

การพัฒนาและประเมินผลชุดทดลองคลื่นนิ่งแบบพกพาราคาถูกเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ฟิสิกส์

Development and Evaluation of a Low-Cost and Portable Standing Wave Experiment Kit to Enhance Physics Learning

ศุภโชค พุทธิสารวิมล¹ สุธิดา รักกะเปา² สิงหา ประสิทธิ์พงศ์³

พรปวีณ อวยพร⁴ และ สุระ วุฒิพรหม^{5*}

Supachoke Puttisanwimon¹ Suttida Rakkapao² Singha Prasitpong³

Pornpaween Ouyphon⁴ and Sura Wuttiprom^{5*}

¹สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

(Division of Science Education, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University)

²สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ – ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(Division of Physical Science - Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University)

³สาขาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

(Division of Science and Mathematics Teaching, Faculty of Education, Thaksin University)

⁴โรงประลองต้นแบบทางวิศวกรรม โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา

(Fabrication Lab, Hatyai Wittayalai Somboonkul Kanya School)

⁵ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

(Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนา ประเมินผล และประยุกต์ใช้ชุดทดลองแบบพกพาราคาถูกสำหรับแสดงการเกิดคลื่นนิ่งในชั้นเรียน โดยมีเป้าหมายสร้างเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและราคาย่อมเยาช่วยให้นักเรียนสามารถสังเกต ปรับเปลี่ยน และตรวจวัดปรากฏการณ์ของคลื่นได้โดยตรงเพื่อส่งเสริมความเข้าใจเรื่องคลื่นในวิชาฟิสิกส์ ชุดทดลองผสมผสานเทคโนโลยีสมัยใหม่ ได้แก่ เซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับสร้างและทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือก โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ชุดวัดระยะทาง ชุดสร้างความถี่ และชุดทดลองพร้อมชุดแกนรอก งานวิจัยนี้ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน โดยประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์ 5 ท่าน ทดสอบความแม่นยำของชุดทดลอง และสำรวจความพึงพอใจของนักเรียน ผลการวิจัยพบว่า ชุดทดลองวัดค่าได้อย่างแม่นยำและทำซ้ำได้โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอัตราเร็วคลื่นเพียง 0.89% เมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมากด้านอุปกรณ์มีการออกแบบที่ดี ใช้งานง่าย และมีคุณค่าทางการศึกษา อีกทั้งนักเรียนยังแสดงถึงความพึงพอใจมากที่สุดเนื่องจากชุดทดลองช่วยกระตุ้นและเสริมสร้างความเข้าใจคลื่นนิ่งได้อย่างชัดเจน ดังนั้นชุดทดลองดังกล่าวสามารถเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ผ่านการทดลองลงมือปฏิบัติจริง ช่วยให้การเรียนรู้ฟิสิกส์สำหรับนักเรียนเข้าถึงได้ง่ายและน่าสนใจยิ่งขึ้น บ่งชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มของการพัฒนาเครื่องมือและวิธีการสอนฟิสิกส์ในอนาคต

คำสำคัญ: ชุดทดลองแบบพกพา คลื่นนิ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์

ABSTRACT

This study focuses on the development, evaluation, and educational application of a low-cost, portable experimental device designed to demonstrate standing waves in a classroom setting. The aim was to create an affordable and effective tool that allows students to directly observe, manipulate, and measure wave phenomena, enhancing their understanding of wave physics. The device incorporates modern technologies such as electronic sensors, microcontrollers, and other components to generate and measure standing waves on a flexible string. It consists of three main sections: a distance measurement unit, a frequency generation module, and the testing unit with a pulley system. The research employed a mixed-methods approach, including expert evaluations from five physics specialists, experimental testing to assess the device's accuracy, and student feedback. The results demonstrated that the device produces accurate, reproducible measurements, with an average deviation of 0.89% when compared to theoretical predictions of wave speed. Expert evaluations rated the device highly in terms of its physical design, functionality, ease of use, and educational value. Furthermore, students reported a high level of satisfaction, highlighting the device's ability to foster engagement and deepen their understanding of standing waves. This research contributes to the integration of affordable, technology-driven tools in science education, offering a practical solution for teaching complex concepts in physics. The findings suggest that such devices can enhance the learning experience by promoting active, hands-on experimentation, making physics more accessible and engaging for students. The study has implications for future developments in educational tools and methods in physics teaching.

KEYWORDS: Portable experimental kit, Standing wave, Microcontroller, Sensor

**Corresponding author, E-mail: sura.w@ubu.ac.th Tel.081-8707303*

Received: 6 December 2024 / Revised: 28 January 2025/ Accepted: 19 February 2025/Published online: 30 April 2025

บทนำ

สื่อการสอนและการเรียนรู้ด้วยปฏิบัติการทดลองที่บูรณาการเข้ากับแนวทางการสอนฟิสิกส์ที่เหมาะสมสามารถสนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งในชั้นเรียนบรรยายและห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ให้เข้าใจถึงหลักการและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้อย่างเป็นรูปธรรมชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้การทดลองทางฟิสิกส์จะช่วยยืนยันหรือปรับปรุงทฤษฎี พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการแก้ปัญหา (The institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2019) แสดงให้เห็นว่าการทดลองเป็นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ด้วยการลงมือทำสอดคล้องกับธรรมชาติของวิชาวิทยาศาสตร์ (Wuttiprom, 2013) ชุดทดลองจัดว่าเป็นสื่อการสอนหนึ่งที่สำคัญต่อการเรียนรู้ด้วยปฏิบัติการทดลอง การใช้งานชุดทดลองทางฟิสิกส์ที่มีความแม่นยำและสามารถควบคุมปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ได้จะช่วยลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเข้าใจหลักการหรือทฤษฎีนั้นได้อย่างถูกต้อง

ปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ชื่อว่า Arduino ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์แบบ open-source สามารถติดตั้งเซ็นเซอร์ที่หลากหลายเพื่อตรวจวัดพารามิเตอร์ทางกายภาพต่าง ๆ ได้ เช่น ระยะทาง เวลา แรง กระแสไฟฟ้า ความต้านทาน สนามแม่เหล็ก ฯลฯ (Buachoom et al., 2020) อีกทั้งยังมีราคาไม่แพงและใช้งานง่ายจึงมีบทบาทมากขึ้นในการนำมาใช้พัฒนาสื่อการสอนหรือชุดการทดลองทางฟิสิกส์ ซึ่งช่วยให้การทดลองมีความแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลผ่านการทำงานของเซ็นเซอร์ได้อย่างละเอียดและรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น การพัฒนาชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของมวลติดสปริงด้วย Arduino ร่วมกับ Ultrasonic sensor ช่วยให้คำนวณค่าคงที่ของสปริงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 (Sasom & Jupamoto, 2019), ชุดทดลองวัดค่ายังโมดูลัสของ Phayphung et al. (2022) ซึ่งวัดค่ายังโมดูลัสในไม้บรรทัดเหล็กโดยใช้ Infrared sensor ตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุแล้วส่งสัญญาณไปยัง Arduino board เพื่อประมวลผลและแสดงผลเป็นค่าความถี่บนจอ LCD, หรือจะเป็นการพัฒนาชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบวงกลมโดยวัดค่าความเร็วเชิงมุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ (Count Motor Speed Sensor) ร่วมกับการใช้ Arduino วิเคราะห์หาค่ารัศมีวงกลมพบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมีความคลาดเคลื่อนเพียง 2.87% เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ Arduino และเซ็นเซอร์ชนิดต่าง ๆ มีศักยภาพในการนำมาปรับปรุงและพัฒนาชุดการทดลองทางฟิสิกส์ทั้งในด้านความแม่นยำ ความสะดวกสบาย และการประมวลผลข้อมูลแบบทันที

