

การพัฒนาแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ
ในโรงเรียนขนาดเล็ก สังกัดเขตพื้นที่การศึกษาจังหวัดเชียงราย
Development of an Instructional System Platform for Weather Monitoring in
Small Schools Within the Chiang Rai Educational Service Area

¹วิชิต เทพประสิทธิ์, ²นิธิกุล อินทรทิพย์ และ ^{3*}รัชฎา เทพประสิทธิ์
¹Wichit Thepprasit, ²Nithikun intharthip, and ^{3*}Ratchada Thepprasit

**Corresponding author*

สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Department of Digital Technology for Education, Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Thailand
E-mail: ¹drwichit@crru.ac.th, ²nitikul1900@gmail.com, ^{3*}ratchada.the@crru.ac.th

Received March 28, 2024; Revised June 1, 2024; Accepted June 10, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็ก 2) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังที่ได้เรียนจากชุดการสอน และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของครูและนักเรียนที่ได้เรียนจากชุดการสอน รูปแบบเป็นการวิจัยแบบวิจัยและพัฒนา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 30 คน และครู จำนวน 6 คน ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การประถมศึกษาเชียงราย เขต 3 อำเภอแม่ฟ้าหลวง เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมี 4 ชนิด คือ 1) แพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ 2) แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน 3) แบบประเมินสื่อนวัตกรรม 4) แบบวัดความพึงพอใจของครูและนักเรียนต่อชุดการสอนวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าที่แบบไม่เป็นอิสระต่อกัน

ผลการวิจัยพบว่า 1. องค์ประกอบของแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ ประกอบด้วย 1) กิจกรรมการจัดการเรียนรู้ 2) อุปกรณ์เครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ 3) แพลตฟอร์มออนไลน์ 2. พบว่าผลสัมฤทธิ์หลังการเรียนสูงกว่าก่อนการเรียน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 และ 3. ความพึงพอใจของครูและนักเรียนเมื่อได้ผ่านการเรียนโดยแพลตฟอร์มระบบฯ อยู่ในระดับมากที่สุด จากงานวิจัยนี้พบว่าแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ

ในโรงเรียนขนาดเล็ก สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้จริง ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถส่งเสริมให้นักเรียนเกิดแนวคิดสร้างสรรค์ในการจัดสร้างผลงานสิ่งประดิษฐ์ โดยต่อยอดจากสิ่งที่ได้เรียนมา และควรเผยแพร่แพลตฟอร์มระบบชุดการสอนนี้ให้แพร่หลาย โดยเฉพาะโรงเรียนที่มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัย

คำสำคัญ: แพลตฟอร์มระบบชุดการสอน; เครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ; โรงเรียนขนาดเล็ก

Abstract

The objectives of this article were to: 1) develop an instructional system platform for weather monitoring in small schools; 2) study academic achievement before and after learning with the teaching kit; and 3) investigate teacher and student satisfaction with the teaching set. The research adopted a research and development model. The study sample group comprised 30 Grade 6 students and 6 teachers from schools under the Primary Educational Service Area Office 3, Mae Fah Luang District. The study selected a specific sample group. Four types of tools were used in the research: 1) a weather monitoring teaching kit system platform; 2) pre- and post-learning achievement tests; 3) an innovative media evaluation form; and 4) measures of teacher and student satisfaction with the teaching kit. Analyzed the data using basic statistical methods like mean and standard deviation, with independent t-test analysis.

The research results revealed that: 1. The components of an instructional system platform for weather monitoring include: 1) learning management activities; 2) weather measurement equipment; and 3) an online platform. 2. Achievement levels after studying were found to be significantly higher than before studying, with a statistical significance level of .01. 3. Both teachers and students reported the highest level of satisfaction after learning through the platform. From this research, it has been discovered that an instructional system platform for weather monitoring is indeed effective for teaching and learning in small schools, yielding satisfactory outcomes. It can inspire students to generate creative ideas and create inventions by leveraging their acquired knowledge. This teaching kit system platform should be broadly distributed, particularly in schools facing security risks.

Keywords: instructional system platform; weather monitoring; small school

บทนำ

จังหวัดเชียงราย เผชิญปัญหามลพิษทางอากาศจากหมอกควันและฝุ่น PM 2.5 มานานหลายปี ปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เศรษฐกิจและการท่องเที่ยวของจังหวัด อันมีสาเหตุไฟป่าการเผาในที่โล่ง หมอกควันข้ามแดนทำให้เกิดผลกระทบเป็นมลพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในหลายด้าน นอกจากนี้ มลพิษทางอากาศยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและการท่องเที่ยว ปัญหามลพิษทางอากาศในจังหวัดเชียงรายเป็นปัญหาใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เศรษฐกิจ และการท่องเที่ยว จำเป็นต้องมีการบูรณาการความร่วมมือจากทุกภาคส่วนเพื่อแก้ไขปัญหา (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) ในด้านการศึกษา ปัญหาดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อการจัดการเรียนการสอนในโรงเรียนเป็นอย่างมาก สถานศึกษาจำเป็นต้องมีมาตรการปกป้องและป้องกันนักเรียนจากมลพิษทางอากาศ โดยโรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) ของจังหวัดเชียงราย ได้มีการจัดทำหลักสูตรความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียนซึ่งเป็นหลักสูตรที่ช่วยส่งเสริมความปลอดภัยในโรงเรียน ซึ่งอยู่ภายใต้แผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติ โดยมีสามเสาหลัก คือ 1. อาคารสถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกในโรงเรียนที่ปลอดภัย 2. การบริหารจัดการภัยพิบัติในสถานศึกษา 3. การศึกษาด้านการลดความเสี่ยงและการรู้ปรับตัวจากภัยพิบัติปรับตัวจากภัยพิบัติ (องค์การช่วยเหลือเด็ก, 2560) หลักสูตรดังกล่าวมีการดำเนินงานร่วมกันระหว่างองค์กรเครือข่ายความร่วมมือต่าง ๆ ทั้งรัฐและเอกชนในพื้นที่จังหวัดเชียงราย เพื่อสร้างองค์ความรู้และความตระหนักในการรอบความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียน โดยจะให้ความสำคัญกับภัยพิบัติหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ได้แก่ แผ่นดินไหว อุทกภัย ดินโคลนถล่ม ไฟป่า หมอกควันและอัคคีภัย เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพการรับมือและการจัดการภัยพิบัติของโรงเรียน มีการส่งเสริมการจัดการศึกษาผ่านนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ด้วยการผนวกการศึกษาแบบ STEM (Science Technology Engineering and Mathematics Education) ที่เป็นแนวทางการจัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหาในชีวิตจริง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ซึ่งมีบทบาทเป็นมหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการศึกษาเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นในพื้นที่ห่างไกล มีการดำเนินโครงการเพื่อพัฒนาสื่อเทคโนโลยีนวัตกรรมเพื่อสนับสนุนการสอนและการเรียนรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ในโรงเรียนขนาดเล็ก จากผลการดำเนินโครงการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาเครือข่ายโรงเรียนขนาดเล็ก (วิทยาการคำนวณ) ในจังหวัดเชียงราย ซึ่งเสร็จสิ้นในปี พ.ศ. 2565 ผลลัพธ์ของกิจกรรมพบว่าทั้งครูและนักเรียน รวมถึงผู้เข้าร่วมโครงการได้รับประโยชน์จากการดำเนินการโครงการ โรงเรียนได้รับสื่อการสอนและการเรียนรู้ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการสอนและการเรียนรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ นักเรียนมีแรงจูงใจที่จะเรียนรู้สื่อนวัตกรรมได้รับการตอบรับเป็นอย่างดี ผู้บริหารและผู้สอนพอใจสามารถใช้สื่อในการสอนและการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังเป็น

การบ่งบอกว่าโรงเรียนมีความต้องการพัฒนาและปรับปรุงสื่อวัตกรรมการดัดแปลงอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งขยายกลุ่มเป้าหมายให้กว้างขึ้น (วิจิต เทพประสิทธิ์, 2565) ดังนั้น ควรมีการขยายการใช้วัตกรรมการเทคโนโลยีในการศึกษา เพื่อส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ในสาขาวิทยาการคำนวณ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้ จำเป็นต้องผลิตสื่อวัตกรรมการช่วยในการจัดการเรียนการสอน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็ก
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังที่ได้เรียนรู้จากชุดการสอน
3. ศึกษาความพึงพอใจของครูและนักเรียนที่ได้เรียนรู้จากชุดการสอน

