดเจน หมุนแผ่นสโตรโบสโคปโดยให้มองไปยังคลื่น ผ่านช่องของสโตรโบสโคปโดยการมองผ่านช่องใดช่องหนึ่ง หมุนแผ่นสโตรโบสโคปไปจนกระทั่งเห็นคลื่นสั่น เสมือนหยุดนิ่ง แสดงว่าความถี่ของคลื่นสัมพันธ์กับความถี่ของสโตรโบสโคป

ภาพที่ 3-4 การหาความถี่ของคลื่นน้ำในถาดคลื่นจากสโตรโบสโคป

5. ภาพที่เกิดบนฉากจะมองเห็นเป็นแถบมืด และแถบสว่างสลับกันไป ซึ่งระหว่างแถบมืดแรกถึงแถบมืดถัดไป หรือระยะระหว่างแถบสว่างแรกถึงแถบสว่างถัดไป คือระยะความยาวของ ความยาวคลื่นของคลื่นที่ทำการทดลองเมื่อแถบสว่างคือปฏิบัพ และแถบมืดคือบัพของคลื่น บันทึกความยาวคลื่นจากฉากรับภาพที่ระดับต่าง ๆ โดยใช้สูตรดังนี้

$$v = f\lambda$$

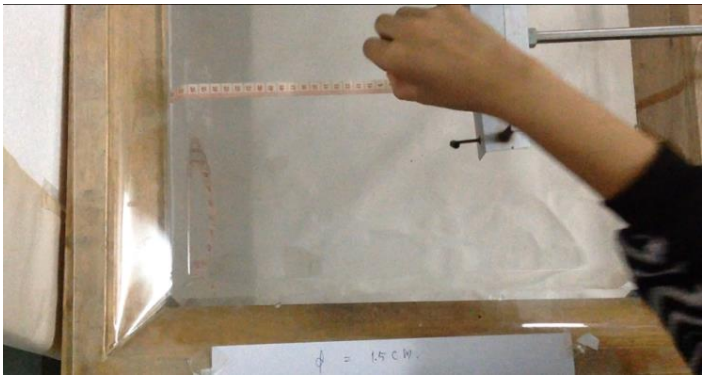
เมื่อ v คืออัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำ (เมตร/วินาที)

f คือความถี่ของคลื่นน้ำในถาดคลื่น (รอบ/วินาที)

λ คือความยาวคลื่นของคลื่นผิวน้ำ (เมตร)

ตอนที่ 2 การหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางทฤษฎีโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น โดยใช้ภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับโปรแกรม Tracker

1. จัดอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 3-5 โดยตั้งกล้องให้อยู่เหนือถาดคลื่น 1 เมตร และนำภาพถ่ายวิดีโอไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Tracker ในการทดลองจะต้องมีการปล่อยเม็ดโฟมสองขนาดได้แก่เม็ดโฟมขนาด 2 mm และเม็ดโฟมขนาด 6 mm สีของเม็ดโฟมที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ สีขาว น้ำเงิน และส้ม โดยทำการหย่อนลงไปในถาดคลื่น ซึ่งในการทดลองจำเป็นต้องมีสเกลแสดงระยะทางที่เม็ดโฟมเคลื่อนที่ได้



ภาพที่ 3-5 ตั้งกล้องในแนวมุมสูงสำหรับชุดทดลองถาดคลื่น

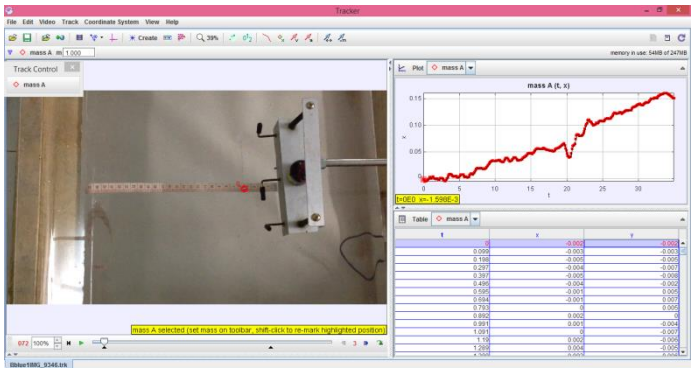
2. ตั้งค่ากล้องโทรศัพท์ให้อยู่ในโหมดวิดีโอ เปิดสวิทช์ให้คานกำเนิดคลื่นสั่นแล้วสังเกตการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมพร้อมทั้งบันทึกภาพวิดีโอแล้วนำไฟล์วิดีโอที่ได้มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Trackerโดยใช้เมาส์คลิกไปที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของเม็ดโฟมในแต่ละเฟรมของภาพถ่ายวิดีโอ

3. วิดีโอที่บันทึกได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker และเนื่องจากความเร็วที่ใช้ในการบันทึกวิดีโอ คือ 33 เฟรม/วินาที จึงต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของการวิเคราะห์เป็น 1/33 = 0.0303 วินาทีต่อเฟรม จากนั้นจึงทำ การวิเคราะห์วิดีโอเพื่อหาวิเคราะห์หาความเร็วของเม็ดโฟมโดยใช้ “data tool” ในโปรแกรมTrackerเพื่อหาอัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำบันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

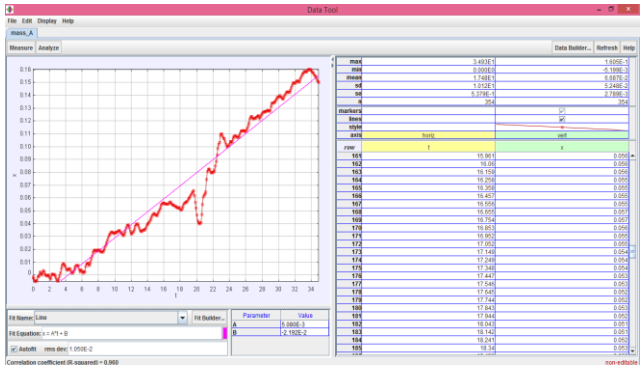
4. หาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทดลองทั้งสองแบบพร้อมทั้งสรุปผลการทดลองหาอัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำในทางทฤษฎีและปฏิบัติที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Tracker โดยใช้ชุดทดลองการศึกษาคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น

การหาเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่าจริง}\right|}{\text{ค่าจริง}} \times 100\,\%$$



ภาพที่ 3-6 การใช้โปรแกรม Tracker ในการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่น



ภาพที่ 3-7 การใช้ “data tool”ในโปรแกรม Tracker เพื่อหาค่าอัตราเร็วคลื่น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบ และพัฒนาชุดทดลองเกี่ยวกับการเกิดคลื่นกลในถาดคลื่นโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ $v = f\lambda$ ที่ได้จากการทดลองในห้องเรียนกับความรู้ทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กันเปรียบเทียบกับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอ ซึ่งรายละเอียดของผลการศึกษาได้แสดงในบทที่ 4 นี้

4.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางทฤษฎีโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นตามแบบเรียนของ สสวท.