จากผลการศึกษาข้อมูลการสอนของผู้วิจัยที่ผ่านมาในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ประกอบกับการสำรวจความเข้าใจของนักเรียนโดยใช้แบบประเมินความเข้าใจเรื่องคลื่นกล (Mechanical Wave Conceptual Survey: MWCS) ซึ่งเป็นแบบประเมินมาตรฐานจากงานวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (Tongchai et al., 2009; Wittmann, 1998) กับนักเรียนกลุ่มที่ยังไม่เคยเรียน (73 คน) และนักเรียนที่ได้เรียนรู้หัวข้อเรื่องคลื่นมาแล้ว (77 คน) พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ของทั้งสองกลุ่มมีความเข้าใจผิดมากที่สุดเกี่ยวกับเนื้อหาข้อเรื่องคลื่นนิ่ง (Puttisanwimon & Wuttirom, 2023) ตัวอย่างความเข้าใจผิดที่พบ เช่น นักเรียนเชื่อว่า ถ้าเพิ่มมวลโดยที่ปัจจัยอื่นยังคงเหมือนเดิมจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งใหม่แต่มีความยาวคลื่นลดลงเนื่องจากเมื่อความตึงเชือกเพิ่มขึ้นจะทำให้เชือกสั่นได้ยากขึ้น, นักเรียนเข้าใจว่าการเปลี่ยนแปลงมวลจะทำให้เชือกสั่นได้ยากขึ้นตามแรงตึงที่เพิ่มขึ้นด้วย, หรือแม้กระทั่งนักเรียนคิดว่าความยาวคลื่นขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นเชือกโดยไม่มีผลจากความถี่ซึ่งนักเรียนหลงลืมความสัมพันธ์เกี่ยวกับสมการอัตราเร็วของคลื่น $v = \lambda f$ เป็นต้น ทั้งนี้จากการเรียนการสอนเรื่องคลื่นนิ่งที่ผ่านมาของผู้วิจัยจะมีกิจกรรมการทดลองเรื่องคลื่นนิ่งในเส้นเชือกถูกบรรจุไว้เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ในหัวข้อพฤติกรรมของคลื่นตามเนื้อหาของหลักสูตรสถานศึกษาซึ่งสอดคล้องและอ้างอิงตามเนื้อหาบทที่ 9 เรื่อง คลื่น ของหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2019) กิจกรรมดังกล่าวต้องการให้ผู้เรียนสังเกตและอธิบายคลื่นนิ่งในเส้นเชือกด้วยชุดทดลองเดิมซึ่งมีวัสดุอุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องเคาะสัญญาณเวลา เชือกสายป่านาวา หม้อแปลงไฟฟ้า โวลต์ต่ำพร้อมสายไฟ รางไม้พร้อมรอก และนอต ถึงแม้ว่าชุดทดลองนี้จะใช้งานไม่ยากแต่มีวัสดุอุปกรณ์หลายอย่างที่จัดรวมให้เป็น 1 ชุดการทดลองซึ่งอาจเกิดความลำบากยากในการเคลื่อนย้ายและหากวัสดุอุปกรณ์ชิ้นใดชำรุดจะส่งผลให้ชุดทดลองนี้ไม่สมบูรณ์พร้อมใช้งานได้ อีกทั้งเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่ใช้สร้างความถี่ของการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกนี้ยังมีค่าคงที่ 50 เฮิรตซ์ ซึ่งไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการ นอกจากนี้แม้ว่าจะมีชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกสำเร็จรูปจัดจำหน่ายในประเทศไทย แต่กลับพบว่ามักมีราคาสูง ขนาดใหญ่ วัสดุอุปกรณ์ซับซ้อน รวมถึงความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นยังคงไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ (Akkaratheeranun, 2012) ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกเดิมจึงส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเพียงแค่ว่า

การเกิดและลักษณะของคลื่นนิ่งในเส้นเชือกด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่งเท่านั้นแต่ยังไม่สนับสนุนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และแนวคิดผ่านการทดลองที่หลากหลายมากพอ ตัวอย่างเช่น การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความถี่คลื่น ความยาวคลื่น และอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกที่มีผลต่อการเกิดจำนวนบ่วงของคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่แตกต่างกัน และการทดลองวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นจากปัจจัยที่แตกต่างกัน เป็นต้น ส่งผลให้นักเรียนยังคงมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์บนบอร์ด Arduino มาเป็นสื่อการสอนฟิสิกส์จะช่วยพัฒนาการเรียนรู้ฟิสิกส์ในห้องเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษาพบว่ามีกรานาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ Arduino board และเซนเซอร์เข้ามาพัฒนาเป็นชุดทดลองเกี่ยวกับคลื่นนิ่งเพื่อใช้ปรับแก้ปัญหาการศึกษาของผู้เรียน ตัวอย่างเช่น การพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับทำปฏิบัติการและการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เรื่องคลื่นโดยมีการใช้ซอฟต์แวร์ที่ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานเป็นเครื่องผลิตสัญญาณความถี่ได้ ซึ่งทำให้สามารถใช้หาอัตราเร็วของคลื่นบนเส้นเชือกและค่าความหนาแน่นมวลเชิงเส้นของเส้นเชือกที่ใช้ทดลองได้ (Akkaratheeranun, 2012) โดย Thipchurat et al. (2012) ได้สร้างเครื่องกำเนิดความถี่แบบปรับค่าได้สำหรับการทดลองเรื่องคลื่นนิ่งในเส้นเชือกโดยควบคุมการสั่นของเครื่องเคาะสัญญาณเวลาด้วยการออกแบบวงจรเครื่องกำเนิดความถี่ปรับค่าได้ 4 ค่า โดยใช้ ไอซี 74HC4017, ไอซี 74HC393 และวัดความเร็วรอบด้วย Digital Photo Tachometer MDT-22448 ซึ่งจากงานวิจัยนี้ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กำลังสองกับคาบและหาค่าความหนาแน่นเชิงเส้นของเชือกได้ นอกจากนี้ Lisboa et al. (2021) ได้ออกแบบและพัฒนาห้องปฏิบัติการสอนฟิสิกส์สำหรับนักเรียนที่พิการทางสายตาเพื่อวัดความยาวคลื่นของคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกโดยปรับเปลี่ยนการกำหนดความยาวคลื่นของคลื่นนิ่งจากการตรวจสอบตำแหน่งบัพและปฏิบัพด้วยสายตามาเป็นการใช้ระดับเสียงที่สร้างโดยการตีกระทบปิ๊กของกีตาร์ที่จุดต่าง ๆ ตามแนวสายเส้นของกีตาร์ผ่านการทำงานของระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ร่วมกับอัลตราโซนิกเซนเซอร์ HC-SR04 ทดแทน จากงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญและเป้าหมายของการนำเทคโนโลยีมาช่วยแก้ปัญหาหรือพัฒนาการเรียนรู้เรื่องคลื่นนิ่งในรายวิชาฟิสิกส์ผ่านชุดการทดลองด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติเพิ่มมากขึ้นได้ทั้งในระดับโรงเรียนและมหาวิทยาลัยซึ่งส่งเสริมและเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียนทำให้เกิดการเรียนรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องได้ (Lahme et al., 2023)

งานวิจัยนี้จึงสนใจออกแบบและพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่มีราคาถูกและสามารถพกพาได้โดยการนำเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์บนบอร์ด Arduino มาผสมผสานไว้ด้วยกัน เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถประกอบใช้งานง่าย มีความคงทน ปรับเปลี่ยนปัจจัยและประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ปัญหาที่หลากหลายได้มากขึ้น รวมทั้งผลการวัดมีความถูกต้องแม่นยำและสะดวกรวดเร็ว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้น

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดทดลองแบบพกพาราคาถูก หมายถึง ชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้นให้มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักน้อย เคลื่อนย้ายสะดวก ราคาประหยัด แต่ยังคงสามารถนำมาใช้ในปฏิบัติการทดลองได้จริง และมีผลการทดลองถูกต้องเทียบเท่ากับชุดทดลองเดิมที่มีวัสดุอุปกรณ์ซับซ้อน ขนาดใหญ่ และราคาแพง ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์ หมายถึง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาร่วมใช้ผ่านการควบคุมด้วยการใช้รหัสคำสั่ง (coding) ปฏิบัติการตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณชนิดต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ของงานที่ต้องการ ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้บอร์ดประมวลผล Arduino Nano ร่วมกับเซ็นเซอร์ Ultrasonic sensor HC-SR04 สำหรับการเก็บข้อมูลจากการตรวจวัดระยะทางด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed-methods) เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพหุพาราคาถูก จากนั้นนำไปประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นผ่านกิจกรรมการทดลองหาอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกเปรียบเทียบกับค่าคำนวณจากสมการทางทฤษฎี และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การออกแบบและพัฒนาชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพหุพาราคาถูก

วัสดุและอุปกรณ์ของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพหุพาราคาถูกที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นในครั้งนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ชุดวัดระยะทาง ชุดสร้างความถี่ และชุดกล่องทดลองพร้อมชุดแกนรอก รายละเอียดวัสดุอุปกรณ์และการประกอบมีดังนี้

ส่วนที่ 1 ชุดวัดระยะทาง เป็นส่วนประกอบของชุดทดลองสำหรับการวัดระยะทางของคลื่นนิ่งในเส้นเชือกกระหว่างแกนเส้นเชือกจนถึงแกนรอกแขวนวัตถุมวลถ่วง ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ บอร์ดทดลอง Arduino Nano board, เซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic sensor HC-SR04, จอภาพ OLED board, แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า Power Bank Supply 5 Volt และสายไฟสีต่าง ๆ สำหรับเชื่อมต่อวงจรของอุปกรณ์ โดยประกอบชุดวัดระยะทางดังนี้