การทบทวนวรรณกรรม

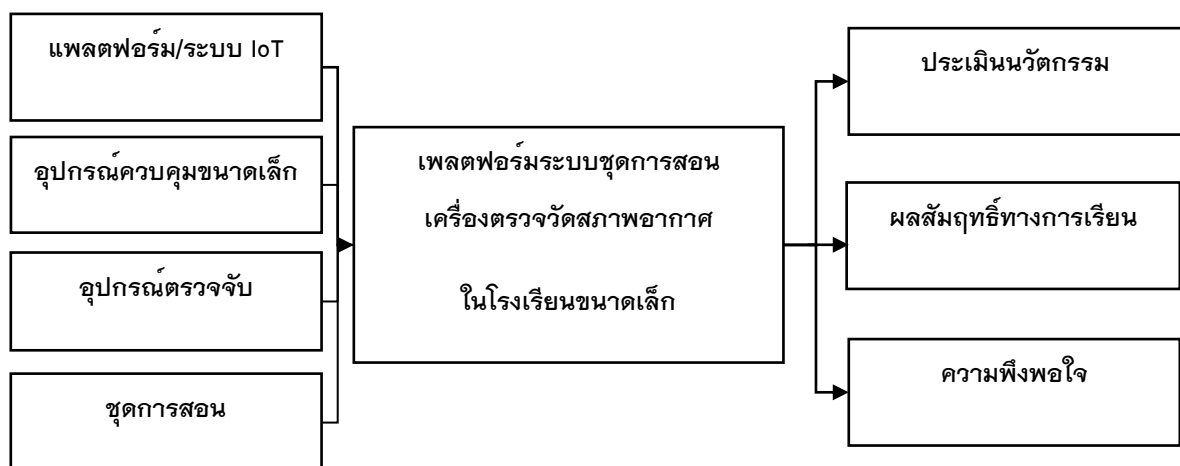
ปัญหาหมอกควันและฝุ่น PM 2.5 นับเป็นปัญหาหลักในภาคเหนือโดยเฉพาะช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว มีการเผาเศษวัชพืชทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพตามมาหมอกควันกระทบต่อคุณภาพชีวิต สุขภาพของคน และเศรษฐกิจภาคเหนือในวงกว้าง (กรมควบคุมมลพิษ, สถานการณ์ฝุ่นละออง PM 2.5, 2566) จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่ประสบกับปัญหาสภาพอากาศวิกฤตอันเกิดจากฝุ่น PM 2.5 ทุกปี ส่งผลกระทบกับทุกภาคส่วนโดยเฉพาะในภาคการศึกษาที่ส่งผลต่อนักเรียน ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้ นวัตกรรมที่จะมาช่วยป้องกันตนเองจากอันตรายของฝุ่นนอกจากเครื่องมือวัดฝุ่นแล้ว ยังต้องมีระบบฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะเป็นข้อมูลที่สามารุณใช้สนับสนุนการแก้ไขปัญหาหมอกควันในเขตพื้นที่ภาคเหนือได้ เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วทันเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น การนำเสนอข้อมูลผ่านระบบรายงานผลออนไลน์จากสถานีตรวจวัดในแต่ละแห่งให้ผู้รับข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและเข้าใจง่าย ภายใต้สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2561) นอกจากนี้ยังมีปัญหาการขาดแคลนผู้สอนด้านนวัตกรรมการศึกษาในจังหวัดเชียงรายมีโรงเรียนขนาดเล็กหลายแห่งขาดโอกาสทางการศึกษาโดยเฉพาะในด้านวิทยาการคำนวณ ขาดแคลนครูและสื่อการสอนไม่เพียงพอต่อความต้องการ (สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงราย, 2564)

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดการสร้างสื่อวัตกรรมการใช้แนวทางการวิจัยแบบวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียน เพื่อให้นักเรียนได้ตระหนักถึงปัญหา ศึกษาแนวทางแก้ไขและสามารถสร้างนวัตกรรมได้ด้วยตนเองผ่านการเรียนโดยชุดฝึก โดยจัดทำเป็นแพลตฟอร์มระบบชุดการสอน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักเรียนในการได้เรียนรู้หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในโรงเรียนให้เหมาะสม

กับบริบทสภาพแวดล้อมในท้องถิ่น อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์ ประมวลผลเป็นค่าสถิติต่าง ๆ สามารถตรวจสอบค่าฝุ่นและสภาพอากาศได้จากทุกที่ ทุกเวลา สำหรับนำไปแสดงผลในระบบออนไลน์ได้ สามารถพัฒนาต่อยอดเป็นระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (IoT : Internet of Things) อุปกรณ์นี้สามารถตั้งอยู่ที่ใดก็ได้ และข้อมูลสามารถถ่ายโอนไปยังโทรศัพท์ ผ่านทางบลูทูธหรือโดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดยอุปกรณ์จากสถานที่ต่าง ๆ สามารถตรวจสอบในภายหลังเพื่อการตัดสินใจและการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับสถานะคุณภาพของอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยให้บุคคลที่สนใจได้รับข้อมูลและมีการตอบสนองต่อสถานการณ์ได้ด้วย (Husain, 2016) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวางแผน ประเมิน และผลิตนวัตกรรมเพื่อป้องกันฝุ่นพิษตลอดจนนวัตกรรมสำหรับเสริมสร้างความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียนในโครงการระยะต่อไป

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ผู้วิจัยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย โดยประกอบด้วยหัวข้อหลักดังต่อไปนี้ 1. แพลตฟอร์มและระบบ IoT 2. อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก (Microcontroller) 3. อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) 4. ชุดการสอน 5. การประเมินนวัตกรรม 6. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 7. ความพึงพอใจ



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา เป็นเนื้อหาที่ปรับปรุงมาจากหลักสูตรท้องถิ่นเรื่องความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียน (องค์การช่วยเหลือเด็ก, 2560) มีเป้าหมายเพื่อสร้างความรู้ให้แก่ ครู อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษาให้รู้ถึงความเสี่ยงภัยของตนโดยเฉพาะในพื้นที่ และสามารถวางแผนมาตรการ วิธีการที่เหมาะสมตลอดจนสามารถดูแลผลกระทบเมื่อเกิดภัยพิบัติต่าง ๆ โดยใช้นวัตกรรมยุคใหม่มาช่วยใน

การพัฒนาเครื่องมือตรวจจับ ช่วยเหลือเบื้องต้น และเตือนภัยเพื่อเตรียมการป้องกันตัวจากภัยพิบัติต่าง ๆ

ขอบเขตด้านประชากร ประชากรเป็นนักเรียนระดับชั้น ประถมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงราย เขต 3 อำเภอแม่ฟ้าหลวง จำนวน 31 โรงเรียน จำนวน 621 คน ได้เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 30 คน จาก 3 โรงเรียน และครูในโรงเรียนสังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงราย เขต 3 อำเภอแม่ฟ้าหลวง จำนวน 554 คน ได้เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 6 คน จาก 3 โรงเรียน ที่มีคุณลักษณะสอดคล้องกับงานวิจัย การเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นไปตามตามเป้าหมายของการวิจัยที่ต้องมีคุณลักษณะเป็นโรงเรียนที่อยู่ในพื้นที่ภัยพิบัติและโรงเรียนมีการจัดการสอนหลักสูตรความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียน

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบวิจัยและพัฒนา (Research and Development) เป็นการวิจัยที่จะนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมที่มุ่งเน้นการได้มาซึ่งวิธีการหรือทางเลือกใหม่ ๆ ประเด็นปัญหาของการวิจัยถูกกำหนดมาโดยผู้วิจัยที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวข้อง มีการวิเคราะห์ประเด็นต่าง ๆ รวมถึงความเป็นไปได้อย่างชัดเจนและพิจารณาความเป็นไปได้ในการขยายผลการวิจัยออกไปสู่การใช้ประโยชน์จริง

1) กระบวนการวิจัยและพัฒนาทางการศึกษาตามขั้นตอน ดังนี้ 1.1 วิเคราะห์ความต้องการ ปัญหาและความต้องการ 1.2 ออกแบบนวัตกรรม วัตถุประสงค์ ระบบ รูปแบบ โครงสร้าง รายละเอียด ส่วนประกอบ ขั้นตอนการพัฒนา 1.3 พัฒนานวัตกรรม วางแผนการพัฒนา หาคุณภาพของเครื่องมือ ดำเนินการพัฒนา 1.4 รับรองนวัตกรรมต้นแบบ ตรวจสอบความเที่ยงตรง ตรวจสอบคุณภาพ 1.5 ทดลองใช้ขั้นต้น ได้ผลการทดลอง 1.6 ปรับปรุงคุณภาพ เพื่อได้นวัตกรรมที่ผ่านการปรับปรุง 1.7 ทดลองใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง ดำเนินการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล 1.8 สรุปผลและเผยแพร่วัตกรรมเพื่อนำไปใช้ (มนต์ชัย เทียนทอง, 2555)

2) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้ 1. แพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ 2. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนเมื่อสิ้นสุดการเรียนด้วยชุดการสอนที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบทดสอบแบบปรนัยแบบเลือกตอบจำนวน 20 ข้อ 3. แบบประเมินสื่อ นวัตกรรม 4. แบบวัดความพึงพอใจของครูและนักเรียนต่อชุดการสอน

วิธีการสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือวิจัย

1. แพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศมีขั้นตอนดังนี้ 1) การวิเคราะห์ความต้องการและปัญหา วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศและวิธีตอบสนอง การใช้เครื่องมือการสอนที่เหมาะสม สำนวญความต้องการโดยการตั้งคำถามกับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อทำความเข้าใจความต้องการในการเรียนรู้และการสอนเกี่ยวกับสภาพอากาศ 2) การออกแบบนวัตกรรม กำหนด

วัตถุประสงค์ สร้างเป้าหมายสำหรับชุดการสอน เสริมสร้างความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับปรากฏการณ์สภาพอากาศให้สามารถเข้าใจและสร้างนวัตกรรมเพื่อตรวจวัดได้ ออกแบบโครงสร้างของชุดการสอน รวมถึงแพลตฟอร์มออนไลน์และอุปกรณ์ปฏิบัติการที่จะใช้ในการสอน กำหนดส่วนประกอบหลัก ได้แก่ เนื้อหาทฤษฎี, กิจกรรมปฏิบัติ, เครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศ และระบบแพลตฟอร์มชุดการสอนออนไลน์ 3) การพัฒนานวัตกรรม วางแผนการพัฒนา สร้างกำหนดการและขั้นตอนการพัฒนาชุดการสอน พัฒนาเนื้อหาและเครื่องมือ สร้างเนื้อหาการสอนและพัฒนาหรือคัดเลือกเครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศที่จะใช้ในการปฏิบัติได้เป็นเครื่องมือชื่อ Air Squid และระบบแพลตฟอร์มชุดการสอนออนไลน์ 4) รับรองนวัตกรรมต้นแบบ ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านตรวจสอบโดยใช้แบบประเมินสื่อนวัตกรรม และนำความคิดเห็นและข้อเสนอแนะมาปรับปรุง 5) การทดสอบ ทดลองใช้ขั้นต้นกับกลุ่มตัวอย่างทดสอบขนาดเล็ก ที่เลือกมาจากโรงเรียนที่มีบริบทใกล้เคียงกับกลุ่มทดลองจริง จำนวน 3 โรงเรียน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสม ประสิทธิภาพของระบบชุดการสอน ได้ผลการประเมินและคำแนะนำเพื่อการปรับปรุง 6) ปรับปรุงคุณภาพแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศ ตามที่ได้รับข้อเสนอแนะ 7) การทดลองใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง การจัดการเรียนการสอนจะใช้วิธีการแบบ กระบวนการเรียนรู้แบบรวมพลัง 5 ขั้นตอน (5 STEPs Collaborative Learning Process) เป็นแนวการสอนที่มีลักษณะการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยการกระทำ เน้นการรวมกลุ่มของผู้เรียนที่มีความรู้ความสามารถแตกต่างกัน มาช่วยเหลือกันทำกิจกรรมเรียนรู้ และร่วมกันแลกเปลี่ยนเรียนรู้เพื่อค้นคว้าหาคำตอบ อันนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ใหม่ได้ด้วยตนเอง ประกอบด้วย (1) ขั้นเสนอสิ่งเร้าและระบุคำถามสำคัญ (2) ขั้นแสวงหาสารสนเทศและวิเคราะห์ (3) ขั้นอภิปรายและสร้างความรู้ (4) ขั้นสื่อสารและสะท้อนคิด (5) ขั้นประยุกต์และตอบแทนสังคม (พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ และ พเยาว์ ยินดีสุข, 2563) โดยใช้การจัดเป็นกิจกรรมการอบรม 2 วัน ดำเนินการประเมินผลโดยใช้เครื่องมือแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียนรู้ เพื่อวัดความสำเร็จของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ แบบวัดความพึงพอใจของครูและนักเรียน แบบประเมินสื่อนวัตกรรมสำหรับครู วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลเพื่อดูประสิทธิภาพของชุดการสอนและแนวทางปรับปรุงในระยะต่อไป 8) การเผยแพร่และขยายผล มีการแบ่งปันชุดการสอนและเครื่องมือตรวจวัดสภาพอากาศกับให้โรงเรียนที่เข้าร่วมทั้ง 3 โรงเรียน มีการทบทวนบทเรียนผ่านระบบการสอนออนไลน์ มีกิจกรรมจัดประชุมเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์หลังการอบรม และมีการรับรองการใช้ประโยชน์จากผลงานวิจัยจากโรงเรียนที่เข้าร่วมขยายผลโดยการสนับสนุนและช่วยเหลือโรงเรียนหรือครูคนอื่น ๆ ที่สนใจใช้ชุดการสอนนี้ เพื่อให้มีการใช้งานในวงกว้าง

2. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน ใช้แบบทดสอบที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นจำนวน 20 ข้อ มีการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน โดยการวิเคราะห์ค่า IOC (Index of Item Objective Congruence) เพื่อประเมินความสอดคล้องระหว่างเป้าหมายการเรียนรู้กับวัตถุประสงค์

3. แบบประเมินสื่อวัตกรรมการเรียนรู้แพลตฟอร์มชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ มี 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นวิเคราะห์ศึกษาการสร้างแบบประเมินสื่อวัตกรรมการเรียน แบบให้คะแนน รวมทั้งเอกสาร แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) ขั้นตอนย่อยดังนี้ (1) กำหนดคุณลักษณะของคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ที่ต้องการสร้างแบบประเมิน (2) สร้างแบบประเมิน เป็นเกณฑ์การประเมินแบบให้คะแนน แบ่งเป็นรายการประเมิน 4 ด้าน จำนวน 16 ข้อ แบ่งช่วงคะแนนเป็น 5 ช่วงคะแนน ได้แก่ ดีมาก ดี ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด (3) จัดทำแบบประเมินส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจจำนวน 3 ท่านเพื่อทำการวิเคราะห์ค่า IOC 3.2.4 นำความคิดเห็น และข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงแบบประเมิน

4. แบบวัดความพึงพอใจของนักเรียนต่อชุดการฝึกอบรม เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับของลิเคิร์ต (Likert Scale) มีขั้นตอนดังนี้ 1) ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีจากตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ 2) สร้างแบบวัดความพึงพอใจต่อการเรียนโดยให้ครอบคลุมเนื้อหา 5 ด้าน คือ ด้านเนื้อหา ด้านกระบวนการเรียนรู้และกิจกรรม ด้านสถานที่ ระยะเวลา การอำนวยความสะดวก ด้านอุปกรณ์ ด้านการมีส่วนร่วมของผู้เรียน มีเกณฑ์ดังนี้ พึงพอใจระดับมากที่สุด ระดับมาก ระดับปานกลาง ระดับน้อย ระดับน้อยที่สุด 3) นำแบบวัดที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พิจารณาและนำมาปรับปรุงแก้ไข 4) นำแบบวัดที่ตรวจแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับ นักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องของภาษา ความถูกต้องและความชัดเจน แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือวิจัยทั้งหมดของการวิจัยนี้ ได้ผ่านการตรวจสอบจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์โดย สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย รับรองการยกเว้นพิจารณาจริยธรรมโครงการวิจัย หมายเลขใบรับรอง COE. P3-002/2566