4.1.1 การศึกษาหาระยะรับภาพที่เหมาะสมของคลื่นกล จากชุดทดลองถาดคลื่น

จากการศึกษาหาระยะรับภาพที่เหมาะสมของคลื่นผิวน้ำ เพื่อหาความยาวคลื่นของคลื่นผิวน้ำที่ระดับความลึกเดียวกัน เลื่อนระยะรับภาพไว้ที่ระยะ 15 cm 20 cm และ32 cm ที่ระยะ32 cm เป็นระยะของฉากรับภาพที่ตั้งไว้ที่พื้นของชุดทดลองถาดคลื่น ภาพที่ได้มีความคมชัดซึ่งนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ดี และวัดได้แม่นยำ ดังนั้นควรใช้ระยะรับภาพที่วางที่พื้น โดยไม่ต้องยกระดับขึ้นมา

(ก) (ข) (ค)

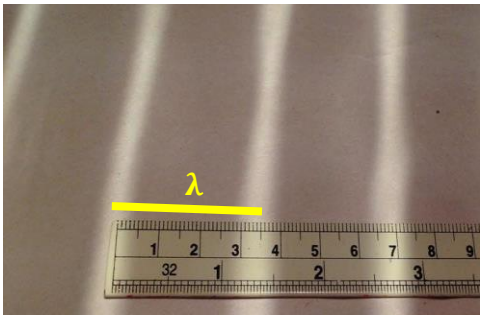
ภาพที่ 4-1 ความยาวคลื่นบนฉากรับภาพ (ก) ระยะรับภาพที่ระยะ 15 cm

(ข) ระยะรับภาพที่ระยะ 20 cm และ(ค) ระยะรับภาพที่ระยะ 32 cm ตามลำดับ

4.1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ของคลื่นกล จากชุดทดลองถาดคลื่น

จากการศึกษาหาอัตราเร็วคลื่นที่ระดับความลึกของน้ำต่าง ๆ กันสามารถหาความถี่ของคลื่นผิวน้ำได้จากนำฉากรับภาพวางบนพื้นโดยวางข้างใต้ของถาดคลื่นเปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน

ปรับความถี่หรือปรับระยะห่างของแผ่นฉากกับต้นกำเนิดคลื่นให้พอเหมาะจนกระทั่งมองเห็นคลื่นสั่นอยู่กับที่ หมุนแผ่นสโตรโบสโคปโดย ให้มองไปยังคลื่น ผ่านช่องของสโตรโบสโคปโดยการมองผ่านช่องใดช่องหนึ่ง หมุนแผ่นสโตรโบสโคปไปจนกระทั่งเห็นคลื่นสั่น เสมือนหยุดนิ่ง แสดงว่าความถี่ของคลื่นสัมพันธ์กับความถี่ของสโตรโบสโคป ในการทดลองความถี่ของถาดคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.098 Hz ในการหาความยาวคลื่นของคลื่นผิวน้ำสามารถวัดได้จากภาพที่ปรากฏบนฉากรับภาพ ซึ่งเกิดเป็นแถบมืดแถบสว่างสลับกันไป เมื่อได้ตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องการแล้วนำไปแทนค่าในสูตร $v = f\lambda$ เพื่อหาค่าของอัตราเร็วของคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น



ภาพที่ 4-2 การวัดความยาวคลื่นบนฉากรับภาพ

ตารางที่ 4-1 การหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลทางทฤษฎีโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น ตามแบบเรียนของ สสวท.

ระดับความลึกของน้ำในถาดคลื่น (cm)	ความยาวคลื่นที่วัดได้ (m)	อัตราเร็วคลื่น $v = f\lambda$ (m/s)
0.5	3.2×10^{-2}	3.136×10^{-3}
1.0	3.3×10^{-2}	3.234×10^{-3}
1.5	3.5×10^{-2}	3.430×10^{-3}
2.0	3.6×10^{-2}	3.528×10^{-3}
2.5	3.7×10^{-2}	3.626×10^{-3}
3.0	3.8×10^{-2}	3.724×10^{-3}

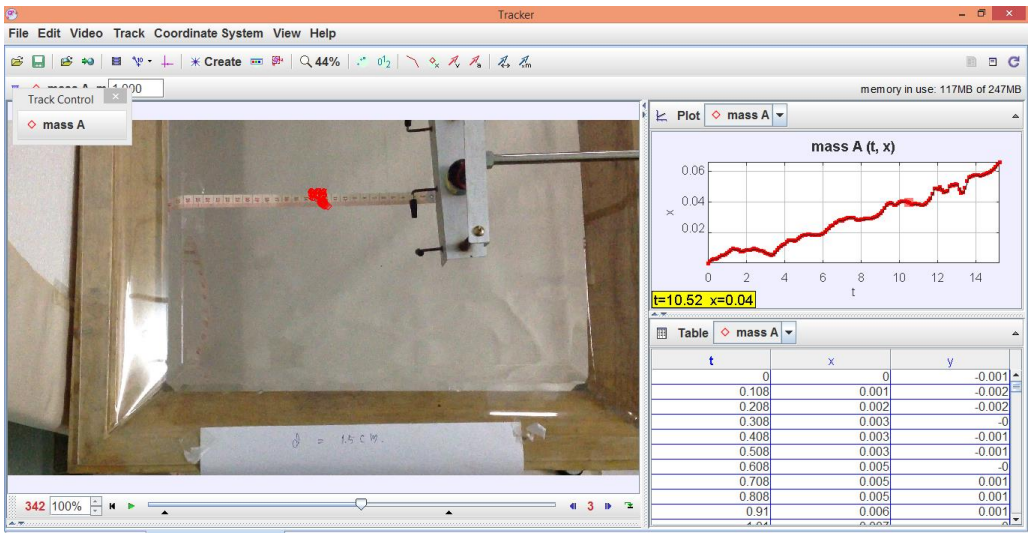
4.2 การหาความสัมพันธ์ของคลื่นกลของชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น โดยใช้ภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับโปรแกรม Tracker

4.2.1 การศึกษาขนาดและสีของเม็ดโฟมที่เหมาะสมเพื่อหาความสัมพันธ์ของคลื่นกล

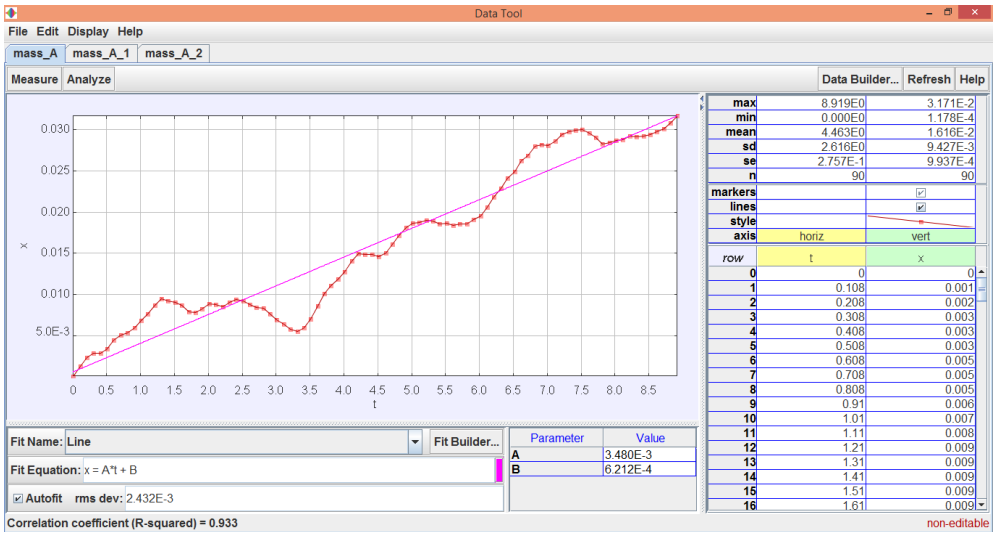
จากการศึกษาขนาดของเม็ดโฟมมี 2 ขนาด ได้แก่ ขนาด 2 mm และขนาด 6 mm ที่ระดับความลึก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ3.0 cm เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Tracker พบว่าขนาดของเม็ดโฟมมีผลต่ออัตราเร็วของคลื่นน้ำในถาดคลื่น ซึ่งเม็ดโฟมขนาด 6 mm สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้แม่นยำกว่าเม็ดโฟมขนาด 2 mm ซึ่งสังเกตได้จากการการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมในโปรแกรม Tracker ซึ่งอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมขนาด 6 mm จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองทางทฤษฎีกว่า อัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมขนาด 2 mm