1. ศึกษาและออกแบบวงจรชุดวัดระยะทาง ดัง Figure 1

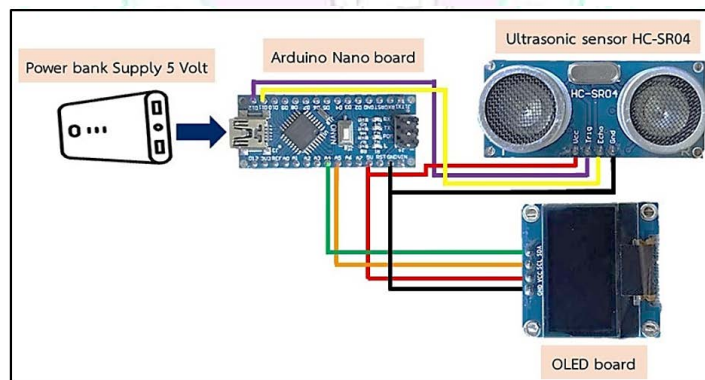


Figure 1 วัสดุอุปกรณ์และวงจรชุดวัดระยะทาง

2. เชื่อมต่อวงจรเซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic sensor HC-SR04 เข้ากับบอร์ดทดลอง Arduino Nano board โดยเริ่มจากใช้สายไฟเชื่อมต่อขา Pin Trig ของเซ็นเซอร์เข้ากับขา Pin D12 ของบอร์ด (เส้นสีม่วง) และเชื่อมต่อขา Pin Echo ของเซ็นเซอร์เข้ากับขา Pin D11 ของบอร์ด (เส้นสีเหลือง) จากนั้นเชื่อมต่อขา Pin Vcc ของเซ็นเซอร์เข้ากับขา Pin 5V ของบอร์ด (เส้นสีแดง) และเชื่อมต่อขา Pin Gnd ของเซ็นเซอร์เข้ากับขา Pin GND ของบอร์ด (เส้นสีดำ)

3. เชื่อมต่อวงจรจอภาพแสดงผล OLED board เข้ากับบอร์ดทดลอง Arduino Nano board โดยเริ่มจากใช้สายไฟเชื่อมต่อขา Pin SDA ของจอภาพเข้ากับขา Pin A4 ของบอร์ด (เส้นสีเขียว) และเชื่อมต่อขา Pin SCL ของจอภาพเข้ากับขา Pin A5 ของบอร์ด (เส้นสีส้ม) จากนั้นเชื่อมต่อขา Pin VCC ของจอภาพเข้ากับขา Pin 5V ของบอร์ด (เส้นสีแดง) และเชื่อมต่อขา Pin GND ของจอภาพเข้ากับขา Pin GND ของบอร์ด (เส้นสีดำ)

4. เขียนโค้ดการทำงานสำหรับ Ultrasonic sensor HC-SR04 และ OLED board จากนั้น upload โค้ดลง Arduino Nano board (สามารถดัดแปลงจากโค้ดตัวอย่างสำเร็จรูปที่สืบค้นได้ทั่วไป)

5. เชื่อมต่อแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า Power Bank Supply 5 Volt เข้ากับบอร์ดทดลอง Arduino Nano board โดยเชื่อมต่อผ่านสาย USB เข้ากับช่อง Mini USB ของบอร์ดโดยตรงได้เลย (ตำแหน่งลูกศรสีน้ำเงิน)

ส่วนที่ 2 ขุดสร้างความถี่ เป็นส่วนประกอบของชุดทดลองสำหรับเป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณสร้างความถี่ให้กับแหล่งกำเนิดความถี่การสั่นแกนเชือกของชุดทดลอง ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM วงจรความถี่พัลส์โมดูลปรับได้พร้อมจอแสดงผล LCD, บอร์ดขยายสัญญาณเสียง TDA2822M 2.0, ดอกลำโพงขนาด 2" 4Ω 15W, แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า Power Bank Supply 5 Volt, ชุดแปลงแรงดันไฟฟ้า DC-DC Step up 5V to 10V Micro USB MT3608 2A และสายไฟสำหรับเชื่อมต่อวงจรของอุปกรณ์ โดยประกอบชุดสร้างคามถี่ดังนี้

1. ศึกษาและออกแบบวงจรชุดสร้างคามถี่ ดัง Figure 2 (เส้นสีแดงแทนขั้วไฟฟ้าบวกและเส้นสีดำแทนขั้วไฟฟ้าลบ สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชิ้นในวงจรเข้าด้วยกัน)

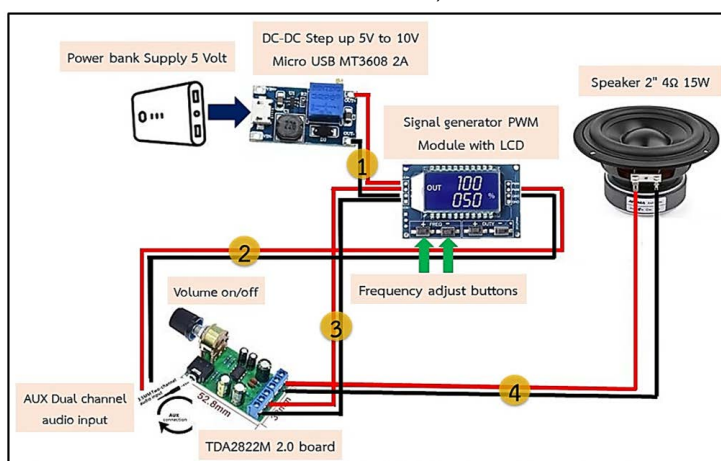


Figure 2 วัสดุอุปกรณ์และวงจรชุดสร้างคามถี่

2. เชื่อมต่อแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า Power Bank Supply 5 Volt เข้ากับชุดแปลงแรงดันไฟฟ้า DC-DC Step up 5V to 10V Micro USB MT3608 2A โดยใช้สายเชื่อมต่อ USB ผ่านช่องเสียบ (ตำแหน่งลูกศรสีน้ำเงิน)

3. เชื่อมต่อชุดแปลงแรงดันไฟฟ้า DC-DC Step up 5V to 10V Micro USB MT3608 2A เข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM วงจรความถี่พัลส์โมดูลปรับได้พร้อมจอแสดงผล LCD (หมายเลข 1) โดยใช้สายไฟเชื่อมต่อขา OUT + ของชุดแปลงแรงดันไฟฟ้าเข้ากับขา VIN + ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM (เส้นสีแดง) และเชื่อมต่อขา OUT - ของชุดแปลงแรงดันไฟฟ้าเข้ากับขา VIN - ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM (เส้นสีดำ)

4. เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM วงจรความถี่พัลส์โมดูลปรับได้พร้อมจอแสดงผล LCD เข้ากับบอร์ดขยายสัญญาณเสียง TDA2822M 2.0 โดยใช้สายไฟที่แปลงจากสายเชื่อมต่อเสียง AUX Dual channel ต่อผ่านเข้าช่อง audio input ของบอร์ดเชื่อมต่อไปยังขา PWM (เส้นสีแดง) และ ขา GND (เส้นสีดำ) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM (หมายเลข 2) จากนั้นใช้สายไฟเชื่อมต่อบอร์ดขยายสัญญาณเสียง TDA2822M 2.0 จากช่องขา DC + ไปยังขา VIN + (เส้นสีแดง) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM และช่องขา DC - ไปยังขา VIN - (เส้นสีดำ) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM (หมายเลข 3) ทั้งนี้เครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM จะใช้ปรับเลือกค่าความถี่ได้ตั้งแต่ 1 Hz – 150 kHz โดยการกดปุ่ม FREQ เพื่อปรับเพิ่ม (+) หรือลด (-) ค่าความถี่ได้ตามค่าตัวแปรของการทดลองที่ต้องการ (ตำแหน่งลูกศรสีเขียว)

5. เชื่อมต่อบอร์ดขยายสัญญาณเสียง TDA2822M 2.0 เข้ากับดอกลำโพงขนาด 2" 4Ω 15W (หมายเลข 4) โดยใช้สายไฟเชื่อมต่อขา R/L + ของบอร์ดเข้ากับขาหัวบวกของดอกลำโพง (เส้นสีแดง) และเชื่อมต่อขา R/L – ของบอร์ดเข้ากับขาหัวลบของดอกลำโพง (เส้นสีดำ) ตามลำดับ ทั้งนี้บอร์ดขยายสัญญาณเสียง TDA2822M 2.0 จะใช้ควบคุมการเปิดหรือปิดสัญญาณเสียงไปยังดอกลำโพงได้ด้วยการหมุนปุ่ม Volume on/off ที่ติดมากับบอร์ด (ตำแหน่งปุ่มหมุนสีดำ)