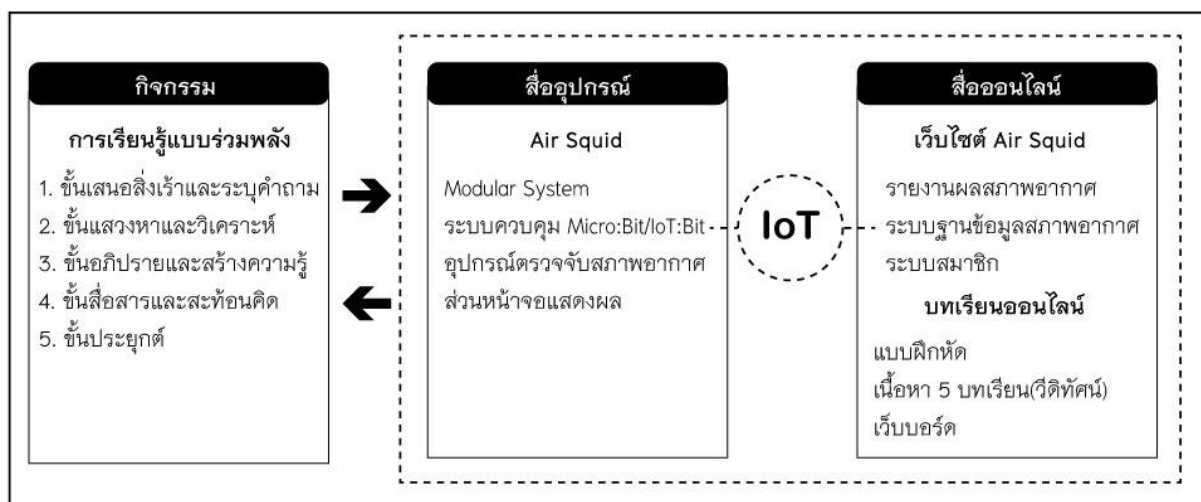
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้ 1) ขั้นเตรียมการ ผู้วิจัยได้ขอหนังสือจากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อขอให้ออกหนังสือขอความร่วมมือในการทดลองเครื่องมือและเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย และขอความร่วมมือในการทดลองเครื่องมือวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงเรียน 2) ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ก่อนทำการวิจัยการใช้แพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์ของการเรียน วิธีปฏิบัติให้กับนักเรียน จากนั้นผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียนก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และดำเนินการทดลองโดยดำเนินการตามแผนการสอนตามกระบวนการเรียนรู้แบบรวมพลัง 5 ขั้นตอน ใช้ระยะเวลา 2 วัน หลังสิ้นสุดการจัดกิจกรรมตามกำหนดแล้ว ให้นักเรียนทำการทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดเดียวที่ใช้ทดสอบก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และให้นักเรียนและครูทำแบบทดสอบความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลและอภิปราย

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

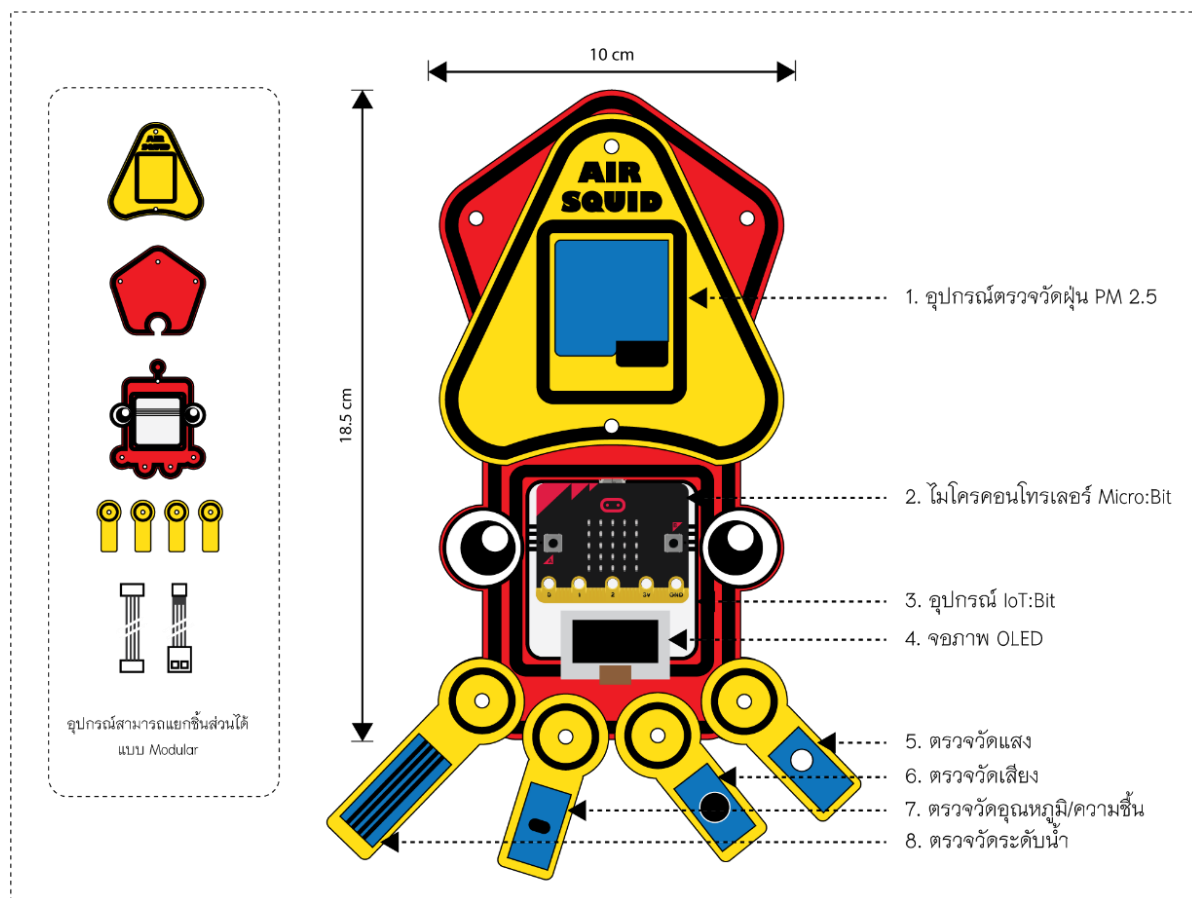
เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน และความพึงพอใจของนักเรียนและครู โดยการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าที่แบบไม่เป็นอิสระต่อกัน

ผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ที่ 1. เพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็ก ผลจากการพัฒนาได้แพลตฟอร์มมีองค์ประกอบตาม ภาพที่ 2



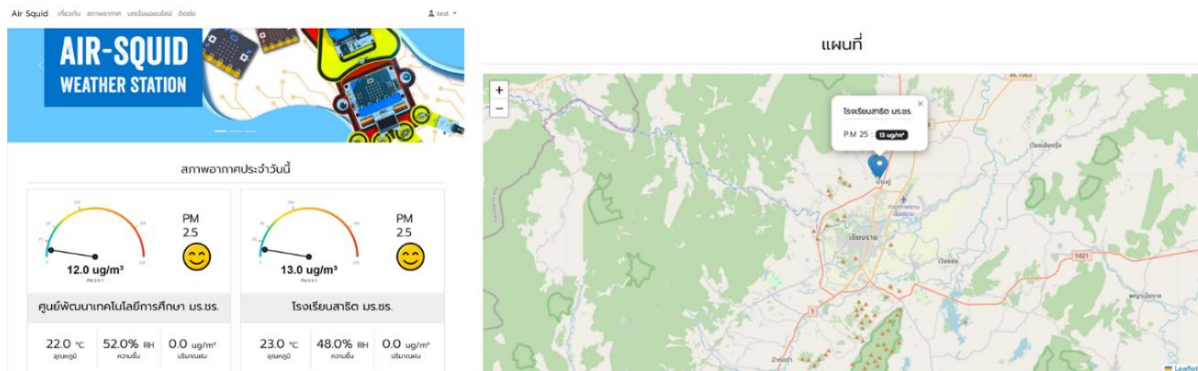
ภาพที่ 2 แสดงองค์ประกอบของแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ



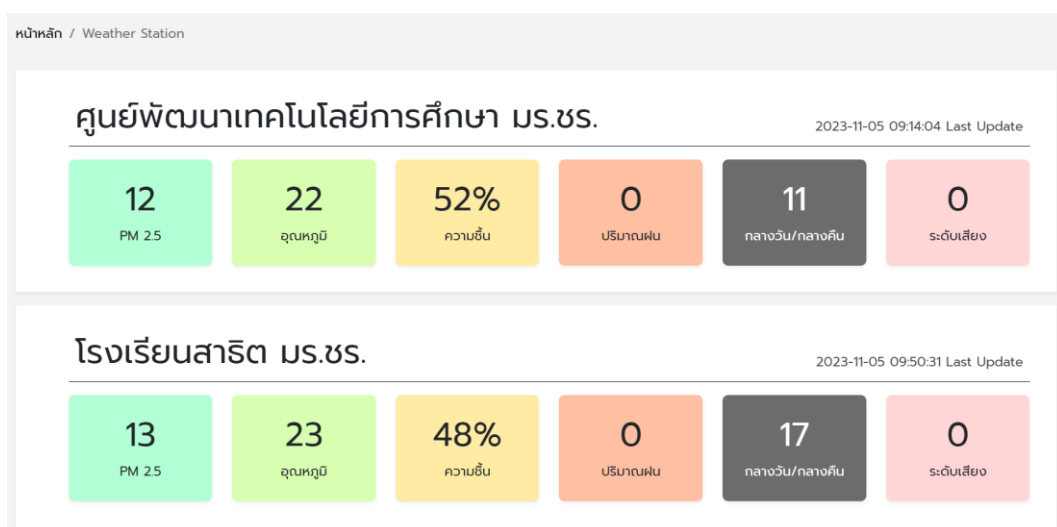
ภาพที่ 3 แผนภาพสื่ออุปกรณ์เครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ Air Squid

