

วารสารชุมชนแห่งการเรียนรู้วิชาชีพครู

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2568) หน้า 118 - 141

Journal of Teacher Professional Learning Community (JTPLC)

Vol. 5, No. 2, pp. 106 - 141, July – December 2025

<https://so05.tci-thaijo.org/index.php/jtplc>



ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต เรื่อง เสียงที่มีต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5

The Effects of 5Es Inquiry-Based Learning with Metaverse on Sound Topic on Analytical Thinking Ability and Learning Achievement in Science for Grade 5 Students

พฤทธิวาส ลับภู*, พุฒิพงศ์ พงษ์จรัสจिरเดช, วุฒิชัย ไพคำนาม และสมจินต์ ศรีเมือง
โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายประถมศึกษา, ขอนแก่น, ประเทศไทย

Phruetiwas Labphoo*, Puttipong Phongjaratjiradet,

Wuttichai Phaikharnarm and Somjin Srimuang¹

Khon Kaen University Demonstration Elementary School, Khon Kaen, Thailand¹

*Corresponding Author's email: phruetila@kku.ac.th

Received: 22 Aug 2025

Revised: 27 Dec 2025

Accepted: 29 Dec 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนและหลังเรียน 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต กลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 (Unit E2/1) โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายประถมศึกษา (ศึกษาศาสตร์) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 38 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เสียง โดยใช้การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ จำนวน 5 แผน 2) สื่อการเรียนรู้จักรวาลนฤมิต (Metaverse) เรื่อง เสียง 3) แบบทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์ 4) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ 5) แบบประเมินความพึงพอใจ การวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสถิติ t-test for dependent samples และวิเคราะห์ความพึงพอใจด้วยค่าเฉลี่ย ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยก่อน

เรียนมีนักเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 23.68 และหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 84.21 2) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน 16.87 และหลังเรียน 19.76 และ 3) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 85.68)

คำสำคัญ: ความสามารถในการคิดวิเคราะห์, การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es), จักรวาลนฤมิต

Abstract

This research aimed to 1) compare analytical thinking abilities of Grade 5 students before and after learning, 2) compare learning achievement of students before and after learning, and 3) study students' satisfaction toward inquiry-based learning (5Es) with Metaverse. The target group consisted of 38 Grade 5 students (Unit E2/1) from Khon Kaen University Demonstration Elementary School, during the first semester of the 2024 academic year. Research instruments included: 1) five lesson plans on "Sound" using inquiry-based learning (5Es) focusing on analytical thinking, 2) learning materials on "Sound" on the Metaverse, 3) an analytical thinking ability test, 4) a learning achievement test, and 5) a satisfaction questionnaire. Data were analyzed by comparing pre-test and post-test results using t-test for dependent samples, while satisfaction was analyzed using mean scores. The results revealed that: 1) Students who learned through inquiry-based learning (5Es) with Metaverse demonstrated significantly higher analytical thinking abilities after learning at the .01 level. Before learning, 23.68% of students passed the criteria, increasing to 84.21% after learning. 2) Students' learning achievement significantly increased after learning at the .01 level, with mean scores increasing from 16.87 before learning to 19.76 after learning. 3) Students' satisfaction toward the learning management was at the highest level (85.68%).

Keywords: Analytical Thinking Ability, Inquiry-Based Learning (5Es), Metaverse

1. บทนำ

การศึกษาในศตวรรษที่ 21 กำลังเผชิญกับความท้าทายใหม่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี เศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมอย่างรวดเร็ว องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD) ได้เน้นย้ำในรายงาน Education 2030 ว่าผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 จำเป็นต้องพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง ความสามารถในการแก้ปัญหา และการคิดวิเคราะห์เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการดำรงชีวิตและการทำงานในอนาคต ผลการศึกษาระหว่างประเทศ เช่น Programme for International Student Assessment (PISA) และ Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) แสดงให้เห็นว่านักเรียนไทยยังมีผลการเรียนรู้ที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศสมาชิก OECD โดยเฉพาะในด้านการคิดวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้ความรู้ ผลการ

ทดสอบ PISA 2018 พบว่านักเรียนไทยมีคะแนนเฉลี่ยในด้านวิทยาศาสตร์ 426 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ย OECD ที่ 489 คะแนน และสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงกระบวนการจัดการเรียนรู้ (OECD, 2019)

ทักษะการคิดวิเคราะห์เป็นทักษะพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สถาบันการศึกษาชั้นนำระดับโลก เช่น มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด และมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด ได้เน้นย้ำถึงความสำคัญของทักษะนี้ในการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนสำหรับการศึกษาต่อและการทำงานในอนาคต Amorncheewin (2011) กล่าวว่า มนุษย์มีขีดความสามารถทางความคิดในเรื่องที่มีความซับซ้อนได้ไม่มากนัก ทำให้เมื่อเกิดปัญหาและต้องหาทางออก มักจะพบความติดตัน และอาจกลายเป็นปัญหาต่อไปในระยะถัดมา การพัฒนาขีดความสามารถในการคิดจึงเป็นแกนหลักสำคัญของการพัฒนาสังคม อันจะนำไปสู่การพัฒนาที่ดีขึ้นอย่างเป็นพลวัตและนวัตกรรม ความแตกต่างของการพัฒนาระหว่างประเทศส่วนสำคัญมาจากขีดความสามารถในการคิดที่เหนือกว่า ซึ่งปัญหาสำคัญประการหนึ่งคือ นักเรียนจำนวนน้อยที่ได้รับการสอนในเรื่องการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ทำให้เมื่อได้รับโจทย์ให้วิเคราะห์ในวิชาต่าง ๆ นักเรียนขาดตัวแบบที่จะทำหน้าที่ยังกล่าว และไม่สามารถเชื่อมโยงการวิเคราะห์ที่ดีไปสู่การประเมินได้ ซึ่งปัญหานี้ไม่ได้เกิดกับนักเรียนเท่านั้น แต่ผู้ใหญ่จำนวนมากก็ขาดทักษะดังกล่าว