จากการศึกษาสีของเม็ดโฟมได้แก่ สีขาว สีส้ม และสีน้ำเงิน ที่ระดับความลึก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ3.0 cm เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Tracker พบว่าสีของเม็ดโฟมมีผลต่อการวิเคราะห์อัตราเร็วของคลื่นน้ำในถาดคลื่น สีของเม็ดโฟมที่มีสีเข้ม ซึ่งเป็นสีน้ำเงินซึ่งมองเห็นได้ชัดเจนตัดกับสีของฉากหลัง โปรแกรม Tracker สามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมได้แม่นยำกว่าเม็ดโฟมที่มีสีอ่อนได้แก่สีส้ม และสีขาว เนื่องจากมีสีที่กลมกลืมกับฉากหลัง ส่งผลให้อัตราเร็วที่วิเคราะห์จากเม็ดโฟมที่มีสีน้ำเงินมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองทางทฤษฎีมากกว่าอัตราเร็วที่วิเคราะห์จากเม็ดโฟมที่มีสีอ่อน

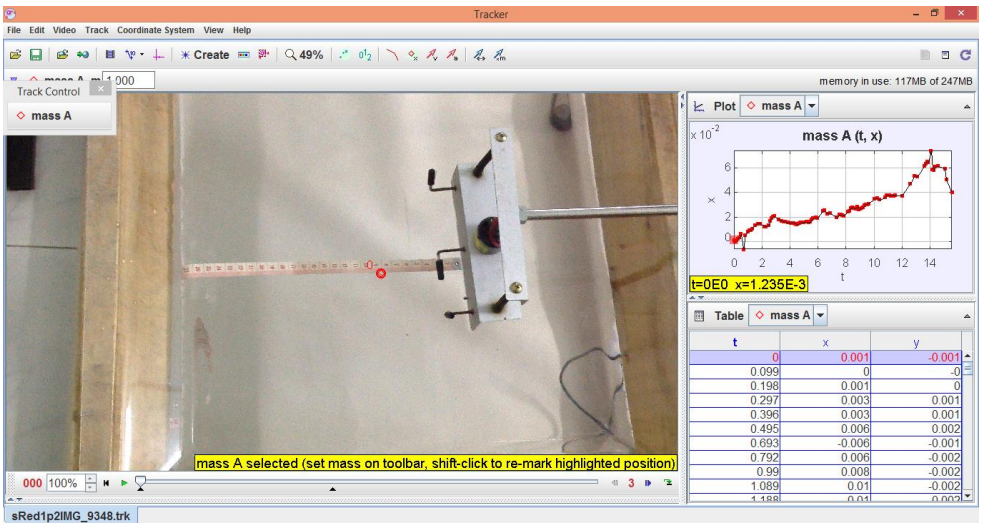
จากภาพที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm ที่ระดับความลึก 1.5 cm เมื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเม็ดโฟมอัตราเร็วคลื่น เป็นอัตราเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ไปแบบเชิงเส้น จึงวิเคราะห์ด้วยสมการเส้นตรงได้ดังนี้ $x = 3.480 \times 10^{-3}t + 6.212 \times 10^{-4}$ มีค่า $R^2 = 0.933$ จากสมการเส้นตรงสามารถหาอัตราเร็วคลื่นได้จากความชัดของกราฟซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.480 m/s และจากภาพที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีขาวขนาด 2 mm ที่ระดับความลึก 1.5 cm วิเคราะห์ด้วยสมการเส้นตรงได้ดังนี้ $x = 3.569 \times 10^{-3}t + 1.203 \times 10^{-3}$ มีค่า $R^2 = 0.868$ จากสมการเส้นตรงสามารถหาอัตราเร็วคลื่นได้จากความชันของกราฟซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.569 m/s จากข้อมูลข้างต้นพบว่าค่า R^2 ของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm มีค่าเข้าใกล้ 1 เป็นข้อมูลที่มีประสิทธิภาพดีกว่าข้อมูลของเม็ดโฟมสีขาว



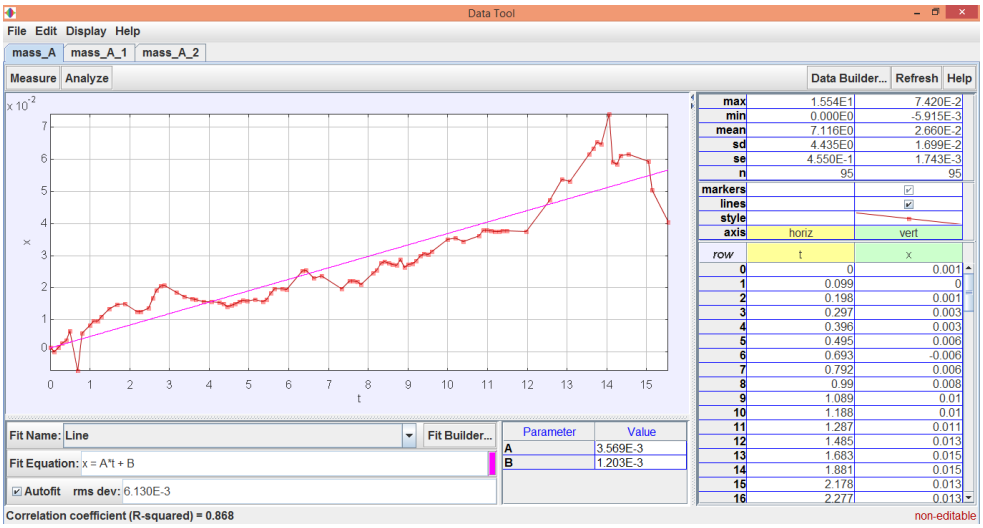
ภาพที่ 4-3 การวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm



ภาพที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm



ภาพที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีขาวขนาด 2 mm



ภาพที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีขาวขนาด 2 mm

4.2.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกลทางทฤษฎีและปฏิบัติการโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่นร่วมกับการวิเคราะห์จากภาพวิดีโอโดยใช้โปรแกรม Tracker

จากตาราง 4-2 การวิเคราะห์หาอัตราเร็วคลื่นจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker และอัตราเร็วจากการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ระดับความลึก 0.5 1.0 และ1.5 cm ทั้งสองวิธีสามารถหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่นได้ จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0.32 0.34 และ1.46 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการกำหนดระยะอ้างอิง และระยะห่างในการบันทึกภาพ

(พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์ และจิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล, 2555; Glawtanong, Ritphan, Sirisathitkul, Yaiprasert, & Sirisathitkul, 2011)

ตารางที่ 4-2 การศึกษาขนาดและสีของเม็ดโฟมที่เหมาะสมเพื่อหาความสัมพันธ์ของคลื่นกล ที่ระดับความลึก 1.5 cm