ส่วนที่ 3 ชุดกล่องทดลองพร้อมชุดแกนรอก เป็นส่วนประกอบของชุดทดลองสำหรับเป็นกล่องเก็บชิ้นส่วนอุปกรณ์ชุดวงจรส่วนที่ 1 และ 2 ที่สร้างขึ้นก่อนหน้านี้ โดยใช้ตู้กันน้ำพลาสติกฟ้าที่ขนาด 115x165x100 mm พร้อมด้วยชุดแกนรอกสำหรับแขวนเส้นเชือกตัวกลางกับวัตถุมวลถ่วง ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ F clamp ขนาด 10 นิ้ว, ลูกกลิ้งแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm, น็อตและสกรู นอกจากนี้ยังมีแกนเส้นเชือกที่ติดตั้งบนดอกลำโพง โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ได้แก่ สกรูขนาดยาว 1.5 นิ้ว, น็อต และฝาขวดน้ำดื่มพลาสติก โดยประกอบชุดกล่องทดลองพร้อมชุดแกนรอกดังนี้

1. ศึกษาและออกแบบชุดกล่องทดลองพร้อมชุดแกนรอก และแกนเส้นเชือก ดัง Figure 3

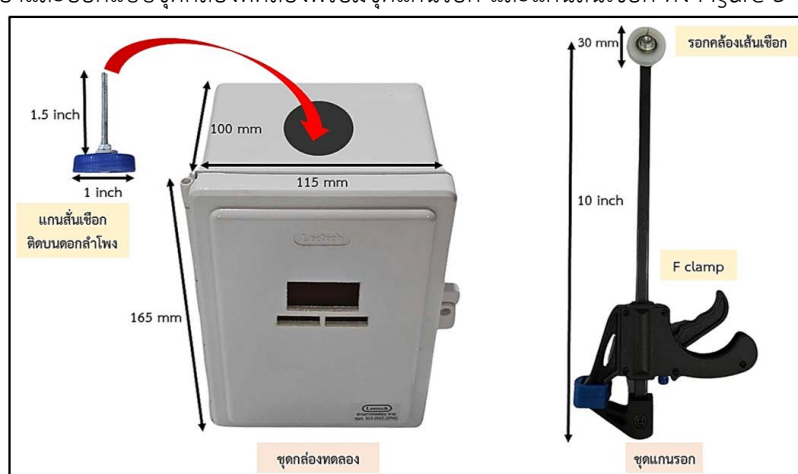


Figure 3 วัสดุอุปกรณ์และชุดกล่องทดลองพร้อมชุดแกนรอก

2. สร้างชุดกล่องทดลองตามแบบที่วางไว้ โดยเจาะตู้กันน้ำพลาสติกฟ้าที่เป็นช่องสำหรับการติดตั้งและใส่ชิ้นส่วนชุดวงจรที่สร้างไว้ก่อนหน้านี้ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ฝาหน้าของตู้สำหรับติดตั้งชุดสร้างความเร็ว, ด้านข้างของตู้สำหรับติดตั้งชุดวัดระยะทาง และด้านบนของตู้สำหรับติดตั้งดอกลำโพงพร้อมแกนเส้นเชือก

3. สร้างแกนเส้นเชือกตามแบบที่ออกแบบไว้ โดยใช้ฝาขวดน้ำดื่มพลาสติกเหลือใช้เจาะรูบริเวณตรงกลางฝาให้มีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูที่ใช้ จากนั้นยึดให้แน่นด้วยน็อต พร้อมนำไปติดตั้งไว้บนดอกลำโพงของชุดสร้างความเร็วในส่วนที่ 2 ที่สร้างไว้ก่อนหน้านี้

4. สร้างชุดแกนรอก โดยปรับแต่ง F clamp ที่ปลายล่างด้วยการติดตั้งลูกกลิ้งแข็งโดยยึดติดด้วยสกรูและน็อต เพื่อเป็นรอกสำหรับคล้องเส้นเชือกแขวนวัตถุมวลถ่วง

จากวัสดุอุปกรณ์ที่ออกแบบและสร้างเตรียมไว้ทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ชุดวัดระยะทาง ชุดสร้างความเร็ว และชุดกล่องทดลองพร้อมชุดแกนรอก นำองค์ประกอบทั้งหมดมาประกอบติดตั้งเข้าด้วยกันเป็นเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นและวัดระยะทาง ดังนี้

1. ออกแบบเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นและวัดระยะทางเพื่อติดตั้งชิ้นส่วนทั้งภายนอก (Outside Box) และภายใน (Inside Box) ดัง Figure 4

2. นำชิ้นส่วนและชุดวงจรที่สร้างเตรียมไว้ติดตั้งในตำแหน่งต่าง ๆ ที่เจาะเตรียมไว้บนตู้กันน้ำพลาสติกก่อนหน้านี้และยึดติดชิ้นส่วนวงจรต่างๆ ด้วยสกรู ดังนี้ นำชุดวัดระยะทาง (ส่วนที่ 1) ติดตั้งไว้ตรงช่องเจาะด้านข้างของตู้ ในขณะที่ชุดสร้างความเร็ว (ส่วน

ที่ 2) จะถูกติดตั้งไว้ที่ฝาหน้าและด้านบนของตู้กันน้ำพลาสติก โดยขึ้นส่วนเครื่องกำเนิดสัญญาณ PWM ติดตั้งไว้ตรงช่องเจาะด้านหน้าของฝาตู้ ส่วนดอกลำโพงที่ติดตั้งแกนสั้นเชือกไว้แล้วนำไปติดตั้งไว้ตรงช่องเจาะด้านบนของตู้ ดัง Figure 4 (ภายนอก)

3. เชื่อมต่อชิ้นส่วนวงจรต่าง ๆ เข้ากับแหล่งจ่ายพลังงาน Power Bank Supply 5 Volt ซึ่งถูกเก็บวางไว้ด้านล่างภายในตู้กันน้ำพลาสติก โดยเจาะช่องด้านข้างของตู้ในตำแหน่งระดับเดียวกันไว้เป็นช่องสำหรับเสียบสาย USB กับแหล่งจ่ายพลังงานนี้ ดัง Figure 4 (ภายใน)

4. สร้างแขนเก็บชุดแกนรอกด้วย 3D printer และนำไปติดตั้งยึดติดด้วยน็อตไว้ภายนอกของตู้กันน้ำพลาสติกในด้านตรงข้ามกับชุดวัฏระยทางเพื่อเป็นตำแหน่งเก็บชุดแกนรอกและเส้นเชือกเมื่อไม่ใช้งาน

5. สำหรับสายไฟและชิ้นส่วนของวงจรอื่นๆ จัดวางติดตั้งให้เรียบร้อยไว้ภายในตู้กันน้ำพลาสติก จะได้เป็นเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นและวัฏระยทางที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน ดัง Figure 4

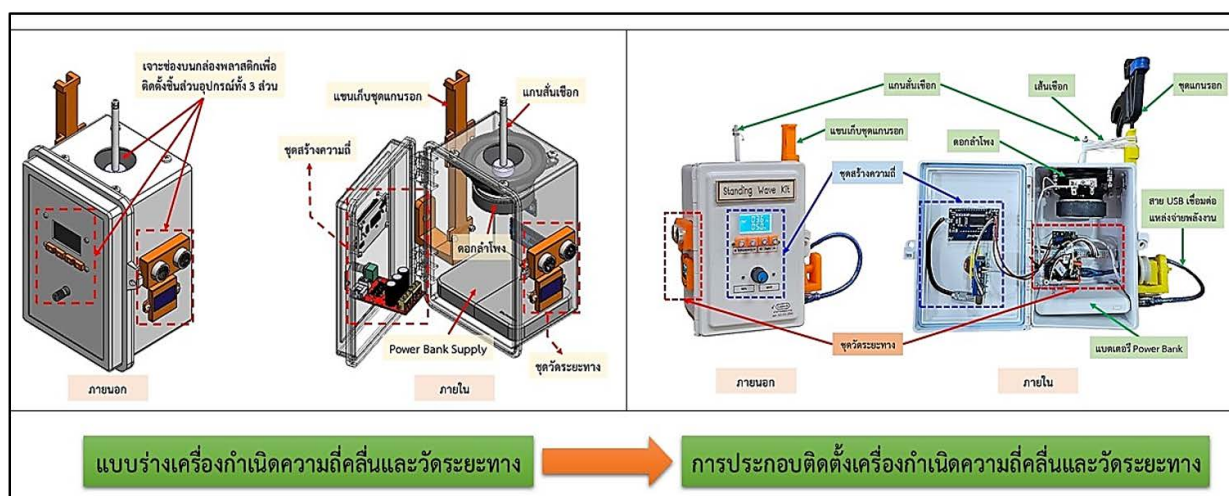


Figure 4 แบบร่างและการประกอบติดตั้งเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นและวัฏระยทางที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน

เตรียมวัสดุอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ สำหรับชุดทดลองเพื่อนำมาประกอบร่วมกับชิ้นส่วนหลักทั้ง 3 ส่วนที่สร้างไว้แล้ว ได้แก่