สอดคล้องกับการศึกษาของ World Economic Forum (2020) ระบุว่าทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาเชิงซับซ้อนอยู่ในอันดับต้น ๆ ของทักษะที่นายจ้างต้องการมากที่สุดในตลาดแรงงานอนาคต นอกจากนี้ การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ยังช่วยเสริมสร้างความสามารถในการเรียนรู้ตลอดชีวิต ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญที่ผู้เรียนต้องมีในยุคที่ความรู้และเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การฝึกฝนให้คนในสังคมมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์จึงเป็นสิ่งจำเป็น Pathumsuti (2010) ได้กล่าวว่ากระบวนการคิดและการคิดวิเคราะห์เป็นสิ่งที่สร้างเสริมได้ด้วยการฝึกฝนทักษะ มีใช้สิ่งที่เหลือบ่ากว่าแรง โดยครูทุกคน ทุกวิชา และผู้บริหารการศึกษาทุกระดับต้องพัฒนาตนเองให้เป็นนักคิดและนักสร้างสรรค์กระบวนการทางปัญญาที่ลุ่มลึกแหลมคมก่อน สอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ที่กำหนดสมรรถนะสำคัญของผู้เรียนที่ต้องมี 5 ประการ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือความสามารถในการคิด โดยเฉพาะการคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ คิดอย่างสร้างสรรค์ คิดอย่างมีวิจารณญาณ และคิดเป็นระบบ เพื่อนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้และการตัดสินใจเกี่ยวกับตนเองและสังคมได้อย่างเหมาะสม รายวิชาวิทยาศาสตร์จึงมุ่งเน้นให้ผู้เรียนพัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ และมีทักษะในการค้นคว้าหาความรู้ (Ministry of Education, 2008)

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในประเทศไทยยังคงประสบปัญหาหลายประการ รายงานการติดตามและประเมินคุณภาพการศึกษาของ สำนักงานรับรองมาตรฐานและ

ประเมินคุณภาพการศึกษา (สมศ.) ปี 2564 พบว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับประถมศึกษาส่วนใหญ่มุ่งเน้นการท่องจำมากกว่าการเข้าใจและการประยุกต์ใช้ จากผลการสำรวจของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) พบว่าครูวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษาร้อยละ 68 ยังใช้วิธีการสอนแบบบรรยายเป็นหลัก ขาดการจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์และการสืบเสาะหาความรู้ ปัญหานี้ส่งผลให้นักเรียนขาดทักษะการคิดขั้นสูงและไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ONESQA, 2021)

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) เป็นรูปแบบหนึ่งที่สามารถส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ขั้นอธิบาย (Explanation) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และขั้นประเมินผล (Evaluation) (BSCS., 2006) รูปแบบการสอนนี้ช่วยให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่โดยเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนกับประสบการณ์หรือความรู้เดิม ในขณะเดียวกันนั้นการใช้เทคโนโลยีในการศึกษาได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะหลังจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในระบบการศึกษาทั่วโลก รายงานของ McKinsey & Company (2021) พบว่าการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการศึกษาเพิ่มขึ้น 5 เท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงก่อนการแพร่ระบาด เทคโนโลยี Metaverse หรือจักรวาลนฤมิตกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในวงการศึกษา บริษัทเทคโนโลยีชั้นนำ เช่น Meta (เดิมชื่อ Facebook) Microsoft และ Google ได้ลงทุนพัฒนาแพลตฟอร์มและเครื่องมือสำหรับการศึกษาในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง Goldman Sachs ประเมินว่าตลาดเทคโนโลยี Metaverse ในด้านการศึกษาจะมีมูลค่าถึง 12.8 พันล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2030

เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิต (Metaverse) เป็นช่องทางหรือ Platform การติดต่อสื่อสารในรูปแบบโลกเสมือนจริงไร้พรมแดน ที่สามารถสร้างภาพเสมือนจริงและมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมผ่านอวตาร (Avatar) กำลังได้รับความนิยมในวงการศึกษา เนื่องจากช่วยให้สิ่งที่เป็นนามธรรมกลายเป็นภาพเสมือนจริงที่สัมผัสได้ ช่วยเพิ่มพูนประสบการณ์การเรียนรู้ และทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยขยายพรมแดนการเรียนรู้ให้กว้างไกลและสร้างความตื่นเต้น สนุกสนานในการเรียน (Somboon, 2022)

จากสถานการณ์และปัญหาที่กล่าวมา การวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นร่วมกับเทคโนโลยี Metaverse ต่อการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์จึงมีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง การวิจัยนี้ไม่เพียงแต่ตอบสนองต่อความต้องการในการปรับปรุงคุณภาพการศึกษาวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังเป็น

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีล้ำสมัยเพื่อเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีคุณภาพและสอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21