การออกแบบสื่ออุปกรณ์เครื่องตรวจสภาพอากาศ Air Squid ในภาพที่ 3 จากการสำรวจสภาพปัญหา พบว่านักเรียนต้องการสื่อที่มีความสวยงาม สามารถปรับเปลี่ยนได้หลากหลายเป็นที่มาของการสร้างสื่อที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากปลาหมึก มีการออกแบบโดยใช้สีและรูปแบบที่สดใสน่ารัก เหมาะกับวัยของผู้เรียน ผลิตจากแผ่นอะคริลิกความหนา 3 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงทนทาน สามารถถอดแยกชิ้นส่วนและประกอบเข้าด้วยกันได้ตามความเหมาะสมของโครงงานที่ต้องการ ใช้หลักแนวคิดการเชื่อมโยงสามารถปรับเปลี่ยนได้แบบ Modular โดยแต่ละส่วนมีการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตามภาพ ในส่วนของหัวเป็นชุดอุปกรณ์วัดฝุ่น ส่วนลำตัวเป็นระบบควบคุมขนาดเล็กสมองกลฝังตัว Micro: Bit และส่วนหนวดปลาหมึกเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแสง ตรวจวัดเสียง ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น และตรวจวัดระดับน้ำ เชื่อมโยงอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยสายไฟแบบ SVG นำเข้าข้อมูลและเป็นแหล่งจ่ายไฟด้วยสาย Micro USB มีช่องสำหรับเชื่อมต่อชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าหากันด้วยนอตแบบหางปลาและสามารถแขวนได้เพื่อความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ที่โรงเรียน ใช้แพลตฟอร์ม Microsoft MakeCode ในการเขียนโปรแกรมซึ่งเป็นแพลตฟอร์มการเรียนการสอนที่ให้บริการออนไลน์ ถูกออกแบบมาเพื่อทำให้การเรียนรู้การเขียนโปรแกรมและหลักการคอมพิวเตอร์เป็นเรื่องที่สนุกสำหรับ

นักเรียนทุกระดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มนักเรียนระดับประถมศึกษา เสริมสร้างทักษะด้านการคิดเชิงคำนวณ ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะในการคิดวิเคราะห์ แก้ไขปัญหา และการคิดเชิงตรรกะผ่านการเขียนโปรแกรม กระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ด้วยโปรเจกต์ที่หลากหลายและสนุกสนาน Micro:Bit กระตุ้นความสนใจและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีมการทำโปรเจกต์ด้วย Micro:Bit มักต้องการการทำงานร่วมกันซึ่งช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการสื่อสารและทำงานร่วมกับผู้อื่น (BBC Learning, 2024) (Sentance, 2017)



ภาพที่ 4 แพลตฟอร์มเว็บไซต์ Air Squid (<https://www.airmonster.xyz/airsquid>)



ภาพที่ 5 ภาพแสดงการรายงานข้อมูลสภาพอากาศผ่านเว็บไซต์แบบเวลาจริง

อุปกรณ์ Air Squid จะส่งข้อมูลค่าสภาพอากาศต่าง ๆ จากอุปกรณ์ตรวจวัด มายังระบบแพลตฟอร์มเว็บไซต์ www.airmonster.xyz ได้โดยใช้เทคโนโลยี IoT ที่สามารถรายงานผลสภาพอากาศได้ตามเวลาปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง PM 2.5 หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่างวันที่ 1–5 พฤศจิกายน 2566 จากเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ Air Squid เปรียบเทียบกับเครื่องวัดของกรมควบคุมมลพิษ

จุดติดตั้ง	1 พ.ย.	2 พ.ย.	3 พ.ย.	4 พ.ย.	5 พ.ย.
จุด 57T สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย (เทียบเคียง)	8.8	12.3	14.4	16.8	12.9
ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	9.1	11.3	15.4	15.9	12.0
โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	10.2	12.1	16.0	17.2	13.0

จากตารางที่ 1 จะพบว่าผลการตรวจวัดฝุ่นละอองจากเครื่องตรวจวัด Air Squid ที่ติดตั้งไว้ 2 จุดคือศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีการศึกษา และโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ทำการเทียบเคียงกับเครื่องวัดของกรมควบคุมมลพิษ จุดตรวจวัดที่ 57T สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย ซึ่งทั้งหมดมีพิกัดอยู่ใน อ.เมือง จ.เชียงราย ผลที่วัดมีค่าใกล้เคียงกัน มีสภาพอากาศอยู่ในดัชนีสภาพอากาศดีมากที่สุด 5 วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) แสดงให้เห็นว่าเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ Air Squid สามารถทำงานได้จริงเทียบเคียงได้กับเครื่องมาตรฐาน



ภาพที่ 6 ภาพการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

จากภาพที่ 6 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ Active Learning โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบร่วมมือ 5 ขั้นตอน (พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และ เพียว ยินดีสุข, 2563) ประกอบด้วยการจัดกิจกรรม 5 ขั้นตอนร่วมกันทั้งกิจกรรมในชั้นเรียนและแพลตฟอร์มออนไลน์โดยมีสื่ออุปกรณ์ชุดฝึกสนับสนุนการเรียนรู้ใช้เวลาในการจัดกิจกรรม 2 วันโดยการจัดผู้เรียนเป็นกลุ่ม 6 กลุ่มจัดนักเรียนกลุ่มละ 5 คน

ครู กลุ่มละ 1 คน เรียนรู้ไปพร้อมกัน มีการใช้อุปกรณ์ Air Squid ร่วมกับคอมพิวเตอร์และระบบอินเทอร์เน็ตในการทำกิจกรรม รายละเอียดกิจกรรมดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ

ขั้นตอน	กิจกรรมในชั้นเรียน	บทบาทครูและนักเรียน	แพลตฟอร์มออนไลน์
1. ขั้นเสนอสิ่งเร้าและระบุคำถามสำคัญ (Stimulating and Key Questioning)	ให้ความรู้พื้นฐานแก่นักเรียนในเรื่องการสร้างนวัตกรรมด้วยอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก นำเสนอเนื้อหาและฝึกปฏิบัติด้วยสื่ออุปกรณ์เครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ	นักเรียนตั้งคำถาม ปัญหาจากสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นในโรงเรียน ครูนำเสนอสิ่งเร้าให้ความรู้ช่วยเหลือผู้เรียนตั้งคำถามและสมมุติฐาน	นักเรียนดูและสังเกตคุณลักษณะสื่อที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบแพลตฟอร์ม นักเรียนดูตัวอย่างโครงงานจากสื่อออนไลน์
2. ขั้นแสวงหาสารสนเทศ และวิเคราะห์ (Searching and Analyzing)	ให้นักเรียนคนควาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ วางแผนเก็บรวบรวมข้อมูลสารสนเทศและทำการวิเคราะห์	นักเรียนร่วมกันคนควาข้อมูลทำงานเป็นกลุ่ม ครูออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสร้างใบงาน	นักเรียนคนควาจากแหล่งข้อมูลออนไลน์ เรียนรู้วิธีการสร้างโครงงานจากบทเรียนออนไลน์
3. ขั้นอภิปรายและสร้างความรู้ (Discussing and Constructing)	อภิปราย สรุปผลและสร้างองค์ความรู้ด้วยตัวผู้เรียนเอง มีการสะท้อนความคิดของผู้เรียนเพื่อปรับแก้ไขความรู้ที่สร้างขึ้น	นักเรียนร่วมกับอภิปรายและคิดแนวทางการสร้างนวัตกรรม ครูเป็นผู้ช่วยเหลือเชื่อมโยงสรุปไปยังความรู้ที่ถูกต้อง	นักเรียนรวมพูดคุยอภิปรายผ่านทางกระดานสนทนา
4. ขั้นสื่อสารและสะท้อนคิด (Communicating and Reflecting)	นำเสนอความรู้ที่ได้จากการสร้างความรู้ด้วยตนเอง เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการเรียนรู้ และการทำงานจนได้บทเรียน	นักเรียนร่วมกันนำเสนอความรู้โดยวิธีการต่าง ๆ อย่างหลากหลาย ครู คอยช่วยเหลือตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของผู้เรียน	นักเรียนนำเสนอผลงานผ่านทางออนไลน์ รับคำปรึกษาและตรวจสอบความก้าวหน้าของโครงงานจากผู้เชี่ยวชาญและครูผ่านช่องทางออนไลน์
5. ขั้นประยุกต์และตอบแทนสังคม (Applying and Serving)	ประยุกต์ความรู้ไปสู่การปฏิบัติ โดยการสร้างชิ้นงาน หรือสร้างนวัตกรรมผ่านการทำโครงการ เพื่อทำประโยชน์ให้กับสังคม	นักเรียนนำข้อค้นพบแนวทาง หรือนวัตกรรมที่ได้นำไปใช้ในโรงเรียน ครูทำหน้าที่เป็นที่ปรึกษาตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่อง	นักเรียนทดลองใช้สื่อนวัตกรรมในโรงเรียนสามารถนำเสนอผลของการใช้นวัตกรรมและรับคำแนะนำผ่านช่องทางออนไลน์

โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่มีต่อระบบชุดการสอนในด้านเนื้อหา การจัดกระบวนการเรียนรู้ ด้านอุปกรณ์ชุดฝึก ด้านแพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวม 4.52 อยู่ในระดับมากที่สุด มีข้อเสนอแนะในด้านการจัดกระบวนการเรียนรู้ว่าควรเพิ่มการจัดการเรียนแบบโครงการเป็นฐานเข้าไปเพื่อจะให้นักเรียนได้สร้างนวัตกรรมที่สามารถใช้งานได้จริง และในด้านอุปกรณ์ชุดฝึกควรเพิ่มอุปกรณ์ตัวตรวจวัดและอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เพื่อที่จะสร้างโอกาสในการสร้างสรรค์โครงการที่มีความหลากหลาย ด้านแพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์ให้เพิ่มช่องทางการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้เรียนรายบุคคล และรายกลุ่ม

วัตถุประสงค์ที่ 2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลัง ที่ได้เรียนจากชุดการสอน พบว่านักเรียนมีค่าคะแนนเฉลี่ยแบบทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 8.27 ค่าคะแนนเฉลี่ยแบบทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 13.27 จากคะแนนเต็ม 20 ดังนั้น ค่าเฉลี่ยคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน 5 คะแนน และเมื่อนำคะแนนมาเปรียบเทียบกับค่าสถิติ t-Test พบว่า ผลสัมฤทธิ์หลังการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ที่ได้ก่อนและหลังการเรียนด้วยแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ

คะแนน(20)	N	Mean	S.D.	t	df	P-value
ก่อนเรียน	30	8.27	2.16	11.18	29	0.00*
หลังเรียน	30	13.27	2.36			

*p<.01

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของครูและนักเรียนที่ได้เรียนจากชุดการสอน ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจของครูด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.50 ระดับมากที่สุด ด้านกระบวนการเรียนรู้และกิจกรรมมีค่าเฉลี่ย 4.50 ระดับมากที่สุด ด้านสถานที่/ระยะเวลา/การอำนวยความสะดวก มีค่าเฉลี่ย 3.67 ระดับมาก ด้านอุปกรณ์ มีค่าเฉลี่ย 4.67 ระดับมากที่สุด ด้านการมีส่วนร่วมมีค่าเฉลี่ย 3.67 ระดับมาก ในภาพรวมความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ย 4.20 อยู่ในระดับมากที่สุด ดังตารางที่ 4 มีข้อเสนอแนะสำคัญคือ เวลาในการอบรมน้อยเกินไปควรเพิ่มเวลาในการอบรม ควรมีอุปกรณ์ในการเรียนรู้ที่เพียงพอต่อจำนวนผู้เข้ารับการอบรม อุปกรณ์มีความคงทนและสวยงาม ประกอบได้ง่าย และควรให้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมกับการอบรมในทุก ๆ กิจกรรม

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจของครูหลังจากได้รับการอบรมโดยแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ N=6

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ					$\bar{x}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	5	4	3	2	1			
ด้านเนื้อหา/หลักสูตร	3	3	0	0	0	4.50	0.55	มากที่สุด
ด้านกระบวนการเรียนรู้/กิจกรรม	3	3	0	0	0	4.50	0.55	มากที่สุด
ด้านสถานที่/ระยะเวลา	0	4	2	0	0	3.67	0.52	มาก
ด้านอุปกรณ์	4	2	0	0	0	4.67	0.52	มากที่สุด
ด้านการมีส่วนร่วม	0	4	2	0	0	3.67	0.52	มาก
ภาพรวมความพึงพอใจ						4.20	0.53	มากที่สุด

ความพึงพอใจของนักเรียนด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.50 ระดับมากที่สุด ด้านกระบวนการเรียนรู้ และกิจกรรม มีค่าเฉลี่ย 4.53 ระดับมากที่สุด ด้านสถานที่/ระยะเวลา/การอำนวยความสะดวก มีค่าเฉลี่ย 3.70 ระดับมาก ด้านอุปกรณ์ มีค่าเฉลี่ย 4.77 ระดับมากที่สุด ด้านการมีส่วนร่วม มีค่าเฉลี่ย 3.77 ระดับมาก ในภาพรวมความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ย 4.25 อยู่ในระดับมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5 มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมคือ ควรเพิ่มเวลาการอบรม กิจกรรมการอบรมควรให้นักเรียนทุกคนมีบทบาทใกล้เคียงกัน ควรมีการอบรมบ่อย ๆ เพื่อทบทวนความจำ ควรมีการอบรมพื้นฐานคอมพิวเตอร์ก่อนมาอบรม สื่อการสอนใช้งานได้ง่ายและมีความสวยงาม สามารถเรียนรู้ได้อย่างสนุกสนาน

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจของนักเรียนหลังจากได้รับการเรียนโดยแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ N=30

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ					$\bar{x}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	5	4	3	2	1			
ด้านเนื้อหา/หลักสูตร	17	11	2	0	0	4.50	0.63	มากที่สุด
ด้านกระบวนการเรียนรู้/กิจกรรม	16	14	0	0	0	4.53	0.51	มากที่สุด
ด้านสถานที่/ระยะเวลา	5	12	12	0	0	3.70	0.79	มาก
ด้านอุปกรณ์	23	7	0	0	0	4.77	0.43	มากที่สุด
ด้านการมีส่วนร่วม	3	17	10	0	0	3.77	0.63	มาก
ภาพรวมความพึงพอใจ						4.25	0.60	มากที่สุด

อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็ก ผลการวิจัยพบว่าองค์ประกอบของระบบดังกล่าว ประกอบด้วย 1) อุปกรณ์เครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ 2) แพลตฟอร์มออนไลน์ 3) กิจกรรมการจัดการเรียนรู้

ซึ่งองค์ประกอบทั้งสามส่วนนำเสนอเนื้อหาและมีความสอดคล้องต่อเนื่องกันในการจัดการศึกษาแบบ STEM ศึกษาครบทั้ง 4 ด้าน

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ระบบควบคุมขนาดเล็กบอร์ด Micro:Bit ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลขนาดเล็กที่ออกแบบมาเพื่อการศึกษา การใช้งาน Micro:Bit ไม่เพียงแต่เพิ่มความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนเท่านั้น แต่ยังเป็นการฝึกฝนพวกเขาในการคิดอย่างมีระบบและการใช้ความรู้ทางเทคโนโลยีเพื่อสร้างสรรค์ผลงานที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการและปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การทำงานกับ Micro:Bit ยังเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนสำหรับอนาคตในอาชีพที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและการออกแบบเทคโนโลยี ซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญในโลกยุคใหม่ (Cederqvist, 2020) การนำอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กมาใช้ในการสอนวิทยาการคอมพิวเตอร์สามารถเปิดโอกาสให้นักเรียนพัฒนาทักษะการเขียนโปรแกรม และการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบได้อย่างดี เนื่องจากนักเรียนจะได้รับความสนใจและมีประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีความหมายและเกี่ยวข้องกับชีวิตจริง ซึ่งส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่ดียิ่งขึ้น (Voštinár & Knežník, 2020)

แพลตฟอร์มเพื่อการศึกษาที่ได้สร้างขึ้นมามีแนวคิดจากการที่ในปัจจุบันการศึกษาได้รับการปฏิวัติอย่างมากโดยเฉพาะการเข้าถึงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารหนึ่งในนวัตกรรมที่มีบทบาทสำคัญคือระบบแพลตฟอร์มการจัดการเรียนรู้ (LMS : Learning Management System) ซึ่งเป็นเครื่องมือออนไลน์ที่ออกแบบมาเพื่อส่งเสริมการจัดการเนื้อหาการศึกษา การเรียนการสอน การประเมินผล และการติดตามความก้าวหน้าของผู้เรียน LMS ได้กลายเป็นหัวใจสำคัญในการจัดการหลักสูตรและเนื้อหาการเรียนการสอนในหลากหลายระดับการศึกษา ตั้งแต่การศึกษาพื้นฐานไปจนถึงการศึกษาขั้นสูง (Ally, 2008) การใช้ LMS มีประโยชน์หลายประการ ได้แก่ ความสามารถในการจัดเก็บเนื้อหาการเรียนรู้นั้นทีเดียว การเข้าถึงได้ตลอดเวลา และการสนับสนุนการเรียนรู้แบบผสมผสาน นอกจากนี้ LMS ยังช่วยให้ผู้สอนสามารถปรับเปลี่ยนเนื้อหาการเรียนรู้อะไรก็ได้ตามความต้องการของนักเรียน ช่วยให้การเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (Brown, 2008)