1. เส้นเชือก ทำหน้าที่เป็นตัวกลางของการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เชือกไนลอนขาวเส้นเล็ก ซึ่งมีลักษณะยืดหยุ่น ไม่แข็ง และน้ำหนักเบา (ความยาว 145 เซนติเมตรและมวล 0.32 กรัม) อาจใช้วัสดุอื่นทดแทนได้ เช่น เชือกขาวรัดฟัดหรือเส้นด้าย เป็นต้น โดยนำปลายเส้นเชือกข้างหนึ่งผูกติดกับแกนสั้นเชือกของเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นให้อยู่ในตำแหน่งสูงเท่ากับชุดแกนรอกและคล้องเชือกผ่านล้อรอกของชุดแกนรอกให้วางตัวอยู่ในแนวระดับ ส่วนปลายเส้นเชือกอีกข้างหนึ่งผูกติดกับตะขอเกี่ยวมวลถ่วงในแนวดิ่ง

2. ตะขอเกี่ยวมวลถ่วง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วัสดุทำจากคลิปพลาสติกแบบเอกสารที่ดัดรูปร่างให้มีลักษณะเป็นตะขอ จากนั้นผูกตะขอเข้ากับปลายเส้นเชือกตัวกลางอีกข้างหนึ่งที่เหลือไว้เพื่อแขวนวัตถุมวลถ่วงให้อยู่ในแนวดิ่งอย่างอิสระ

3. วัตถุมวลถ่วง (m) ใช้สำหรับแขวนถ่วงเส้นเชือกที่ตะขอเกี่ยวมวลถ่วง จะเป็นแรงตึงในเส้นเชือกของชุดทดลอง ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ $T = m\bar{g}$ (ในที่นี้มวลของเส้นเชือกที่ใช้baumากจึงถือว่าไม่มีผลต่อแรงตึงในเส้นเชือกและค่า $\bar{g}$ ที่ใช้เท่ากับ 9.81 m/s^2) โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้มวลทองเหลืองขนาด 30 กรัม (แรงตึงในเส้นเชือก 0.29 นิวตัน) ซึ่งหาได้ในห้องปฏิบัติการของผู้วิจัย ทั้งนี้มวลที่เลือกใช้ต้องไม่ถ่วงรังแกสั้นจนเอียงและสามารถเลือกใช้วัสดุอื่นที่หาง่ายทดแทนได้ เช่น ยางลบ น็อต หรือวัสดุของแข็งอื่น ๆ เป็นต้น

4. ฉากกันสัญญาณเซนเซอร์วัฏระย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พลาสติกลูกฟูก (อาจใช้วัสดุอื่นที่หาง่ายทดแทนได้ เช่น กระดาษแข็ง) ตัดให้มีขนาดความยาวพอเหมาะแล้วนำไปยึดติดเข้ากับแกนของชุดแกนรอกด้วยเทปขาว โดยต้องติดตั้งฉากกัน

สัญญาณหนึ่งให้ระนาบตั้งฉากกับจุดปล่อยสัญญาณของเซนเซอร์ เมื่อสัญญาณไปกระทบกับฉากนั้นแล้วจะสะท้อนกลับมายังเซนเซอร์เพื่อประมวลผลแสดงค่าเป็นระยะความยาวของเส้นเชือก (L) สัมพันธ์กับจำนวนบ่วงของคลื่นนิ่งสูงสุด (n) ที่เกิดขึ้นซึ่งนำไปคำนวณหาความยาวคลื่น (λ) จากคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้นได้ตามความสัมพันธ์ $\lambda = \frac{2L}{n}$

เมื่อนำชิ้นส่วนหลักและอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ประกอบติดตั้งร่วมกันจะได้เป็นชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน ดัง Figure 5



Figure 5 วัสดุอุปกรณ์และการติดตั้งชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก และคู่มือการใช้งาน

ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก

จากการดำเนินการสร้างและพัฒนาชุดทดลองตามแบบร่างที่ได้ออกแบบไว้ในงานวิจัยนี้ จะได้เป็นชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พร้อมใช้งาน ทั้งนี้ผู้วิจัยยังได้จัดทำคู่มืออธิบายการติดตั้งและใช้งานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นผ่านช่องทางออนไลน์ YouTube (สแกนผ่าน QR code ที่จัดทำขึ้น) ดัง Figure 5 จากการทดลองใช้งานเบื้องต้นโดยผู้วิจัยพบว่า ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถสร้างคลื่นนิ่งในเส้นเชือกอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1 บ่วงถึง 6 บ่วงได้อย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาในด้านราคา พบว่า ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น (1,580 บาทต่อชุด) มีราคาถูกกว่าชุดทดลองสำเร็จรูปเดิมที่จัดซื้อมาใช้ในชั้นเรียน (3,500 บาทต่อชุด) นอกจากนี้หากเปรียบเทียบกับชุดทดลองเดิมตามกิจกรรมโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แม้ว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นจะมีราคาสูงกว่าแต่พบว่ามีข้อได้เปรียบในด้านการใช้งานมากกว่าชุดทดลองเดิม ดังนี้ ชุดทดลองสามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่นได้ (1 Hz – 150 kHz), ชุดทดลองมีน้ำหนักเบา (ประมาณ 1 กิโลกรัม), อุปกรณ์ถูกติดตั้งไว้อย่างมั่นคงกะทัดรัดเคลื่อนย้ายพกพาสะดวก, และชุดทดลองมีระบบการวัดและแสดงผลค่าตัวแปรในรูปแบบดิจิทัลได้อย่างทันทีและแม่นยำขณะใช้งาน

ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้น

ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้วจะถูกนำมาประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ จากนั้นทดสอบใช้งานผ่านกิจกรรมการทดลอง และประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งาน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น ดังนี้

1. ขั้นตอนการประเมินคุณภาพชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ มีดังนี้

1.1 สร้างแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก ซึ่งผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

โดยดัดแปลงจากการศึกษาของ Akkaratheeranun (2012) เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ด้าน รวมทั้งหมดจำนวน 22 ข้อ ได้แก่ ด้านที่ 1 ลักษณะทางกายภาพทั่วไป (จำนวน 4 ข้อ), ด้านที่ 2 ลักษณะการใช้งาน (จำนวน 5 ข้อ),

ด้านที่ 3 การจัดสร้าง การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม (จำนวน 5 ข้อ), และด้านที่ 4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (จำนวน 8 ข้อ)

1.2 นำเสนอชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกต่อผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์และให้ประเมินผลผ่านแบบประเมินคุณภาพที่พัฒนาขึ้นเอง โดยการประเมินคุณภาพชุดทดลองในการวิจัยครั้งนี้ใช้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่าน คือ อาจารย์ระดับมหาวิทยาลัยจำนวน 4 ท่านและครูผู้สอนระดับมัธยมศึกษาจำนวน 1 ท่าน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญทุกท่านมีประสบการณ์ทั้งด้านการสอนและการวิจัยเกี่ยวกับสาขาวิชาฟิสิกส์มากกว่า 15 ปีขึ้นไป

1.3 นำผลข้อมูลของแบบประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ไปวิเคราะห์ผลข้อมูลโดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อแปลผลข้อมูลและปรับปรุงตามคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ

2. ขั้นตอนการทดสอบใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกผ่านกิจกรรมการทดลอง โดยในงานวิจัยนี้จะนำเสนอเพียง 1 สถานการณ์จากปัญหาทั้งหมด 4 สถานการณ์ที่แตกต่างกันของการทดลองเรื่องคลื่นนิ่งด้วยการใช้ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบความแม่นยำของชุดทดลองซึ่งจะปรับเปลี่ยนและวิเคราะห์หาปริมาณของตัวแปรที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลอง ได้แก่ การทดลองหาอัตราเร็วของคลื่น การทดลองหาค่าความถี่คลื่น การทดลองหาค่าความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก และ การทดลองหาค่ามวลถ่วงของวัตถุ สำหรับการทดสอบใช้งานชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นด้วยการทดลองหาอัตราเร็วของคลื่นในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ออกแบบและวางแผนกิจกรรมการทดลองเรื่องคลื่นนิ่งในเส้นเชือกโดยอ้างอิงเนื้อหาตามบทที่ 9 เรื่อง คลื่นจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ (2019) ด้วยการใช้ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นแทน

2.2 กำหนดมวล (m) แขนงว่งในชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาให้คงที่ค่าหนึ่ง

2.3 กำหนดความยาวของเส้นเชือกสำหรับการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก (L) ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างแกนสันของเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นและชุดแกนรอกให้คงที่ค่าหนึ่ง โดยขยับเลื่อนเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นจนชุดวัตรยะทางแสดงค่าระยะทางตามที่ต้องการ จากนั้นคล้องเส้นเชือกซึ่งปลายข้างหนึ่งผูกติดกับแกนสันผ่านล้อของชุดแกนรอก และแขวนมวลถ่วงที่เลือกไว้จากข้อ 2.2 ที่ตะขอกว้างมวลถ่วงของปลายเส้นเชือกอีกข้างหนึ่งไว้ในแนวตั้งอย่างอิสระ