ผลการวิจัยที่ได้รับจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนักวิชาการ ผู้บริหารการศึกษา ครูผู้สอน และผู้กำหนดนโยบายการศึกษาในการตัดสินใจเกี่ยวกับการลงทุนและการพัฒนาระบบการจัดการเรียนรู้ที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การวิจัยนี้ยังเป็นการเปิดโอกาสให้เกิดการวิจัยและพัฒนาต่อยอดในอนาคต เพื่อสร้างนวัตกรรมการศึกษาที่สามารถยกระดับคุณภาพการศึกษาไทยให้เทียบเท่าระดับสากล

2. จุดประสงค์การวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต โดยผลการใช้ประกอบด้วย 1) ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ 3) ความพึงพอใจของผู้เรียน ดังนี้

1) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต

2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต

3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต

3. หลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และกรอบแนวคิดในการวิจัย

3.1 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น หรือ 5Es เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่โดยเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้เข้ากับประสบการณ์หรือความรู้เดิม พัฒนาความเข้าใจแนวคิดและเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ (Lakenna Chitman-Booker & Kathleen Kopp, 2013) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement): เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนโดยกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจ อยากรู้ อยากเห็น และเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับเหตุการณ์ที่จะเรียนรู้

ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration): ผู้เรียนวางแผนกำหนดแนวทางการสำรวจ ตรวจสอบ และรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการที่หลากหลาย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอ

ขั้นอธิบาย (Explanation): ผู้เรียนนำข้อมูลที่ได้อธิบาย เปรียบผล สรุปผล และนำเสนอผลที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ

ชั้นขยายความรู้ (Elaboration): ผู้เรียนนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือแนวคิดที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติม หรือนำไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ

ชั้นประเมิน (Evaluation): ผู้เรียนประเมินความรู้ความเข้าใจของตนเอง ทักษะกระบวนการที่ได้พัฒนา และการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้

3.2 หลักการของการคิดวิเคราะห์และการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์

การคิดวิเคราะห์เป็นกระบวนการทางความคิดที่ซับซ้อนซึ่งเกี่ยวข้องกับการแยกแยะ ตรวจสอบ และประเมินข้อมูลอย่างเป็นระบบดังที่ Bloom (1956) ได้จำแนกการคิดวิเคราะห์ไว้ในระดับที่ 4 ของ Taxonomy of Educational Objectives โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Analysis of Elements), การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Analysis of Relationships) และ การวิเคราะห์หลักการ (Analysis of Organizational Principles) กรอบแนวคิดนี้ได้รับการยอมรับและนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการพัฒนาหลักสูตรและการวัดประเมินผลการเรียนรู้ทั่วโลก หลังจากนั้น Anderson และ Krathwohl (2001) ได้ปรับปรุง Bloom's Taxonomy โดยเปลี่ยนการวิเคราะห์ (Analyze) ให้เป็นกระบวนการทางปัญญาที่ประกอบด้วย การจำแนกแยกแยะ (Differentiating) การจัดระเบียบ (Organizing) และการระบุคุณลักษณะเฉพาะ (Attributing) ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในการแก้ปัญหาและการคิดเชิงวิพากษ์

งานวิจัยหลายชิ้นได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ Paul และ Elder (2019) เสนอว่าการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ต้องอาศัยการฝึกฝนอย่างต่อเนื่องผ่านกิจกรรมที่ทำลายความคิด เช่น การตั้งคำถาม การแก้ปัญหา การประเมินข้อมูล และการสร้างข้อสรุป Facione (2015) พบว่าการเรียนรู้แบบเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (Student-Centered Learning) โดยเฉพาะรูปแบบที่ให้ผู้เรียนได้สืบค้น วิเคราะห์ และสร้างความรู้ด้วยตนเอง มีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์มากกว่าการเรียนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว

ในบริบทของการศึกษาวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-Based Learning) ได้รับการยอมรับว่าเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ National Research Council (2012) ระบุว่ากระบวนการสืบเสาะหาความรู้ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะการตั้งคำถาม การวางแผนการสืบเสาะ การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล และการสร้างข้อสรุป ซึ่งล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญของการคิดวิเคราะห์

3.3 จักรวาลนฤมิต (Metaverse) กับการเรียนรู้

จักรวาลนฤมิต (Metaverse) เป็นเทคโนโลยีที่สร้างโลกเสมือนจริงแบบ 3 มิติ รวมถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพและดิจิทัลเข้าด้วยกันผ่านเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) และ Mixed Reality (MR) โดยผู้ใช้งานสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมเสมือนจริงผ่านอวตาร (Avatar) (Somboon, 2022)

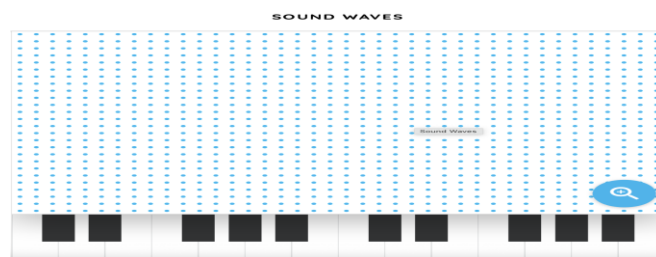
ในบริบทการศึกษา Metaverse มีศักยภาพในการทำให้เนื้อหาที่เป็นนามธรรมกลายเป็นรูปธรรมที่จับต้องได้, สร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบ Active Learning ที่ผู้เรียนมีส่วนร่วม, เพิ่มแรงจูงใจและความสนใจในการเรียนรู้, สร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ปลอดภัยสำหรับการทดลองและการเรียนรู้จากความผิดพลาด และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สำรวจสถานที่หรือสถานการณ์ที่เข้าถึงได้ยากในโลกจริง