ด้านกิจกรรมมีการปรับขนาดกลุ่มไม่ให้เกิน 5 คนต่อกลุ่ม และมีลักษณะการจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning จากรายงานขององค์การแพลนอินเตอร์เนชันแนลที่ได้จัดการประชุมสะท้อนคิดหลังการอบรมเกี่ยวกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเสริมสร้างความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียนพบว่าการจัดกิจกรรมตามเงื่อนไขดังกล่าวจะส่งผลดีต่อนักเรียน (องค์การแพลนอินเตอร์เนชันแนล, 2564) จากงานวิจัยของ Freeman et al. (2014) ในการศึกษาของพวกเขา พบว่าการใช้กิจกรรม Active Learning สามารถเพิ่มผลการเรียนรู้ของนักเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Prince (2004) กล่าวถึงความสำคัญของ Active Learning ในการพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิเคราะห์และการแก้ปัญหาให้กับนักเรียน

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังที่ได้เรียนจากชุดการสอน พบว่า นักเรียนมีค่าคะแนนเฉลี่ยแบบทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ อาจเป็นเพราะการจัดการเรียนการสอนโดยมีการบูรณาการสื่อการสอนแบบ STEM การใช้ อุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ในการสอน และสนับสนุนการสอนด้วยระบบแพลตฟอร์มการจัดการ เรียนรู้มีส่วนให้ผู้เรียนได้มีโอกาสเรียนรู้อย่างจริงจัง เข้าใจในหลักและวิธีการ การเรียนแบบ STEM ช่วย เพิ่มความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้จาก หลายสาขาวิชาเพื่อแก้ไขปัญหาจริง การศึกษาที่มีการนำเสนอโดย Marginson (2013) ชี้ให้เห็นว่า นักเรียนที่ได้รับการศึกษาในรูปแบบ STEM มีความสามารถในการคิดเชิงวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ดีขึ้น และการใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เป็นเครื่องมือในการสอนช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนรู้โดยการปฏิบัติ จริง เช่น การสร้างโปรเจกต์หรือโมเดลที่สามารถทำงานได้จริง การวิจัยของ High (2014) พบว่าการใช้ เทคโนโลยี เช่น ไมโครคอนโทรเลอร์ในห้องเรียนช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจและความสนใจ ในเนื้อหาวิชามากขึ้น และแพลตฟอร์ม LMS เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การเรียนการสอนเป็นไปอย่างมี ประสิทธิภาพ โดยมีการจัดเก็บเนื้อหาการเรียนรู้ การประเมินผล และการติดตามความก้าวหน้าของ นักเรียนในแพลตฟอร์มเดียวกัน การศึกษาโดย Singh and Thurman (2019) แสดงให้เห็นว่าการใช้ LMS ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าถึงเนื้อหาการเรียนรู้ได้ง่ายขึ้น และผลการเรียนมีการพัฒนาดีขึ้น

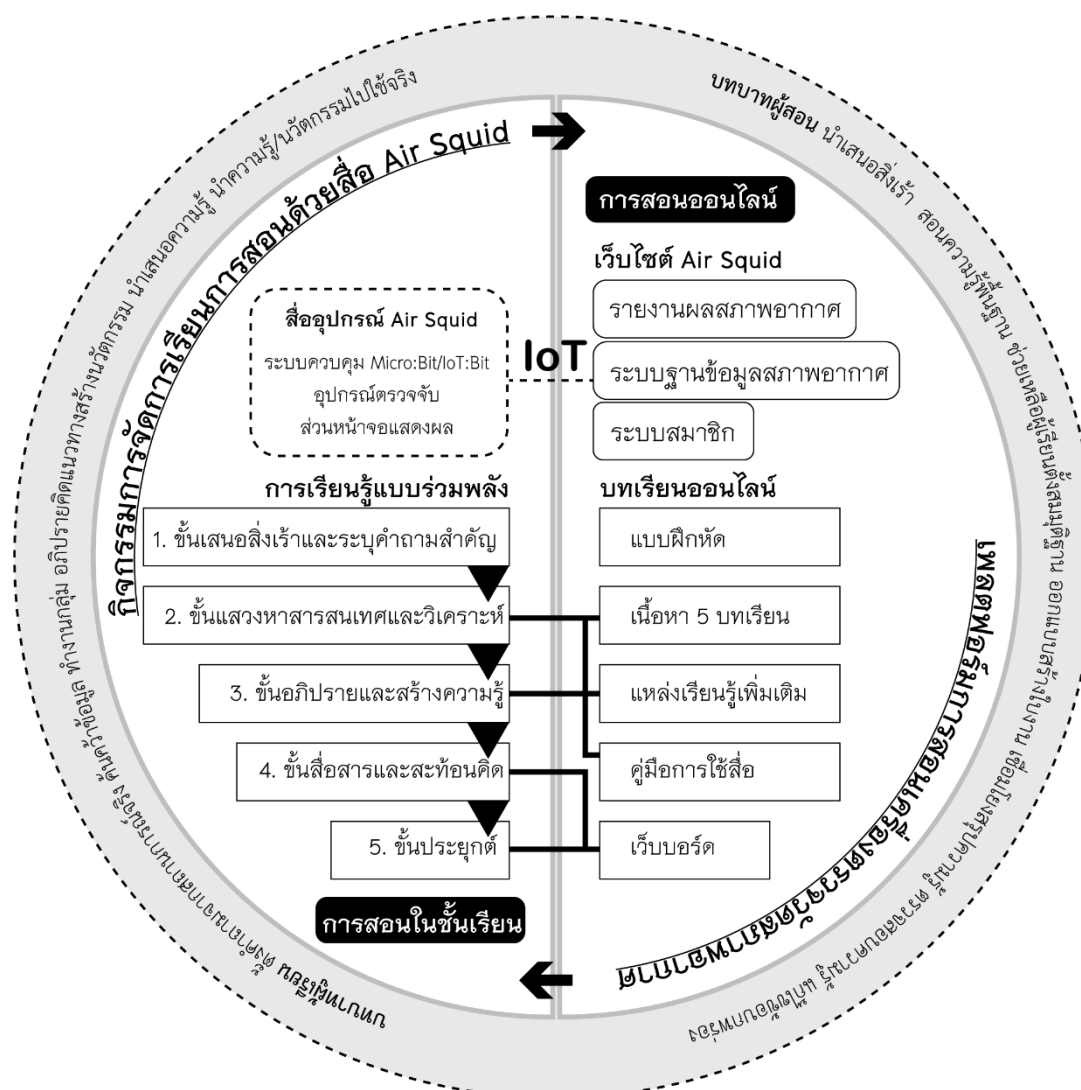
ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของครูและนักเรียนที่ได้เรียนจาก ชุดการสอนพบว่าครูและนักเรียนมีความพึงพอใจโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด อาจเป็นเพราะ กระบวนการจัดกิจกรรมแบบ Active Learning เป็นวิธีการสอนที่ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมอย่างเต็มที่ ในกระบวนการเรียนรู้ ผ่านการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การอภิปราย การทำโครงงานและการแก้ปัญหา เป็นกลุ่ม วิธีการนี้ช่วยเพิ่มความพึงพอใจและการเข้าใจในเนื้อหาวิชาเรียนได้ดียิ่งขึ้น (Freeman, 2014) การใช้ อุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ในการสอนช่วยให้ผู้เรียนได้สัมผัสกับการทำงานของระบบ อิเล็กทรอนิกส์จริง เปิดโอกาสให้ได้ลองผิดลองถูกและเรียนรู้จากประสบการณ์จริง การมีส่วนร่วม ในทุกกระบวนการของการสร้างโครงงานด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ สามารถเพิ่มความพึงพอใจ ในการเรียนรู้ได้ (Huang, 2015) จากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ Active Learning พร้อมกับ อุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ และแพลตฟอร์มออนไลน์ LMS ในชุดการสอนสามารถเพิ่มความพึงพอใจ ของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ นักเรียนตอบสนทนาว่าพวกเขารู้สึกมีส่วนร่วมมากขึ้น มีความสุขกับ กระบวนการเรียนรู้และรู้สึกมั่นใจในความสามารถของตนเองมากขึ้นเมื่อเรียนในรูปแบบนี้ (Smith, 2011)