2.4 หมุนปรับปุ่มเสียง (Volume on/off) ของเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นไปที่ค่าสูงสุด (max) จะทำให้แกนสันของเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นเกิดการสั่นเส้นเชือกจนเกิดเป็นคลื่นนิ่งในเส้นเชือกได้

2.5 กดปุ่มปรับเพิ่มหรือลดค่าความถี่ (Freq.) ของเครื่องกำเนิดความถี่คลื่น จนเกิดบ่วง (loop) คลื่นนิ่งในเส้นเชือกตั้งแต่ 1 ถึง 6 บ่วง ตามลำดับ (คลื่นนิ่งที่ได้ต้องมีแอมพลิจูดของจุดปฏิบัติที่สุด) บันทึกจำนวนบ่วง (n) และค่าความถี่ (f_n) แต่ละค่าที่ปรับได้ แล้วคำนวณหาความยาวคลื่นจากคลื่นนิ่งในเส้นเชือกตามความสัมพันธ์ $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ และอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกที่เกิดขึ้นตามความสัมพันธ์ $v = \lambda_n f_n$ จากนั้นคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกเฉลี่ย ($\bar{v}_{exp}$)

2.6 วิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกระหว่างค่าที่ได้จากผลการทดลอง ($\bar{v}_{exp}$) และค่าคำนวณทางทฤษฎี (v_{theory}) จากความสัมพันธ์ $v = \sqrt{T/\mu}$ โดย T คือ ขนาดของแรงตึงในเส้นเชือกจากขนาดน้ำหนักของมวลถ่วง ($T = mg$) และ μ คือ ความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก ($\mu = m/l$) เมื่อ m และ l คือ มวลและความยาวของเส้นเชือกที่ใช้ทดลอง ตามลำดับ จากนั้นคำนวณหาการร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกเพื่อแปลผลข้อมูลความแม่นยำของชุดทดลอง

3. ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก มีดังนี้

3.1 สร้างแบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก ซึ่ง

ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นโดยดัดแปลงจากการศึกษาของ Wattanasupinyo (2020) เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ แบ่งออกเป็น 2 ด้าน รวมทั้งหมดจำนวน 10 ข้อ ได้แก่ ด้านที่ 1 ด้านคุณค่าของชุดทดลอง (จำนวน 7 ข้อ) และด้านที่ 2 ด้านความรู้ความเข้าใจ (จำนวน 3 ข้อ)

3.2 นำชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นให้กลุ่มตัวอย่างนักเรียนจำนวน 80 คน เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งผ่านการเรียนรู้หัวข้อเรื่องคลื่อนิ่งมาแล้วในปีการศึกษา 2566 ที่ผ่านมา ทดลองใช้งาน (ดำเนินการทดลองใช้งานเป็นลักษณะกิจกรรมกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน) หลังจากใช้งานแล้วให้กลุ่มตัวอย่างนักเรียนประเมินผลผ่านแบบประเมินความพึงพอใจที่พัฒนาขึ้นเอง

3.3 นำผลข้อมูลของแบบประเมินความพึงพอใจจากนักเรียนต่อการใช้งานไปวิเคราะห์ผลข้อมูลโดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อแปลผลข้อมูลในแต่ละประเด็นต่อไป

เครื่องมือวิจัย

1. ชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น
2. แบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูก
3. แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูก

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเป็นผู้เก็บข้อมูลด้วยตนเอง โดยหลังจากดำเนินการออกแบบและพัฒนาชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูกจนเสร็จสิ้นซึ่งมีผู้เชี่ยวชาญเป็นวิศวกรของโรงประลองต้นแบบทางวิศวกรรม (Fabrication Lab) ของสถานศึกษาที่ผู้วิจัยปฏิบัติงานคอยให้คำปรึกษาแนะนำ จากนั้นผู้วิจัยนำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้มาผ่านกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล 3 ส่วน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ได้แก่ ส่วนที่ 1 ประเมินคุณภาพของชุดทดลองด้วยแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูกโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์, ส่วนที่ 2 ทดสอบการใช้งานชุดทดลองและเปรียบเทียบผลที่ได้ผ่านกิจกรรมการทดลองเรื่องคลื่อนิ่งในเส้นเชือกกับค่าคำนวณจากสมการทางทฤษฎี, และส่วนที่ 3 ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองด้วยแบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูกโดยนักเรียนที่เคยเรียนรู้เนื้อหาเรื่องนี้มาแล้ว

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ทั้งข้อมูลเชิงปริมาณ (ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ) จากข้อมูลของแบบประเมินคุณภาพ แบบประเมินความพึงพอใจ รวมทั้งผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวิจัย และข้อมูลเชิงคุณภาพ (คำอธิบายเชิงพรรณนา) จากข้อมูลในส่วนข้อเสนอแนะของแบบประเมินคุณภาพ แบบประเมินความพึงพอใจ และการสัมภาษณ์ผู้ทดลองใช้เพิ่มเติม เพื่อตีความแปลผลประสิทธิภาพของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นด้วยข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ จากนั้นรายงานผลการวิจัยและอภิปรายผลเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คุณภาพของชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูก, ส่วนที่ 2 ข้อมูลผลการทดลองจากการใช้งานชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูก, และส่วนที่ 3 ความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูก

ผลการวิจัย

ประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้น

ผลจากการนำชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้นไปตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลอง ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่อนิ่งในเส้นเชือกแบบพกวพาราคาถูก

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้น ประเมินจากการนำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่าน ผ่านแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) ซึ่งเป็นการประเมินคุณภาพใน 4 ด้าน คือ ลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน การจัดสร้าง การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ได้ผลการวิเคราะห์ทั้ง 4 ด้าน ดัง Table 1

Table 1 ผลการประเมินคุณภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์

ประเด็นรายการประเมิน	$\bar{X}$	$S.D.$	แปลผล
ด้านที่ 1 ลักษณะทางกายภาพทั่วไป	3.90	0.31	ดีมาก
ด้านที่ 2 ลักษณะการใช้งาน	4.00	0.00	ดีมาก
ด้านที่ 3 การจัดสร้าง การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม	3.84	0.37	ดีมาก
ด้านที่ 4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	3.95	0.22	ดีมาก
ภาพรวมเฉลี่ย	3.93	0.26	ดีมาก

จาก Table 1 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพชุดทดลองคลื่นนิ่งบนเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน การจัดสร้าง การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยภาพรวมมีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 3.93 จากคะแนนเต็ม 4.00 ซึ่งอยู่ในระดับ “ดีมาก” โดยผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความคิดเห็นเพิ่มเติมว่าชุดทดลองมีราคาไม่แพง ให้ผลการทดลองที่แม่นยำ เหมาะสำหรับการนำไปเป็นสื่อการเรียนรู้สำหรับจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพื่อพัฒนาผู้เรียนทั้งแบบรายบุคคลและแบบกลุ่มได้เป็นอย่างดี

ส่วนที่ 2 การทดสอบการใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก

จากการทดลองเพื่อหาอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกด้วยชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้น โดยในการทดลองผู้วิจัยเลือกกำหนดใช้ค่ามวลถ่วง (m) จากมวลทองเหลืองขนาด 0.03 กิโลกรัม และ ความยาวเชือกของคลื่นนิ่งระหว่างแกนสั่นเชือกและชุดแกนรอก (L) ซึ่งได้จากการขยับเลื่อนเครื่องกำเนิดความถี่คลื่นออกจากกันสัญญาณเซนเซอร์ที่ติดอยู่กับชุดแกนรอกเป็นระยะ 0.70 เมตร ทำการปรับค่าความถี่ (f_n) จากชุดทดลองจนเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือกจำนวน n บ่วง จากนั้นคำนวณหาความยาวคลื่นจากคลื่นนิ่ง (λ_n) ที่สร้างได้จากความสัมพันธ์ $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ และคำนวณหาอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือก (v) ตามความสัมพันธ์ $v = \lambda_n f_n$ ตามลำดับ ได้ผลการทดลอง ดัง Table 2

Table 2 ผลการทดลองค่าอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือก (v) ด้วยชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก

จำนวนบ่วง (n) ของคลื่นนิ่ง	ความถี่ (f_n) ของคลื่นนิ่งที่ปรับได้ (Hz)	ความยาวคลื่น (λ_n) จากคลื่นนิ่ง (m)	อัตราเร็วคลื่น (v) ในเส้นเชือก (m/s)	ร้อยละ (%) ความคลาดเคลื่อน
1	26	1.40	36.40	0.32
2	52	0.70	36.40	0.32
3	79	0.47	36.87	0.96
4	106	0.35	37.10	1.59
5	132	0.28	36.96	1.21
6	160	0.23	37.33	2.23
อัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกเฉลี่ย			36.84	0.89