ตัวอย่างสภาพแวดล้อมจักรวาลนฤมิตที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 1 ห้องปฏิบัติการเสียงเสมือนจริงในจักรวาลนฤมิต ภาพที่ 2 ทางเชื่อมไปยังห้องปฏิบัติการอื่น

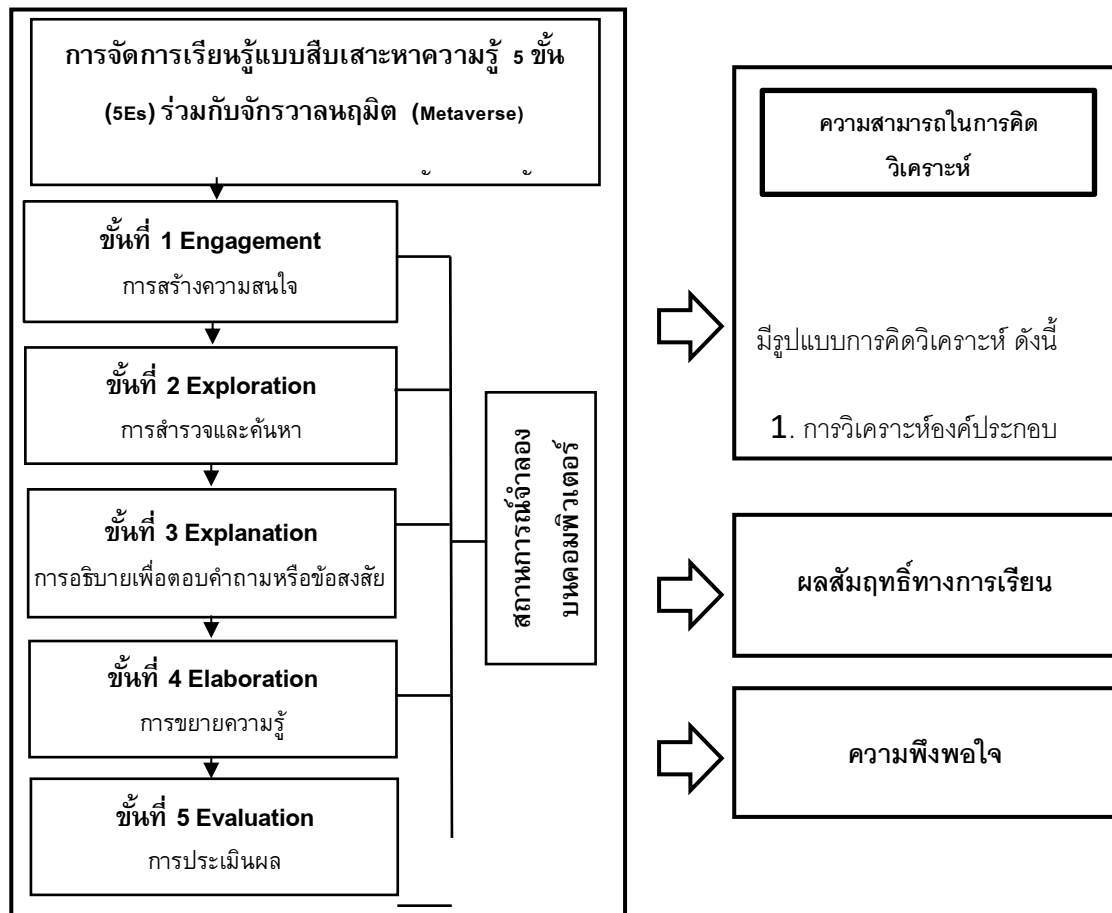
คำอธิบายภาพ: นักเรียนสามารถทดลองเกี่ยวกับการเกิดเสียงโดยการสั่นสะเทือนของวัตถุ พร้อมฟังเสียงการทดลองผ่านอวตาร (Avatar) ของตนเอง และเชื่อมต่อไปยังภารกิจต่อไปผ่านทางเชื่อม



ภาพที่ 3 การทดลองเปรียบเทียบเสียงสูง-ต่ำ

คำอธิบายภาพ: นักเรียนสามารถปรับความถี่ของเสียงตามแป้นคีย์บอร์ด และสังเกตผลที่เกิดขึ้นแบบทันที โดยสังเกตจากแบบจำลองการสั่นของอนุภาค (จุดกลมสีฟ้า) พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลไว้วิเคราะห์

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องดังกล่าวจึงได้สรุปกรอบแนวคิดในการวิจัยดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research methodology) ในรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยที่แบบการวิจัยเป็นแบบยังไม่เข้าขั้นการทดลอง (Pre-experimental design) ในลักษณะแผนงานวิจัยแบบกลุ่มเดียวที่มีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One group pretest-posttest design)

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

กลุ่มคนที่เข้าร่วมการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 (Unit E2/1) โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายประถมศึกษา (ศึกษาศาสตร์) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 38 คน เลือกโดยวิธีการเจาะจง

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง เสียง ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 สำหรับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ดังนี้