ขนาดของเม็ดโฟม (mm)	สีของเม็ดโฟม	อัตราเร็วคลื่น (m/s)	R^2	ความคลาดเคลื่อน (%)
2	ขาว	2.345×10^{-3}	0.898	31.6
	ส้ม	2.765×10^{-3}	0.833	19.38
	น้ำเงิน	3.569×10^{-3}	0.868	4.05
6	ขาว	2.570×10^{-3}	0.903	25.07
	ส้ม	3.095×10^{-3}	0.870	9.76
	น้ำเงิน	3.480×10^{-3}	0.993	1.46

ตารางที่ 4-3 อัตราเร็วคลื่นจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker โดยใช้เม็ดโฟมสีน้ำเงิน ขนาด 6 mm และอัตราเร็วจากการคำนวณทางทฤษฎี

ระดับความลึก (cm)	อัตราเร็วคลื่น (m/s)		ความคลาดเคลื่อน (%)
	การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker	การคำนวณ	
0.5	3.135×10^{-3}	3.136×10^{-3}	0.32
1.0	3.245×10^{-3}	3.234×10^{-3}	0.34
1.5	3.480×10^{-3}	3.430×10^{-3}	1.46
2.0	3.540×10^{-3}	3.528×10^{-3}	0.34
2.5	3.609×10^{-3}	3.626×10^{-3}	0.46
3.0	3.779×10^{-3}	3.724×10^{-3}	1.47

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

5.1 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาหาระยะรับภาพที่เหมาะสมของคลื่นผิวน้ำ เพื่อหาความยาวคลื่นของคลื่นผิวน้ำที่ระดับความลึกเดียวกัน เลื่อนระยะรับภาพไว้ที่ระยะ 15 cm 20 cm และ32 cm ที่ระยะ32 cmเป็นระยะของฉากรับภาพที่ตั้งไว้ที่พื้นของชุดทดลองถาดคลื่น ภาพที่ได้มีความคมชัด ซึ่งนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ดี และวัดได้แม่นยำ ดังนั้นควรใช้ระยะรับภาพที่วางที่พื้น โดยไม่ต้องยกระดับขึ้นมา

2. การวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm ที่ระดับความลึก 1.5 cm เมื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเม็ดโฟม อัตราเร็วคลื่นเป็นอัตราเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ไปแบบเชิงเส้น จึงวิเคราะห์ด้วยสมการเส้นตรงได้ดังนี้ $x = 3.480 \times 10^{-3}t + 6.212 \times 10^{-4}$ มีค่า $R^2 = 0.933$ จากสมการเส้นตรงสามารถหาอัตราเร็วคลื่นได้จากความชันของกราฟซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.480 m/s และจากรูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การหาอัตราเร็วคลื่นของเม็ดโฟมสีขาวขนาด 2 mm ที่ระดับความลึก 1.5 cm วิเคราะห์ด้วยสมการเส้นตรงได้ดังนี้ $x = 3.569 \times 10^{-3}t + 1.203 \times 10^{-3}$ มีค่า $R^2 = 0.868$ จากสมการเส้นตรงสามารถหาอัตราเร็วคลื่นได้จากความชันของกราฟซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.569 m/s จากข้อมูลข้างต้นพบว่าค่า R^2 ของเม็ดโฟมสีน้ำเงินขนาด 6 mm มีค่าเข้าใกล้ 1 เป็นข้อมูลที่มีประสิทธิภาพดีกว่าข้อมูลของเม็ดโฟมสีขาว

3. การหาอัตราเร็วคลื่นจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker และอัตราเร็วจากการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ระดับความลึก 0.5 1.0 และ1.5 cm ทั้งสองวิธีสามารถหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่นได้ จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0.32 0.34 และ1.46 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการกำหนดระยะอ้างอิง และระยะห่างในการบันทึกภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการฝึกอบรมการใช้โปรแกรม Tracker เพื่อพัฒนาให้กับครูวิทยาศาสตร์ และครูฟิสิกส์ในโรงเรียน และสถาบันการศึกษาต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทดลองได้เอง

2. โรงเรียน และสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ควรนำโปรแกรม Tracker ไปวิเคราะห์ผลการทดลองฟิสิกส์ เพื่อให้ผู้เรียนได้นำเทคโนโลยีสมัยใหม่ปรับใช้ร่วมกับการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์ และสามารถจัดหาได้ง่าย เพื่อให้นักเรียนนักศึกษามีโอกาสได้ใช้เครื่องมือมากกว่าการเรียนการสอนในห้องเรียนปัจจุบัน

บรรณานุกรม

จักรกฤษณ์ แก้วสุทธิ. (2555). *การพัฒนาชุดทดลองเกี่ยวกับแรงต้านที่ใช้เทคนิค การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทนง อัครธีรานนท์. (2549). *การพัฒนาสโตรโบสโคปสำหรับทำปฏิบัติการ และการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่น*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตร และการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ทนง อัครธีรานนท์. (2552). *การพัฒนาออสซิลโลสโคปจากคอมพิวเตอร์ตกรุ่นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์ และสัญญาณคลื่นทางไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตร และการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

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

ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. (2545, กรกฎาคม–ธันวาคม). ชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบความแม่นยำสูง. *วารสารศรีปทุมปริทัศน์*, *2*(2), 15.

พวงทอง มีมั่งคั่ง. (2537). *การสอนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา*. กรุงเทพฯ: พัฒนาศึกษา.

ยุพา วีระไวทยะ และปรียา นพคุณ. (2544). *สอนวิทยาศาสตร์แบบมืออาชีพ*. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสดศรี–สฤษดิ์วงศ์

ภพ เลาหไพบูลย์. (2543). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

วรรณทิพา รอดแรงค้า. (2544). *การสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการ*. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

วารีรัตน์ แก้วอุไร. (2543). *สถานภาพและความต้องการที่มีต่อการจัดการเรียนการสอนแบบผู้เรียนสรรค์สร้างความรู้ด้วยตนเองของผู้บริหาร ครู และนักเรียน ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จังหวัดพิษณุโลก*. พิษณุโลก: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

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

ศิริเพ็ญ จึงตระกูล. (2542). *การสร้างชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ช่วยสอนวิชาวิทยาศาสตร์ในชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น*. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สนอง ทองปาน. (2537). *การศึกษาผลการใช้เครื่องอัดขยายภาพขาวดำที่พัฒนาขึ้นในการสอนอัดขยายภาพสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น.* วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร-มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สมปัญญา ศรีภคนานนท์. (2535). *การศึกษาความสามารถในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ และความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยใช้ชุดกิจกรรมสร้างสิ่งประดิษฐ์กับชุดกิจกรรมซ่อมแซมแปลงสิ่งประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์.* วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร-มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการมัธยมศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สรายุทธ พรหมราช. (2554). *การพัฒนาการสาธิตสาหรับการสอนการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการสอนฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อาบีดี ดะแซสาเมาะ อิบรอเฮง จารง และอันวา หะยีบากา. (2557). วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโปรเจ็คไทล์ กรณีศึกษาจรวดขวดน้ำ. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 6*(3), 83-91.

Brown, D. (2012). *Tracker video analysis and modeling tool*. Retrieved from http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/.

Caswell, Tom, Henson, Shelley, Jensen, Marion, & Wiley, David. (2008). Open content and open educational resources: *Enabling universal education. The International Review of Research in Open and Distance Learning, 9*(1), 11.

Christian, Wolfgang, & Esquembre, Francisco. (2012, Jul 04, 2011 - Jul 06, 2011). *Computational Modeling with Open Source Physics and Easy Java Simulations*. Paper presented at the South African National Institute for Theoretical Physics Event, University of Pretoria, South Africa.