จากการอภิปรายผลทั้ง 3 วัตถุประสงค์ พบว่า แพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัด สภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็กมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการเรียนรู้และความพึงพอใจของผู้ใช้ สื่อทั้งครูและนักเรียน จะสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัย ที่ได้ศึกษาเรื่องการใช้ ไมโครคอนโทรเลอร์ และระบบสมองกลฝังตัวในการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณร่วมกับ การใช้กิจกรรมการสอนแบบโครงงานเป็นฐาน ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวค้นพบว่า สามารถทำให้ผลสัมฤทธิ์

ทางการเรียนดีขึ้นและมีความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนมากขึ้นเช่นกัน (วิจิต เทพประสิทธิ์, 2565; Thepprasit, Thepprasit & Sintanakul, 2023)

องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

จากการวิจัยทำให้เกิดองค์ความรู้ ซึ่งเป็นกิจกรรมการเรียนรู้การสอนผ่านแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็ก สามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 7 แผนผังการจัดกิจกรรมแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ

กิจกรรมการจัดการเรียนการสอนด้วยสื่อ Air Squid : มีองค์ประกอบคือ สื่ออุปกรณ์ Air Squid และการจัดการเรียนรู้แบบ Active learning การเรียนรู้แบบร่วมพลัง 5 ขั้นตอนแสดงดังภาพ โดยมีการเชื่อมโยงกับแพลตฟอร์มในขั้นตอนการจัดกิจกรรมต่าง ๆ สำหรับสนับสนุนเป็นแหล่งเรียนรู้ และแลกเปลี่ยนข้อมูลในกระบวนการเรียนรู้ สื่ออุปกรณ์ Air Squid สามารถเชื่อมโยงกับระบบ

แพลตฟอร์มเว็บไซต์ Air Squid เพื่อนำเสนอรายงานผลสภาพอากาศแบบในเวลาจริง เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สังเกต วิเคราะห์กระบวนการสร้างสื่อเพื่อรายงานผลสภาพอากาศและประยุกต์ใช้กับบริบทโรงเรียน

แพลตฟอร์มการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศ : มีองค์ประกอบ คือเว็บไซต์ Air Squid เป็นเว็บไซต์ที่สามารถรับข้อมูลจากเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) ที่ติดอยู่กับสื่ออุปกรณ์ Air Squid ทำให้สามารถส่งข้อมูลจากอุปกรณ์เข้าไปยังระบบฐานข้อมูลเพื่อรายงานสภาพอากาศในเวลาจริงได้ นักเรียนสามารถปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศได้เองตามความเหมาะสม นอกจากนี้ยังมีระบบ LMS (Learning Management System) สำหรับจัดการเรียนรู้แบบครบวงจร มีแบบทดสอบแบบฝึกหัด เนื้อหาการเรียน เว็บไซต์สำหรับแลกเปลี่ยนความรู้และนำเสนอผลงาน ตลอดจนสามารถให้คำปรึกษา แนะนำ เพื่อให้โครงงานนวัตกรรมของนักเรียนเป็นไปได้อย่างราบรื่น

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลจากการวิจัยพบว่าแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้จริงได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดแนวคิดสร้างสรรค์ในการจัดสร้างผลงานสิ่งประดิษฐ์โดยต่อยอดจากสิ่งที่ได้เรียนมา ได้ฝึกการทำงานเป็นทีม ฝึกคิด วิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหา ควรเผยแพร่แพลตฟอร์มระบบชุดการสอนนี้ให้แพร่หลายโดยเฉพาะโรงเรียนที่มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัย

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ องค์ความรู้สำคัญ คือได้นวัตกรรมแพลตฟอร์มระบบชุดการสอนเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศในโรงเรียนขนาดเล็ก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน สามารถนำเอาปัญหาสำคัญในโรงเรียนมาเป็นประเด็นในการสร้างนวัตกรรมได้ สำหรับประเด็นในการวิจัยครั้งต่อไปควรทำวิจัยในประเด็นเกี่ยวกับ ทักษะในการใช้ระบบชุดการสอนและนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนหลักสูตรความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียน ตลอดจนการบูรณาการกับหลักสูตรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2566). *สถานการณ์ฝุ่นละออง PM 2.5*. สืบค้นจาก <https://www.air4thai.com/>
 พิมพ์นธ์ เดชะคุปต์ และ พเยาว์ ยินดีสุข. (2563). *การเรียนรู้เชิงรุกแบบรวมพลังกับ PLC เพื่อการพัฒนา*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มนต์ชัย เทียนทอง (2555). *ระเบียบวิธีวิจัยทางคอมพิวเตอร์ศึกษา*. กรุงเทพฯ: แดเน็กซ์ อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น.
- วิจิต เทพประสิทธิ์. (2565). *โครงการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้เครือข่ายโรงเรียนขนาดเล็ก รายวิชาวิทยาการคำนวณ*. เชียงราย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- วิจิต เทพประสิทธิ์ (2565). การพัฒนาชุดการสอน "นวัตกรรมโรงเรียนปลอดภัย" โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน ร่วมด้วยอุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัว ในหลักสูตรความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียน สำหรับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4-6 ในจังหวัดเชียงราย. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติพินิจสังคมวิทยา ครั้งที่ 7 การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนภายใต้ชีวิตวิถีใหม่* (pp. 35-43). พิษณุโลก: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพินิจสังคม.
- เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล. (2018). การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 และ PM10 ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, 2(1), 65-78.
- สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงราย (สพป.เชียงราย). (2564). *รายงานประจำปีสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงราย*. เชียงราย: สพป.เชียงราย.
- องค์กรช่วยเหลือเด็ก. (2560). *ความปลอดภัยรอบด้านในโรงเรียน (เอกสารแผ่นพับ)*. กรุงเทพฯ: องค์กรช่วยเหลือเด็ก.
- องค์การแพลนอินเตอร์เนชั่นแนล. (2564). *รายงานการประชุมสรุปผลโครงการ Girls' Next Gen: Teenage Programmers Youth Camp Micro: Bit Workshop*. เชียงราย.
- Ally, M. (2008). Foundations of educational theory for online learning. *The Theory and Practice of Online Learning*, 15-44.
- BBC Learning. (2024). *BBC micro:bit*. Retrieved from Introducing the BBC micro:bit: <https://www.microbit.org/>
- Brown, J. S. (2008). Minds on fire: Open education, the long tail, and Learning 2.0. *EDUCAUSE Review*, 43(1), 16-32.
- Cederqvist, A. (2020). An exploratory study of technological knowledge when pupils are designing a programmed technological solution using BBC Micro:bit. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 355-381. DOI:10.1007/s10798-020-09618-6
- Freeman, S. E. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.

- High, K. (2014). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education*, 77, 35–47.
- Huang, Y. M. (2015). Implementing a project-based learning approach in an introductory property course. *International Journal of Engineering Education*, 31(1), 1–11.
- Husain, A. M. (2016). Air quality monitoring: The use of arduino and android. *Journal of Modern Science and Technology*, 4(1), 86–96.
- Marginson, S. T. (2013). *STEM: Country comparisons: International comparisons of science, technology, engineering and mathematics (STEM) education. Final report*. Australian Council of Learned Academies.
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231.
- Sentence, S. W. (2017). Teaching with physical computing devices: Exploring the use of the BBC micro:bit in UK schools. *Computer Science Education*, 27(2–3), 46–67.
- Singh V., & Thurman A. (2019). How many ways can we define online learning? A systematic literature review of definitions of online learning (1988–2018). *American Journal of Distance Education*, 33(4), 289–306.
- Smith, J. A. (2011). Is active learning like broccoli? Student perceptions of active learning in large lecture classes. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 11(1), 53–61.
- Thepprasit, W., Thepprasit, R., & Sintanakul, K. (2023). Development of Instructional Media with Embedded Devices System to Enhance Computing Science Instruction in Chiang Rai Province's Small Schools. *Cultivating Sustainable and Equitable Education for All* (pp. 77–83). Songkla: Faculty of Education, Prince of Songkla University.
- Voštinár, P., & Knežník, J. (2020). Education with BBC micro:bit. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 16(14), 81. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v16i14.17071>
- Wangsala, S., & Swengam, W. (2021). Guidelines of computing science instruction for lower secondary school. *Journal of the Association of Researchers*, 26(1), 116–132.
- Wong, G., & Jiang, S. (2018). Computational Thinking Education for Children: Algorithmic Thinking and Debugging. *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, (pp. 328–334). Wollongong, NSW, Australia.