จาก Table 2 พบว่า ค่าอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกเฉลี่ยจากการทดลอง (v_{exp}) มีค่าเท่ากับ 36.84 เมตรต่อวินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกจากการคำนวณด้วยสมการทางทฤษฎี (v_{theory}) คือ $v = \sqrt{T/\mu}$ มีค่าเท่ากับ 36.52 เมตรต่อวินาที (ในการทดลองนี้ขนาดของแรงดึงเชือกจากน้ำหนักของมวลถ่วง (T) เท่ากับ 0.29 นิวตัน และความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือกที่ใช้ทดลอง (μ) เท่ากับ 2.21×10^{-4} กิโลกรัมต่อเมตร เมื่อมวลของเส้นเชือกเป็น 0.32×10^{-3} กิโลกรัมและความยาวของเส้นเชือกที่ใช้เป็น 1.45 เมตร คำนวณตามความสัมพันธ์ที่อธิบายในขั้นตอนการทดสอบใช้งานชุดทดลองก่อนหน้านี้แล้ว) จะได้ว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกเท่ากับ 0.89 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองเป็นไปตามความสัมพันธ์ของคลื่นนิ่งในเส้นเชือก บ่งชี้ได้ชัดเจนว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ได้ในระดับห้องเรียนหรือเป็นชุดสาธิตการทดลองได้เป็นอย่างดี

ส่วนที่ 3 การประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้น ประเมินจากการนำความคิดเห็นของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 80 คน ซึ่งได้เรียนรู้เรื่องคลื่นนิ่งมาแล้วและทดลองใช้งาน ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ ผ่านแบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูก มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) ซึ่งเป็นการประเมินความพึงพอใจใน 2 ด้าน คือ ด้านคุณค่าของชุดทดลอง และด้านความรู้ความเข้าใจ ได้ผลรายละเอียดการวิเคราะห์ทั้ง 2 ด้าน ดัง Table 3

Table 3 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกจากนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 80 คน

ประเด็นรายการประเมิน	$\bar{X}$	$S.D.$	แปลผล
ด้านที่ 1 ด้านคุณค่าของชุดทดลอง			
1) นวัตกรรมมีความน่าสนใจ เกิดแรงจูงใจอยากใช้งาน	4.59	0.59	มากที่สุด
2) นวัตกรรมใช้งานง่าย ไม่สับสน	4.73	0.48	มากที่สุด
3) นวัตกรรมมีความแข็งแรงคงทน	4.04	0.77	มาก
4) นวัตกรรมช่วยให้มีความสนุกสนาน	4.70	0.54	มากที่สุด
5) ขนาดของเครื่องมือเหมาะสมต่อการใช้งาน	4.71	0.46	มากที่สุด
6) เวลาในการใช้นวัตกรรมมีความเหมาะสม	4.45	0.65	มาก
7) นวัตกรรมช่วยให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น	4.78	0.45	มากที่สุด
ภาพรวม ด้านที่ 1 ด้านคุณค่าของชุดทดลอง	4.57	0.62	มากที่สุด
ด้านที่ 2 ด้านความรู้ความเข้าใจ			
1) นวัตกรรมมีความเหมาะสมกับเนื้อหาที่เรียน	4.91	0.28	มากที่สุด
2) มีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้นหลังการใช้นวัตกรรม	4.71	0.48	มากที่สุด
3) สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอนาคต	4.55	0.59	มากที่สุด
ภาพรวม ด้านที่ 2 ด้านความรู้ความเข้าใจ	4.73	0.49	มากที่สุด
ภาพรวมเฉลี่ย	4.62	0.59	มากที่สุด

จาก Table 3 พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นทั้ง 2 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณค่าของชุดทดลอง ($\bar{X} = 4.57$) และด้านความรู้ความเข้าใจ ($\bar{X} = 4.73$) โดยภาพรวมมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 จากคะแนนเต็ม 5.00 ซึ่งอยู่ในระดับ “มากที่สุด” โดยนักเรียนได้แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมว่าชุดทดลองมีความแปลกใหม่ กะทัดรัด

ทันสมัย ใช้งานง่าย ช่วยให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่ายเป็นรูปธรรมชัดเจนมากขึ้น และยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงลดปรับค่า และเวลาสำหรับการทดลองให้เหมาะสมยิ่งขึ้นได้

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

1. ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์คลื่นนิ่งในเส้นเชือกให้เข้าใจได้อย่างเป็นรูปธรรมชัดเจน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์การทดลองที่พัฒนาขึ้นหรือสร้างขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นการสร้างชุดทดลองคลื่นนิ่งของคลื่นเสียง ในขณะที่คลื่นนิ่งในเส้นเชือกยังมีการทำวิจัยค่อนข้างน้อยหรืออาจจะยังเป็นชุดการทดลองที่มีองค์ประกอบวัสดุอุปกรณ์หลายชิ้น มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และยังคงมีจุดอ่อนในหลายจุดแตกต่างกันไปตามรูปแบบของชุดทดลองที่พัฒนาในระยะเวลาที่ผ่านมา (Petsharak, 2017) แม้กระทั่งชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกตามเนื้อหาของหลักสูตรสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ใช้ในสถานศึกษาของผู้วิจัยที่ผ่านมาเป็นหลักยังคงมีจุดอ่อน ได้แก่ ไม่สามารถเปลี่ยนความถี่คลื่นได้ ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนบ่วงคลื่นนิ่ง (loop) กับความถี่คลื่นได้ และไม่สามารถเปลี่ยนความตึงเชือกจากมวลถ่วงได้ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2019) เนื่องจากชุดการทดลองช่วยส่งเสริมการเรียนรู้การมีคุณภาพกระตุ้นนักเรียนให้เกิดการเรียนรู้ได้มากกว่าการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวได้ในลักษณะของการเรียนรู้แบบเชิงรุก ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกในงานวิจัยนี้ที่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์คลื่นนิ่งในเส้นเชือก ปรับปรุงจุดด้อยของชุดทดลองเดิมให้ดีขึ้น และสามารถออกแบบการทดลองได้หลากหลายและปรับเปลี่ยนตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของคลื่นนิ่ง ได้แก่ จำนวนบ่วงคลื่นนิ่ง ความยาวของเส้นเชือก มวลถ่วงสำหรับแรงตึงในเส้นเชือก และความถี่คลื่นที่ปรับได้ด้วยการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาร่วมใช้ในชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้การสอนฟิสิกส์ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาพัฒนาและสร้างเป็นอุปกรณ์เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ สนับสนุนให้ทำการทดลองได้สะดวกรวดเร็ว ใช้งานง่าย ราคาถูก เก็บข้อมูลได้ละเอียดและแม่นยำมากขึ้น ได้แก่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วงจรไอซีต่าง ๆ รวมถึงบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาใช้ในการเก็บข้อมูลการทดลองทางฟิสิกส์เนื่องจากสามารถต่อเข้ากับหัววัดทางฟิสิกส์และประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย (Buachoom et al., 2020; Buaprathoom, 2019; Hahn et al., 2019) ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ดังกล่าวมาร่วมใช้พัฒนาและสร้างเป็นชุดทดลองเพื่อใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอนในงานวิจัยนี้จะมีส่วนช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ ที่สูงขึ้นได้ เนื่องจากผู้เรียนได้ผ่านการลงมือปฏิบัติและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นและสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนได้เป็นอย่างดีในเชิงบวกมากขึ้น (Kinchin, 2018)

2. ประสิทธิภาพของชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่พัฒนาขึ้นได้รับการประเมินผล 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนที่ 1 ประเมินคุณภาพของชุดทดลองจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 5 ท่านทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพทั่วไป ลักษณะการใช้งาน การจัดสร้าง การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม และความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งภาพรวมอยู่ในระดับ “ดีมาก” ($\bar{X} = 3.93$) ส่วนที่ 2 นำชุดทดลองไปทดสอบการใช้งานผ่านการทดลองหาอัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือกและเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี พบว่า มีร้อยละความคลาดเคลื่อนเพียง 0.89 แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์สามารถให้ผลการทดลองที่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของคลื่นนิ่งในเส้นเชือกได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้การนำวัสดุอุปกรณ์ที่เป็นเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รวมถึงเซนเซอร์ต่าง ๆ มาร่วมใช้ในการพัฒนาชุดทดลองเป็นการช่วยให้อุปกรณ์เครื่องมือเหล่านั้นมีความถูกต้องแม่นยำสูงตามหลักการและสอดคล้องกับทฤษฎีทางฟิสิกส์ (Akkaratheeranun, 2012; Saphet, 2019;