Glawtanong, P., Ritphan, S., Sirisathitkul, C., Yaiprasert, C., & Sirisathitkul, Y. (2011). Studies of Free Falling Object and Simple Pendulum Using Digital Video Analysis. *Walailak J Sci& Tech 2011, 8*(1), 63-69.

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

Vollmer, M., & Mollmann, K.P. (2011). High speed and slow motion: The technology of modern high speed cameras. *Physics Education, 46*(2), 191-202.

Wee, Loo Kang. (2008). *Ejs Open Source Projectile Motion with Drag Java Applet.* Retrieved from http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=745.0 (Open Source Physics, Singapore, 2010).

Wee, Loo Kang, Chew, Charles, Goh, Giam Hwee, Tan, Samuel, & Lee, Tat Leong. (2012). Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education, 47*(4), 448.

ภาคผนวก

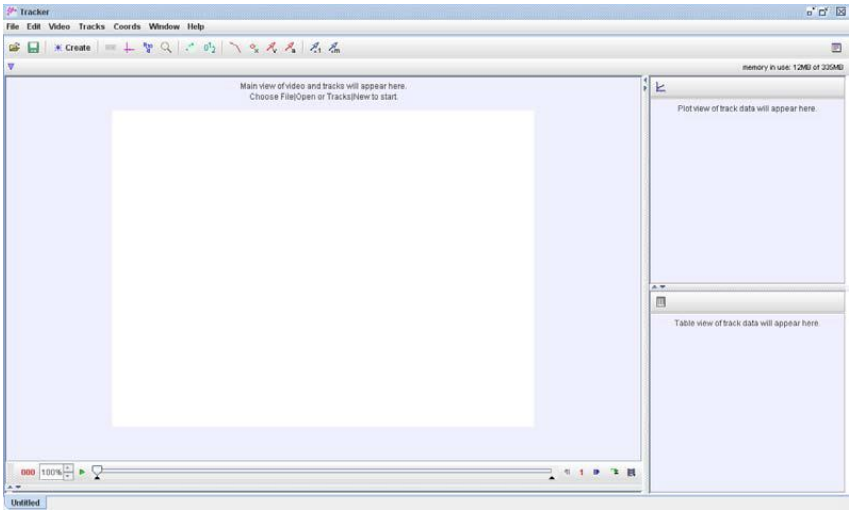
ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้โปรแกรม Tracker

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Tracker

โปรแกรม Tracker เป็น open source physics (OSP) สามารถหาตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่งของวัตถุ จากวิดีโอ และเลือกกรอบอ้างอิง (reference frames) ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งแบบ พิกัดฉาก และพิกัดเชิงขั้ว รวมทั้งวิเคราะห์ สเปกตรัม โมเดลการเคลื่อนที่ของอนุภาค

1.เริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม Tracker

เข้าสู่โปรแกรม Tracker โดย Double Click ไอคอน ที่ Desktop ของเครื่องคอมพิวเตอร์ จะเข้าสู่หน้าแรกของโปรแกรมดังภาพ ก-1

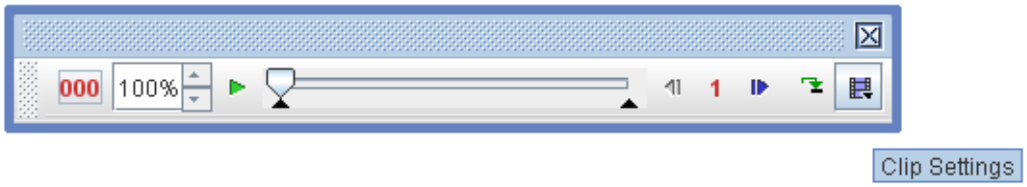


ภาพที่ ก-1 หน้าแรกของโปรแกรม Tracker

2.วิเคราะห์ข้อมูล

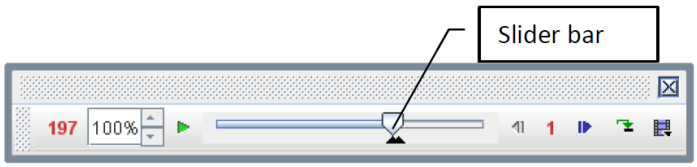
2.1 เปิดวิดีโอที่บันทึกไว้จากกล้องถ่ายภาพ โดย Click คำสั่ง File → Import จาก Drive ของกล้องถ่ายภาพ เลือกไฟล์ที่มีนามสกุล .avi หรือ .mov ที่ต้องการวิเคราะห์

2.2 เลือกช่วงของเฟรมที่ต้องการวิเคราะห์โดยเลือกคำสั่ง Clip settings ดังภาพ ก-2



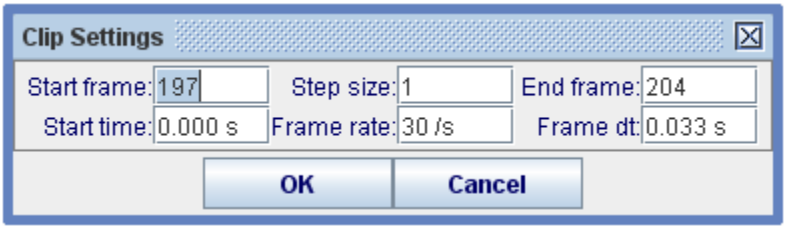
ภาพที่ ก-2 Clip settings

ใช้เมาส์เลื่อนตรงตำแหน่งแถบเลื่อนเพื่อสแกนเลือกเฟรมที่ต้องการวิเคราะห์



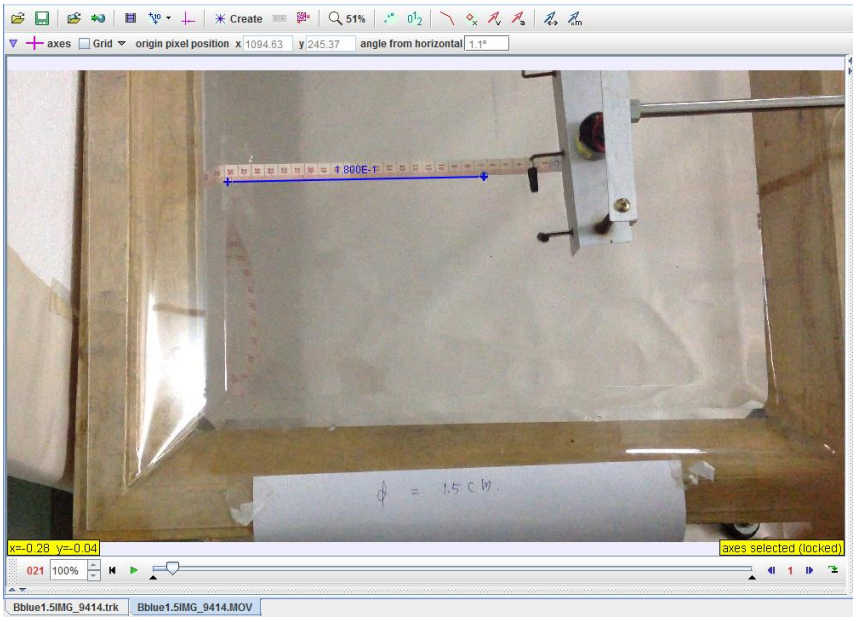
ภาพที่ ก-3 slider bar

เลือกเฟรมที่ต้องการวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่นเลือกเฟรมที่ 197 ถึง 204 ดังภาพที่ ก-4