มาตรฐานการเรียนรู้: มาตรฐาน ว 4.1: เข้าใจความสัมพันธ์และผลกระทบระหว่าง แรงกับการเคลื่อนที่ พลังงานและการถ่ายโอนพลังงาน ความร้อน อุณหภูมิ แสง เสียง และ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ตัวชี้วัด: ว 4.1 ป.5/3: อธิบายการเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง ความสูง-ต่ำ และความดัง-เบาของเสียง และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์หรือป้องกันอันตรายที่เกิดจากเสียง

หน่วยการเรียนรู้: เสียง

หัวข้อเนื้อหา: การเกิดเสียง, การเคลื่อนที่ของเสียง, เสียงสูง-เสียงต่ำ, เสียงดัง-เสียง เบา และ การป้องกันมลพิษทางเสียง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยดำเนินการดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ทดสอบก่อนเรียนโดย

1.1 ใช้แบบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ซึ่งผู้วิจัยพัฒนา แบบทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์โดยใช้กรอบแนวคิดของ Bloom (1956) ที่ แบ่งการคิดวิเคราะห์เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Analysis of Elements) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Analysis of Relationships) และการวิเคราะห์ หลักการ (Analysis of Organizational Principles)

1.2 แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผู้วิจัยพัฒนาแบบทดสอบวัดผล สัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องเสียง โดยใช้ตัวชี้วัดและมาตรฐานการเรียนรู้ตามหลักสูตร แกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 เป็นข้อสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ครอบคลุมเนื้อหาในระดับความรู้ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ตามกรอบ แนวคิดของ Bloom's Taxonomy

2. ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 5 แผน ที่มี ขั้นตอนการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง "เสียง" ได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: การศึกษาหลักสูตรและเอกสารที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยศึกษา หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดของ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 เรื่องเสียง รวมทั้งศึกษาเอกสาร เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น และการใช้เทคโนโลยี Metaverse ในการศึกษา

ขั้นตอนที่ 2: การวิเคราะห์เนื้อหา ผู้วิจัยวิเคราะห์เนื้อหาเรื่องเสียงเพื่อแบ่งออกเป็นหน่วยการเรียนรู้ย่อย และกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ โดยครอบคลุมเนื้อหา ได้แก่ การเกิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียง เสียงสูงเสียงต่ำ เสียงดังเสียงเบา และการป้องกันมลพิษทางเสียง

ขั้นตอนที่ 3: การออกแบบกิจกรรมใน Metaverse ผู้วิจัยร่วมมือกับผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษาในการออกแบบสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่สอดคล้องกับเนื้อหาแต่ละบทเรียน เช่น ห้องปฏิบัติการเสียงเสมือนจริง โรงงานผลิตเครื่องดนตรี และสภาพแวดล้อมที่มีปัญหามลพิษทางเสียง

ขั้นตอนที่ 4: การเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 5 แผน โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ผสมผสานกับการใช้เทคโนโลยี Metaverse ในแต่ละขั้นตอนอย่างเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 5: การตรวจสอบคุณภาพ ผู้วิจัยนำเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นร่วมกับสื่อจักรวาลนฤมิต, แบบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์, แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องของเนื้อหา ความยาก อำนาจจำแนก และความเชื่อมั่น โดยมีผลการประเมิน ดังตารางที่ 1

Table 1. ตารางแสดงผลการประเมินเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

เครื่องมือ	หัวข้อผลการประเมิน ที่ผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ			
	IOC	ค่าความยาก (p)	อำนาจจำแนก (r)	ความเชื่อมั่น
แผนการจัดการเรียนรู้	0.89	-	-	-
สื่อจักรวาลนฤมิต	0.92	-	-	-
แบบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์	0.95	0.52	0.45	0.84 (KR-20)
แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	0.85	0.58	0.42	0.88 (KR-20)
แบบสอบถามความพึงพอใจ	0.90	-	-	0.92 (Alpha)

จากตารางที่ 1 เครื่องมือทุกชิ้นมีคุณภาพที่ดี ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด และสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้

ขั้นตอนที่ 6: ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้เวลา 8 คาบ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตในการวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการผ่านขั้นตอนดังนี้

(1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ใช้จักรวาลนฤมิตสร้างสถานการณ์ปัญหาเกี่ยวกับเสียงในชีวิตประจำวันผ่านภาพเสมือน 3 มิติที่นักเรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์ได้ เช่น ห้องคอนเสิร์ตเสมือนจริงที่มีเครื่องดนตรีและแหล่งกำเนิดเสียงหลากหลาย

(2) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนสำรวจการเกิดเสียงและการเคลื่อนที่ของเสียงในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยสามารถเห็นคลื่นเสียงและการสั่นของอนุภาคที่มองไม่เห็นได้ในโลกจริง นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มเพื่อบันทึกและรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตและทดลองในโลกเสมือน

(3) ขั้นอธิบาย (Explanation) นักเรียนวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้ในจักรวาลนฤมิตที่ช่วยสร้างแบบจำลองและกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเสียง

(4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) นักเรียนประยุกต์ความรู้โดยออกแบบเครื่องดนตรีเสมือนจริงหรือระบบป้องกันมลพิษทางเสียงในสภาพแวดล้อมจักรวาลนฤมิตและ

(5) ขั้นประเมิน (Evaluation) นักเรียนนำเสนอผลงานและแนวคิดผ่านแพลตฟอร์มเสมือนจริงที่ครูและเพื่อนสามารถเข้าชมและให้ข้อเสนอแนะได้