Thipchurat et al., 2012) อีกทั้งชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นยังใช้ต้นทุนในการพัฒนาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้ ขนาดของชุดทดลองที่กะทัดรัดและใช้งานง่าย รูปแบบของชุดทดลองเช่นนี้จึงเหมาะกับหลายโรงเรียนที่สามารถนำไปสร้าง เพื่อให้นักเรียนใช้ในการทดลองทดแทนชุดทดลองขนาดใหญ่และมีราคาสูงเกินไป (Buapratthoom, 2019) และส่วนที่ 3 ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นจากกลุ่มตัวอย่างนักเรียนจำนวน 80 คนทั้ง 2 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณค่าของชุดทดลองและด้านความรู้ความเข้าใจ ซึ่งภาพรวมอยู่ในระดับ “มากที่สุด” ($\bar{X} = 4.62$) เนื่องจากการศึกษา เรื่องคลื่นนิ่งที่ผ่านมาเดิมโดยส่วนใหญ่จะเน้นการบรรยายจากผู้สอนและสังเกตภาพจากตำรา ถึงแม้ว่าจะมีกิจกรรมการทดลอง ในบางครั้งแต่ด้วยชุดทดลองเดิมที่มีขนาดใหญ่และไม่ส่งเสริมต่อการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองให้หลากหลายได้มากพอ จึงทำให้นักเรียนขาดความสนใจและกระตือรือร้นในการเรียนรู้ แต่เมื่อนำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้มาใช้ทดแทนของเดิมกับ กลุ่มนักเรียนที่เคยผ่านการเรียนรู้เรื่องคลื่นนิ่งนี้มาแล้วด้วยวิธีการและชุดทดลองเดิม พบว่าช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิด ความอยากเรียนรู้ สนุกสนาน สนใจกับสิ่งแปลกใหม่ ส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น อีกทั้งมีการนำเทคโนโลยี สมัยใหม่มาร่วมใช้ในชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับช่วงวัยของผู้เรียนในยุคปัจจุบันจึงส่งผลให้ความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการใช้งานชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุดสอดคล้องกับผลการศึกษาความพึงพอใจจากหลายงานวิจัย ที่พัฒนาชุดทดลองต่าง ๆ ทางด้านฟิสิกส์ (Anupongongarch, 2010; Phunphon, 2011; Wattanasupinyo, 2020) ที่ผ่านมามีเช่นกัน

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ป็นสื่อการเรียนรู้สำหรับ จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเชิงรุกทั้งในลักษณะรูปแบบร่วมมือหรือแบบการทำงานเป็นทีมในชั้นเรียนที่เน้นให้นักเรียนได้ฝึก ประสบการณ์ผ่านกิจกรรมการทดลองให้ผู้เรียนปฏิบัติจริงด้วยตนเองส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจแนวคิดหลัก แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง ส่งเสริมให้เกิดทักษะการคิดแก้ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณได้
2. ผู้เรียนสามารถนำชุดทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือกแบบพกพาราคาถูกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ไปสู่การออกแบบ กิจกรรมปฏิบัติการทดลองที่ปรับประยุกต์ใช้ในประเด็นอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาเรื่องคลื่น เช่น คลื่นกล เสียง เป็นต้น เพื่อศึกษาในเชิงรูปธรรมได้ชัดเจนและเรียนรู้ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบการใช้ปัญหาเป็นฐานได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การทำวิจัยและติดตามผลของการนำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นไปใช้ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบต่าง ๆ เพื่อ ศึกษา แก้ปัญหา หรือพัฒนาผู้เรียนหลังการใช้ชุดทดลองดังกล่าวนี้ในแง่มุมต่าง ๆ
2. การพัฒนาชุดทดลองเพิ่มเติมด้วยการปรับเปลี่ยนหรือใช้วัสดุอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ได้แก่ เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และเซนเซอร์ เพื่อเพิ่มเติมความมั่นคงและความสามารถของชุดทดลองในการใช้งาน หลากหลายด้านมากขึ้น นำไปสู่การใช้สำหรับการวิจัยแก้ปัญหาหรือพัฒนาผู้เรียนตามวัตถุประสงค์เฉพาะอย่างตามที่ต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย “การพัฒนาชุดทดลองแบบพกพาราคาถูกเพื่อส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียน เรื่อง คลื่นนิ่ง” ซึ่งได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยของบัณฑิตศึกษา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และการพัฒนาชุดทดลองของงานวิจัยได้รับการสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ และ เครื่องมือ รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญในการให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการสร้างชุดทดลองจากห้องปฏิบัติการโรงประลอง ต้นแบบทางวิศวกรรม (Fabrication Lab) โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา ซึ่งเป็นสถานศึกษาที่ผู้วิจัยปฏิบัติงาน

จริยธรรมการวิจัย

งานวิจัย “การพัฒนาชุดทดลองแบบพกพาราคาถูกเพื่อส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง คลื่นนิ่ง” ได้รับการอนุมัติโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีแล้ว รหัสข้อเสนอการวิจัย และหมายเลขใบรับรอง UBU-REC-51/2567

References

- Akkaratheeranun, T. (2012). *Development of a high efficiency standing wave on a string apparatus for performing and experiment, teaching and learning activities in physics on wave (Research report)*. Bangkok: Srinakharinwirot University. [in Thai]
- Anupongongarch, P. (2010). *Development of the Experiment Set for Studying Wave Resonance in Closed End Tube (Research report)*. Bangkok: Rangsit University. [in Thai]
- Buachoom, A., Wuttiptom, S., & Sujarittam, T. (2020). Applying Arduino platform for physics measurement instruments. *Journal of Science and Science Education*, 3(1), 98–104. [in Thai]
- Buapathoom, S. (2019). A Set of Gravitational Acceleration Measurement Using Simple Microcontroller, DIY Sensors and Smartphone. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 10(2), 288–299. [in Thai]
- Hahn, M. D., de Oliveira Cruz, F. A., & Carvalho, P. S. (2019). Determining the Speed of Sound as a Function of Temperature Using Arduino. *The Physics Teacher*, 57(2), 114–115.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2019). *Physics: Grade 11, Book 3*. Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]
- Kinchin, J. (2018). Using an Arduino in physics teaching for beginners. *Physics Education*, 53(6), 063007.
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Rončević, L., & Sušac, A. (2023). Physics lab courses under digital transformation: A trinational survey among university lab instructors about the role of new digital technologies and learning objectives. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 020159.
- Lisboa, A., Peña, F. J., Negrete, O., & Dib, C. O. (2021). Teaching labs for blind students: equipment to measure standing waves on a string. *European Journal of Physics*, 42(6), 065701.
- Petsharak, C. (2017). *The development of the ability in science experiment through learning with the standing wave experimental package for the 11st grade students (Master's thesis)*. Faculty of Science, Rajabhat Rajanagarindra University. [in Thai]
- Phayphung, W., Rakkapao, S., & Prasitpong, S. (2022). Young's modulus determination for a vibrated metal ruler using Arduino. *Physics Education*, 57(4), 045023.
- Phunphon, S. (2011). *Development of a sound wave experiment set for grade 11 students (Master's thesis)*. Faculty of Science, Ubon Ratchathani University. [in Thai]

- Puttisanwimon, S., & Wuttiprom, S. (2023). Mechanical Wave Concepts of Thai High School Students: Comparing Learned and Unlearned Groups. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 31(6), 2–17.
- Saphet, P. (2019). Using Arduino boards with LabVIEW for mechanics experiment sets. *Thai Journal of Physics*, 36(2), 55–61.
- Sasom, S., & Jupamoto, M. (2019). Design and Development of a Simple Harmonic Motion Experimental Set with Arduino. *Journal of Science Innovation for Sustainable Development*, 1(1), 36–43.
- The institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2019). *Physics teaching purpose*. Bangkok: The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. [in Thai]
- Thipchurat, P., Chamrasprasert, P., & Phornkaweerat, W. (2012). Variable Frequency Generator for an Experiment of Standing Wave in a String. *Sarn Sima Journal*, 1(1), 145–154. [in Thai]
- Tongchai, A., Sharma, M. D., Johnston, I. D., Arayathanitkul, K., & Soankwan, C. (2009). Developing, Evaluating and Demonstrating the Use of a Conceptual Survey in Mechanical Waves. *International Journal of Science Education*, 31(18), 2437–2457.
- Wattanasupinyo, N. (2020). The Development of a Current and Magnetic Field Experimental Apparatus for Physics Teaching to Enhance Undergraduate Student Achievement. *Journal of Education Naresuan University*, 22(1), 109–122. [in Thai]
- Wittmann, M. C. (1998). *Making Sense of How Students Come to an Understanding of Physics: An Example from Mechanical Waves* (Doctoral dissertation). Department of Physics, University of Maryland.
- Wuttiprom, S. (2013). A Comparison of Teaching Experiments between Videotaped and Demonstrative Approaches in Developing Scientific Concepts about Buoyant Force. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 4(1), 7–17.