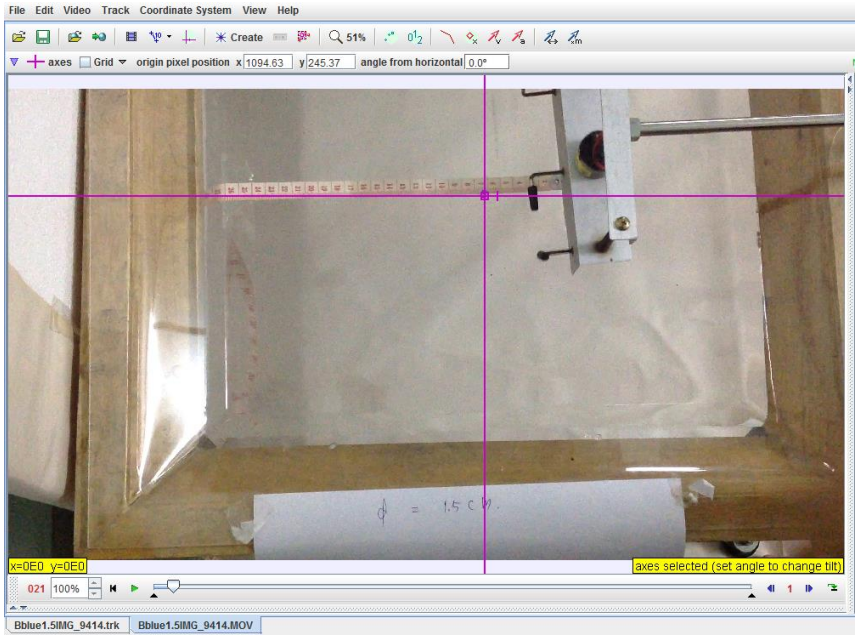
ภาพที่ ก-4 ตั้งค่าเฟรมที่ต้องการวิเคราะห์

2.3 ทำการ Calibrate ระยะในวิดีโอกับระยะจริงโดยใช้คำสั่ง ใช้เมาส์เลื่อนที่ปลายลูกศร แล้วเลื่อนเมาส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัด



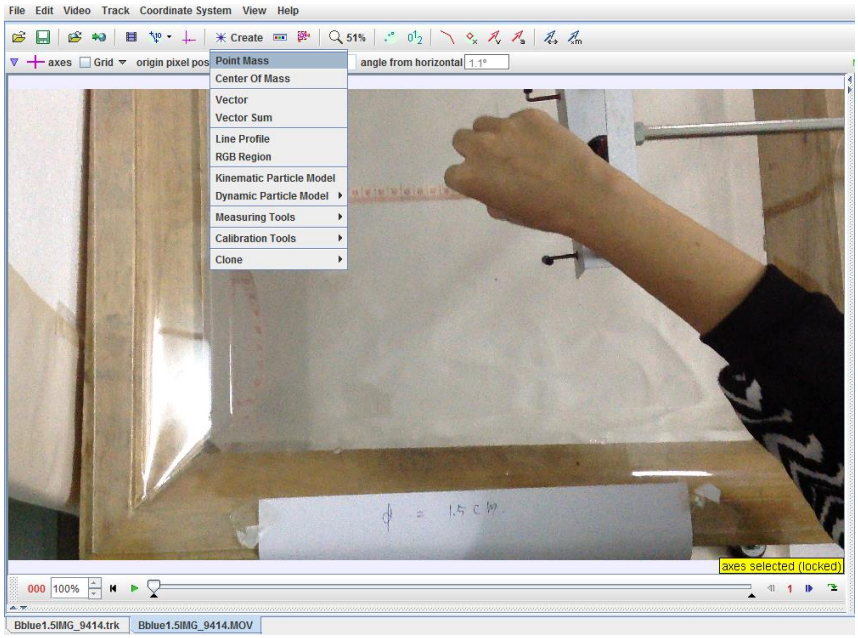
ภาพที่ ก-5 Calibrate ระยะในภาพกับระยะจริง

2.4 เลือกแกนอ้างอิงจากคำสั่ง Axes มีภาพไอคอน คือเลื่อนแกนอ้างอิงไว้ตามความเหมาะสม และความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลดังภาพที่ ก-6



ภาพที่ ก-6 กำหนดแกนอ้างอิง

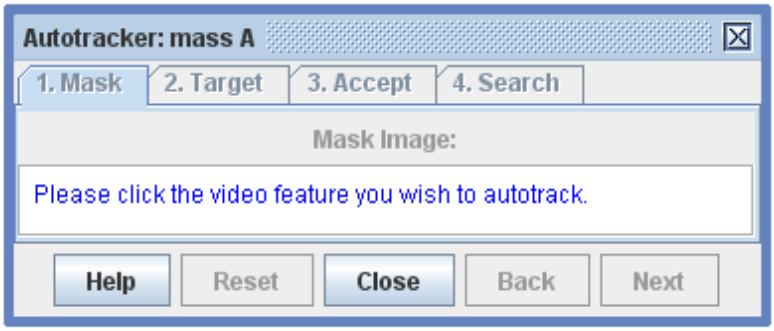
2.5 Tracker ข้อมูลจากวิดีโอโดยเลือกคำสั่ง Tracker⟶New⟶ Point mass ดังภาพที่ ก-7



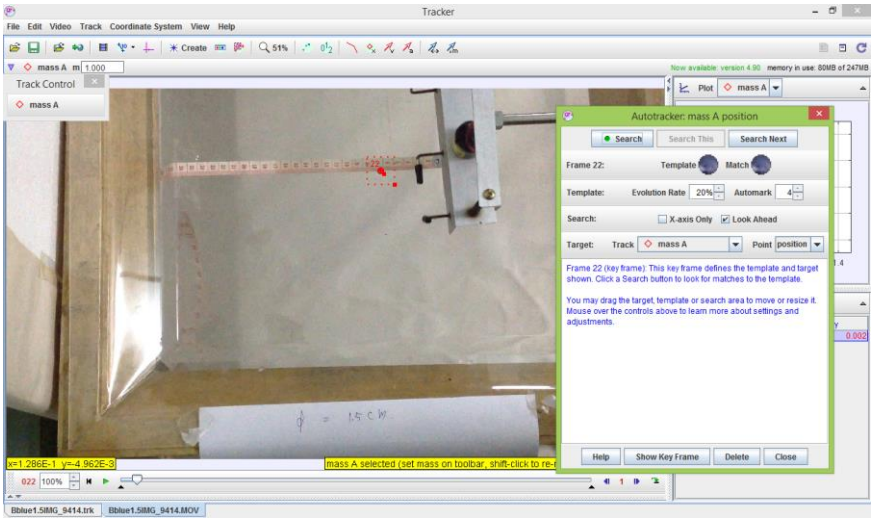
ภาพที่ ก-7 Tracker

แล้วเลือกคำสั่ง autotracker ดังภาพที่ ก-8 จะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ ก-9 คลิกเพื่อเลือกวัตถุในวิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์