การใช้จักรวาลนฤมิตในแต่ละขั้นตอนช่วยเปลี่ยนแนวคิดที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรม ส่งเสริมการมีส่วนร่วม และเพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้

3. ดำเนินการทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์และแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดเดิม แต่สลับลำดับข้อคำถาม

4. ให้นักเรียนตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยได้ดำเนินการควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนหลายประการเพื่อให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ ประการแรก การควบคุมตัวแปรด้านครูผู้สอนโดยใช้ครูผู้สอนคนเดียวกันสำหรับทั้งสองกลุ่ม และครูผู้สอนมีความรู้และทักษะที่เพียงพอในการดำเนินการทดลอง ประการที่สอง การควบคุมตัวแปรด้านเวลาโดยจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในช่วงเวลาเดียวกัน และ ใช้ระยะเวลาเท่ากัน ประการที่สาม การควบคุมตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมโดยใช้ห้องเรียนที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันและ มีอุปกรณ์ที่จำเป็นครบถ้วน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเกี่ยวกับความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย, ร้อยละ และ t-test ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนน จากค่า t วิเคราะห์ความสัมพันธ์ จากค่า correlations และวิเคราะห์ขนาดของผลกระทบ (Effect Size) โดยใช้สูตร Cohen's d และหาค่า Hedges' correction วิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ โดยใช้สถิติพื้นฐานคือค่าเฉลี่ยและร้อยละ

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย

1. ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการคิดวิเคราะห์

ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต มีคะแนนความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 6.11 คะแนน (SD = 1.83) และหลังการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 8.82 คะแนน (SD = 2.30) ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.71 คะแนน หรือคิดเป็นการพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 44.35 จากคะแนนเดิม ดังตารางที่ 2

Table 2. Comparison results of pre-test and post-test scores on analytical thinking ability using samples statistic

Samples Statistic		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Pre-test	6.1053	38	1.82756	.29647
	Post-test	8.8158	38	2.29989	.37309

จากผลการทดสอบค่า t สำหรับกลุ่มตัวอย่าง (Paired Samples t-test) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ($t = -8.040$, $df = 37$, $p < .001$) ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ .05 อย่างชัดเจน สามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 3

Table 3. Comparison results of pre-test and post-test scores on analytical thinking ability using paired samples t-test

Pair 1	Paired Differences					t	df	Significance	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				One-Sided p	Two-Sided p
				Lower	Upper				
Pre - Post	-2.71053	2.07830	.33715	-3.39365	-2.02740	-8.040	37	<.001	<.001

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตในการพัฒนาความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ การที่นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนี้เป็นผลมาจากการบวนการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอนที่ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ที่นักเรียนได้เห็นปรากฏการณ์การเกิดเสียงและการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในรูปแบบภาพเสมือนจริง 3 มิติ ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นของวัตถุกับการเกิดเสียงได้อย่างชัดเจน และในขั้นอธิบาย (Explanation) นักเรียนได้ฝึกการวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญของการเกิดเสียงและปัจจัยที่ส่งผลต่อความความสูงต่ำของเสียงผ่านแบบจำลองเสมือนจริง การจัดกิจกรรมในลักษณะนี้สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์และการสร้างความรู้ด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงผลให้เห็นว่าคะแนนความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลาง ($r = .513, p < .001$) ซึ่งบ่งชี้ว่านักเรียนที่มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์สูงในช่วงก่อนการจัดการเรียนรู้อาจจะมีความสามารถสูงในช่วงหลังการจัดการเรียนรู้เช่นกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ไม่สูงมากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้สามารถช่วยให้นักเรียนที่มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ต่ำในตอนแรกสามารถพัฒนาตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 4

Table 4. Comparison results of pre-test and post-test scores on analytical thinking ability using paired samples correlations

Paired Samples Correlations		N	Correlation	Significance	
				One-Sided p	Two-Sided p
Pair 1	Pre & Post	38	.513	<.001	<.001

จากการศึกษาขนาดของผลกระทบ พบว่าขนาดอิทธิพล (Effect Size) ที่คำนวณได้จากสูตร Cohen's d มีค่าเท่ากับ -1.304 และค่า Hedges' correction เท่ากับ -1.278 ซึ่งถือว่าเป็นขนาดอิทธิพลที่ใหญ่มาก (Large Effect Size) ตามเกณฑ์ของ Cohen (1988) ที่กำหนดว่าค่า $d \geq 0.8$ ถือว่าเป็นขนาดอิทธิพลขนาดใหญ่ แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตมีประสิทธิภาพสูงในการพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียน ดังตารางที่ 5

Table 5. Comparison results of pre-test and post-test scores on analytical thinking ability using paired samples Cohen's d and Hedges' correction

Paired Samples Effect Sizes			Standardizer ^a	Point Estimate	95% Confidence Interval	
					Lower	Upper
Pair 1	Pre - Post	Cohen's d	2.07830	-1.304	-1.734	-.865
		Hedges' correction	2.12165	-1.278	-1.698	-.847

a. The denominator used in estimating the effect sizes.

Cohen's d uses the sample standard deviation of the mean difference.