ภาพที่ ก-8 Autotracker

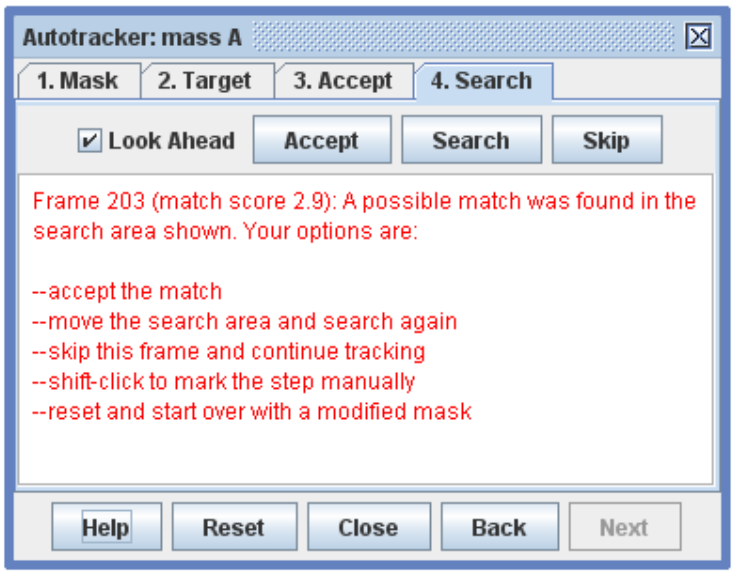


ภาพที่ ก-9 หน้าต่าง Autotracker



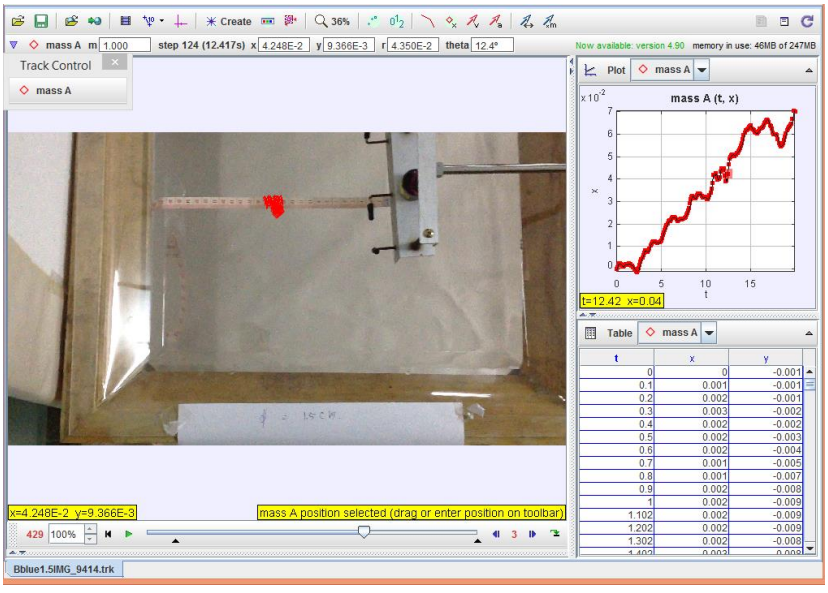
ภาพที่ ก-10 เลือกวัตถุในวิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์

ปรับขนาดของตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์ให้เหมะสมกับวัตถุดังภาพที่ ก-10 เมื่อปรับขนาดของส่วนที่ต้องการ Tracker แล้วให้คลิกไอคอน Next เพื่อกำหนด Target ที่ต้องการ เก็บข้อมูลของตำแหน่ง และเวลา แล้วเลือก Accept score above ที่ระดับ 4 คลิกไอคอน Next เลือกคำสั่ง Start เมื่อปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ ก-11 ให้หยุดปิดหน้าต่างนี้เมื่อไม่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูล หรือใช้คำสั่ง Accept เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลต่อ



ภาพที่ ก-11 Accept เพื่อทำการ Tracker ต่อ

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง



ภาพที่ ก-12 ผลการทดลองจากโปรแกรม Tracker

ภาคผนวก ข

การคำนวณการหาอัตราเร็วของคลื่นกลทางทฤษฎีโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น ตามแบบเรียนของ สสวท.

การคำนวณการหาอัตราเร็วของคลื่นกลทางทฤษฎีโดยใช้ชุดทดลองคลื่นผิวน้ำในถาดคลื่น ตามแบบเรียนของ สสวท.

1) ความลึกของน้ำในถาดคลื่นที่ระดับ 0.5 cm

<u>การคำนวณ</u>

ในการทดลองความถี่ของถาดคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.098 Hz

ความยาวคลื่นที่วัดได้จากการทดลอง คือ 3.2×10^{-2} m

จากสมการหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่น $v = f\lambda$

แทนค่าในสมการ $= 0.098 \times \left(3.2 \times 10^{-2}\right)$

$= 3.136 \times 10^{-3} m/s$

ดังนั้นอัตราเร็วคลื่นของคลื่นกลในถาดคลื่นที่ระดับความลึก 0.5 cm มีค่าเป็น $3.136 \times 10^{-3} m/s$

2) ความลึกของน้ำในถาดคลื่นที่ระดับ 1.0 cm

<u>การคำนวณ</u>

ในการทดลองความถี่ของถาดคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.098 Hz

ความยาวคลื่นที่วัดได้จากการทดลอง คือ 3.3×10^{-2} m

จากสมการหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่น $v = f\lambda$

แทนค่าในสมการ $= 0.098 \times \left(3.3 \times 10^{-2}\right)$

$= 3.430 \times 10^{-3} m/s$

ดังนั้นอัตราเร็วคลื่นของคลื่นกลในถาดคลื่นที่ระดับความลึก 0.5 cm มีค่าเป็น $3.234 \times 10^{-3} m/s$

3) ความลึกของน้ำในถาดคลื่นที่ระดับ 1.5 cm

<u>การคำนวณ</u>

ในการทดลองความถี่ของถาดคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.098 Hz

ความยาวคลื่นที่วัดได้จากการทดลอง คือ 3.5×10^{-2} m

จากสมการหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่น $v = f\lambda$

แทนค่าในสมการ $= 0.098 \times \left(3.5 \times 10^{-2}\right)$

$= 3.430 \times 10^{-3} m/s$

ดังนั้นอัตราเร็วคลื่นของคลื่นกลในถาดคลื่นที่ระดับความลึก 0.5 cm มีค่าเป็น $3.430 \times 10^{-3} m/s$

4) ความลึกของน้ำในถาดคลื่นที่ระดับ 2.0 cm

<u>การคำนวณ</u>

ในการทดลองความถี่ของถาดคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.098 Hz

ความยาวคลื่นที่วัดได้จากการทดลอง คือ 3.6×10^{-2} m

จากสมการหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่น $v = f\lambda$

แทนค่าในสมการ $= 0.098 \times \left(3.6 \times 10^{-2}\right)$

$= 3.528 \times 10^{-3} m/s$

ดังนั้นอัตราเร็วคลื่นของคลื่นกลในถาดคลื่นที่ระดับความลึก 0.5 cm มีค่าเป็น $3.528 \times 10^{-3} m/s$

5) ความลึกของน้ำในถาดคลื่นที่ระดับ 2.5 cm

<u>การคำนวณ</u>

ในการทดลองความถี่ของถาดคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.098 Hz

ความยาวคลื่นที่วัดได้จากการทดลอง คือ 3.7×10^{-2} m

จากสมการหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่น $v = f\lambda$

แทนค่าในสมการ $= 0.098 \times \left(3.7 \times 10^{-2}\right)$

$= 3.626 \times 10^{-3} m/s$

ดังนั้นอัตราเร็วคลื่นของคลื่นกลในถาดคลื่นที่ระดับความลึก 0.5 cm มีค่าเป็น $3.626 \times 10^{-3} m/s$

6) ความลึกของน้ำในถาดคลื่นที่ระดับ 3.0 cm

<u>การคำนวณ</u>

ในการทดลองความถี่ของถาดคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.098 Hz

ความยาวคลื่นที่วัดได้จากการทดลอง คือ 3.8×10^{-2} m

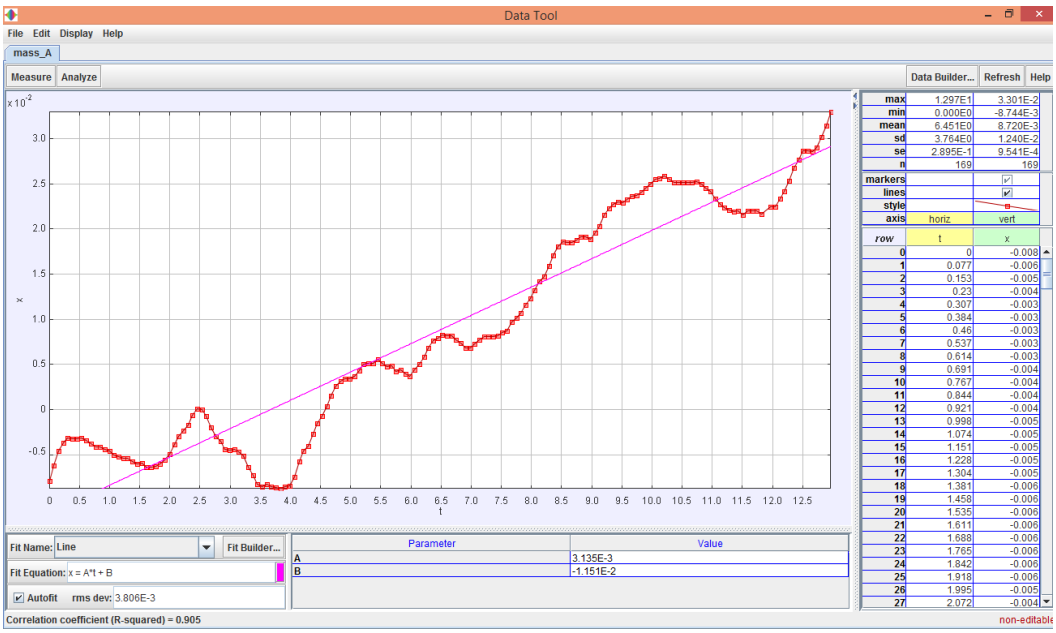
จากสมการหาอัตราเร็วคลื่นในถาดคลื่น $v = f\lambda$

แทนค่าในสมการ $= 0.098 \times \left(3.8 \times 10^{-2}\right)$

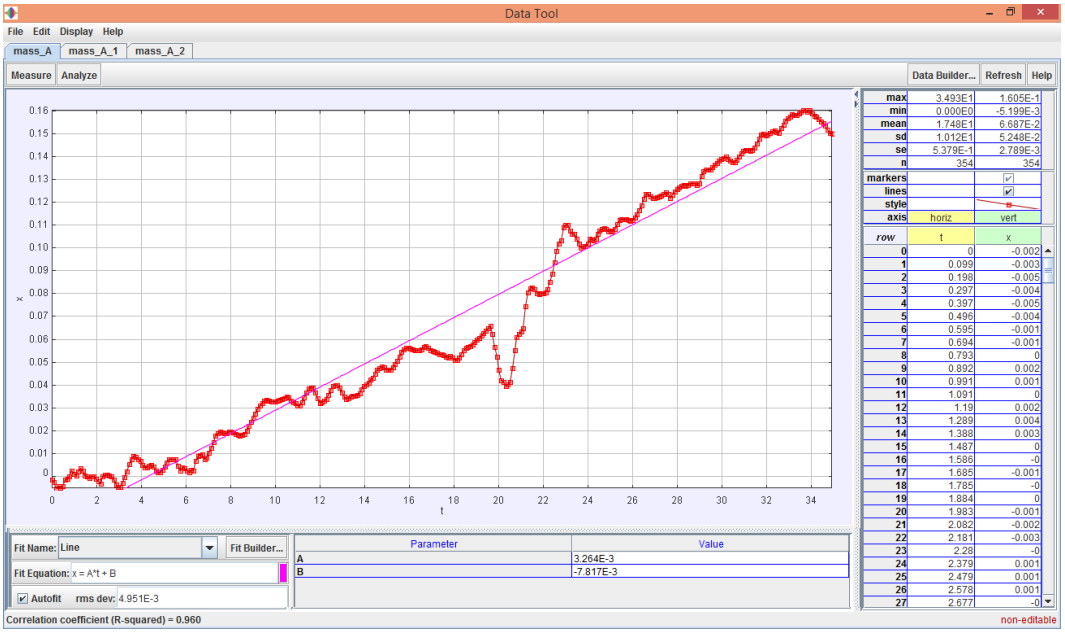
$= 3.724 \times 10^{-3} m/s$

ดังนั้นอัตราเร็วคลื่นของคลื่นกลในถาดคลื่นที่ระดับความลึก 0.5 cm มีค่าเป็น $3.724 \times 10^{-3} m/$

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ข้อมูล

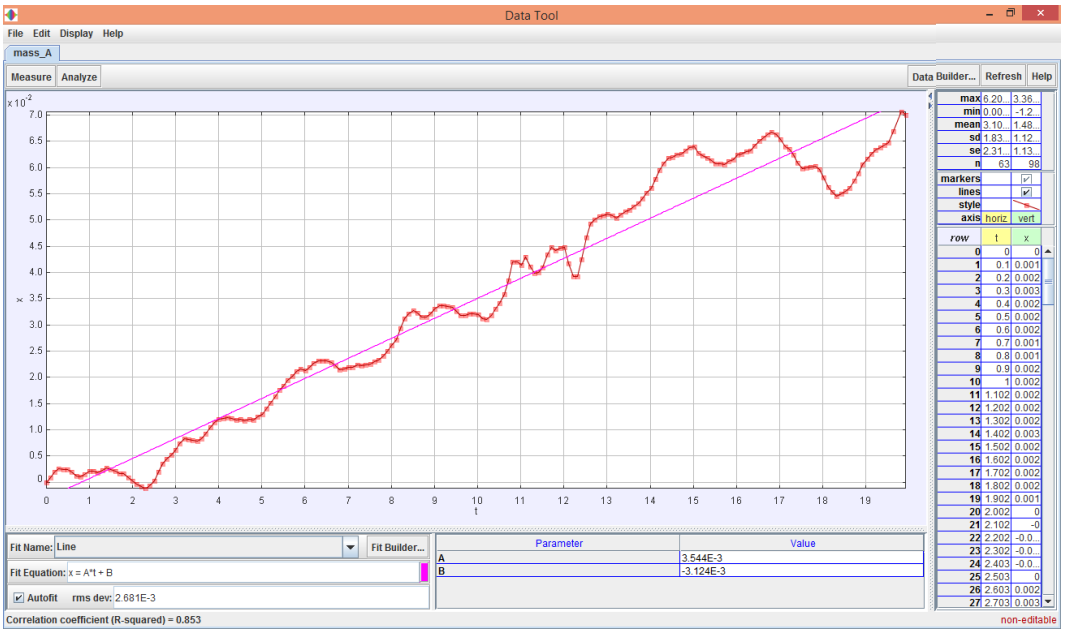


ภาพที่ ค-1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 0.5 cm



ภาพที่ ค-2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 1.0 cm

ภาพที่ ค-3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 1.5 cm



ภาพที่ ค-4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 2.0 cm

ภาพที่ ค-5 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 2.5 cm

ภาพที่ ค-6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม Tracker ที่ระดับความลึก 3.0 cm