Hedges' correction uses the sample standard deviation of the mean difference, plus a correction factor

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลการศึกษาคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 16.87 คะแนน (SD = 3.67) และหลังการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 19.76 คะแนน (SD = 5.02) ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.89 คะแนน หรือคิดเป็นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 17.13 จากคะแนนเดิม การเพิ่มขึ้นนี้ถือว่าเป็นการพัฒนาที่มีคุณค่าในทางการศึกษา โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาจากระยะเวลาที่ค่อนข้างสั้นของการจัดการเรียนรู้ ดังตารางที่ 6

Table 6. Comparison results of pre-test and post-test scores on learning achievement using samples statistic

Samples Statistic		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Pre-test	16.87	38	3.670	.595
	Post-test	19.76	38	5.021	.815

ผลการทดสอบค่า t สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน (Paired Samples t -test) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ($t = -5.403$, $df = 37$, $p < .001$) ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ .05 อย่างชัดเจน สามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปรากฏดังตารางที่ 7

Table 7. Comparison results of pre-test and post-test scores on learning achievement using paired samples t -test

Pair 1	Paired Differences					t	df	Significance	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				One-Sided p	Two-Sided p
				Lower	Upper				
Pre - Post	-2.895	3.303	.536	-4.350	-1.440	-5.403	37	<.001	<.001

ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสะท้อนให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตช่วยพัฒนาความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากในขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) นักเรียนได้สัมผัสประสบการณ์เสมือนจริงที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน ทำให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ในขั้นขยายความรู้ (Elaboration) นักเรียนได้ประยุกต์ความรู้เรื่องเสียงในการออกแบบเครื่องดนตรีหรือระบบป้องกันมลพิษทางเสียง ซึ่งช่วยให้นักเรียนเข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างลึกซึ้ง นอกจากนี้ในขั้นประเมิน (Evaluation) นักเรียนได้แสดงความเข้าใจผ่านการนำเสนอและการอภิปรายผลงานร่วมกัน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความคิดและต่อยอดความเข้าใจ จากกระบวนการเรียนรู้เหล่านี้ นักเรียนจึงสามารถพัฒนา

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยจากผลปรากฏช่วงความเชื่อมั่น 99% ของความแตกต่างคะแนนเฉลี่ย อยู่ระหว่าง -4.35 ถึง -1.44 คะแนน ซึ่งไม่รวมค่า 0 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างที่พบมีความมั่นใจสูงว่าเป็นความแตกต่างที่แท้จริง ไม่ใช่เกิดจากความบังเอิญหรือความผิดพลาดในการสุ่มตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง ($r = .754, p < .001$) ซึ่งบ่งชี้ถึงความสอดคล้องที่ดีระหว่างความสามารถของนักเรียนแต่ละคนในช่วงก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงในช่วงก่อนการจัดการเรียนรู้นักจะมีผลสัมฤทธิ์สูงในช่วงหลังการจัดการเรียนรู้เช่นกัน ดังตารางที่ 8

Table 8. Comparison results of pre-test and post-test scores on learning achievement using paired samples correlations

Paired Samples Correlations		N	Correlation	Significance	
				One-Sided p	Two-Sided p
Pair 1	Pre & Post	38	.754	<.001	<.001

อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ไม่ถึงระดับสมบูรณ์ ($r < 1.0$) ยังแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้นี้มีส่วนช่วยในการลดช่องว่างการเรียนรู้ระหว่างนักเรียนที่มีความสามารถแตกต่างกัน นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำในตอนแรกยังคงสามารถได้รับประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขนาดอิทธิพล (Effect Size) ที่คำนวณได้จากสูตร Cohen's d มีค่าเท่ากับ -0.876 และค่า Hedges' correction เท่ากับ -0.859 ซึ่งถือว่าเป็นขนาดอิทธิพลขนาดใหญ่ (Large Effect Size) ตามเกณฑ์ของ Cohen (1988) ที่กำหนดว่า ค่า $d \geq 0.8$ ถือว่าเป็นขนาดอิทธิพลขนาดใหญ่ แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตมีประสิทธิภาพสูงในการส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนปรากฏดังตารางที่ 9

Table 9. Comparison results of pre-test and post-test scores on learning achievement using paired samples Cohen's d and Hedges' correction

Paired Samples Effect Sizes			Standardizer ^a	Point Estimate	99% Confidence Interval	
					Lower	Upper
Pair 1	pre - post	Cohen's d	3.303	-.876	-1.367	-.381
		Hedges' correction	3.372	-.859	-1.339	-.373

a. The denominator used in estimating the effect sizes.

Cohen's d uses the sample standard deviation of the mean difference.

Hedges' correction uses the sample standard deviation of the mean difference, plus a correction factor.

ขนาดอิทธิพล (Effect Size) ที่พบจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลที่สูงของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต ทั้งในด้านการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การที่ได้ค่า Cohen's d และ Hedges' correction ในระดับสูง (-1.278 และ -0.859 ตามลำดับ) บ่งชี้ว่าวิธีการจัดการเรียนรู้ส่งผลกระทบเชิงบวกอย่างมากต่อการพัฒนาผู้เรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตช่วยเสริมประสิทธิภาพของกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ในทุกขั้นตอน ทำให้นักเรียนสามารถสร้างความเข้าใจเชิงลึกในเนื้อหาที่เป็นนามธรรม เมื่อนักเรียนสามารถเห็นและมีปฏิสัมพันธ์กับคลื่นเสียง การสั่นสะเทือน และปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในโลกเสมือนจริง ทำให้เกิดความเข้าใจที่คงทนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียน

ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 85.68 โดยนักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุดในประเด็นความสนุกและความตื่นเต้นในการเรียนผ่านจักรวาลนฤมิต ความน่าสนใจของกิจกรรม และการได้ลงมือปฏิบัติจริง

6. อภิปรายผลการวิจัย ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

อภิปรายผล

1. ความสามารถในการคิดวิเคราะห์

ผลการวิจัยที่พบว่านักเรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์สูงขึ้นหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต สอดคล้องกับหลักการและลักษณะเฉพาะของรูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ซึ่งเน้นให้ผู้เรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการคิดและลงมือปฏิบัติ โดยเฉพาะในขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง และขั้นอธิบาย (Explanation) ที่นักเรียนต้องนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปและอธิบายผล

นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตยังช่วยเสริมประสิทธิภาพการเรียนรู้โดยทำให้เนื้อหาเรื่องเสียง ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรมและยากต่อการสังเกตโดยตรงกลายเป็นภาพเสมือนจริงที่นักเรียนสามารถเห็นและมีปฏิสัมพันธ์ได้ สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้โดยใช้ประสาทสัมผัสหลายด้าน (Multisensory Learning) ที่ว่าการเรียนรู้จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อผู้เรียนได้ใช้ประสาทสัมผัสหลายด้านร่วมกัน

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thada (2013) ที่พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้สามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนได้ และงานวิจัยของ Schrier (2017) ที่พบว่าเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (VR) สามารถส่งเสริมการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การที่นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต เป็นไปตามทฤษฎีการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivist Learning Theory) ที่เชื่อว่าผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้ดีเมื่อได้สร้างความรู้ด้วยตนเอง การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติ ทดลอง และค้นหาคำตอบ

เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตยังช่วยให้เนื้อหาเรื่องเสียงที่เป็นนามธรรมกลายเป็นรูปธรรมมากขึ้น นักเรียนสามารถเห็นการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง การสั่นของวัตถุ และปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเสียงได้อย่างชัดเจน ช่วยให้เข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ลึกซึ้งและคงทนมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Qiu et al. (2020) ที่พบว่าการใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนในการเรียนวิทยาศาสตร์ช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Merchant et al. (2014) ที่ทำการวิเคราะห์ห่อภิมาณจากงานวิจัย 69 เรื่องเกี่ยวกับการ

ใช้ Virtual Reality ในการศึกษา พบว่าการเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงให้ผลที่ดีกว่าการเรียนแบบดั้งเดิมด้วยขนาดอิทธิพล ปานกลางถึงสูง ($d = 0.71$) ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิจัยนี้

นอกจากนี้ สถานการณ์การเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงยังสร้างแรงจูงใจและความสนใจให้กับนักเรียน ทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้มากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้มีขนาดอิทธิพลที่สูงกว่างานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมา ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการผสมผสานระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นกับเทคโนโลยี Metaverse ที่สร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่หลากหลายและครอบคลุมมากกว่าการใช้เทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว

3. ความพึงพอใจของนักเรียน

ผลการวิจัยที่พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตในระดับมากที่สุด สะท้อนให้เห็นว่ารูปแบบการสอนนี้สามารถสร้างแรงจูงใจและความสนใจในการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะประเด็นความสนุกและความตื่นตัวในการเรียนผ่านจักรวาลนฤมิต ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ยังค่อนข้างใหม่และน่าสนใจสำหรับนักเรียน

การที่นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติและมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมในโลกเสมือนจริง ทำให้การเรียนรู้มีความหมายและสนุกสนานมากขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructionism) ของ Seymour Papert (1980) ที่เชื่อว่าการเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการสร้างสิ่งที่มีความหมายกับตนเอง อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Jensen และ Konradsen (2018) ที่ศึกษาการใช้ Virtual Reality ในการสอนวิทยาศาสตร์ พบว่านักเรียนมีแรงจูงใจในการเรียนและความเข้าใจในเนื้อหาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินความพึงพอใจในการวิจัยนี้ที่พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจในระดับสูงมาก

ความพึงพอใจในระดับสูงยังสะท้อนให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบนี้ตอบสนองต่อความต้องการและความสนใจของผู้เรียนในยุคดิจิทัลได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการเรียนรู้

จากผลการวิจัย สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5 Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิต สามารถพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ให้สูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ยังได้รับความพึงพอใจจากนักเรียนในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านความรู้ ทักษะการคิด และเจตคติต่อการเรียนรู้ โดยความสำเร็จของการวิจัยนี้เป็นผลมาจากการออกแบบการทดลอง

ที่มีความรัดกุม การพัฒนาเครื่องมือวิจัยที่มีคุณภาพ และการดำเนินการทดลองที่ควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนได้อย่างเหมาะสม ผลการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพสร้างความมั่นใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทการศึกษาไทย

กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านการสำรวจ ค้นหา และสร้างคำอธิบาย ร่วมกับการใช้เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตที่ช่วยทำให้เนื้อหาที่เป็นนามธรรมกลายเป็นรูปธรรม เป็นการผสมผสานที่มีประสิทธิภาพในการยกระดับการเรียนรู้ของผู้เรียนในยุคดิจิทัล อย่างไรก็ตาม การนำผลการวิจัยไปใช้ในวงกว้างยังต้องการการเตรียมความพร้อมอย่างรอบด้าน ทั้งในด้านเทคโนโลยี บุคลากร และนโยบายที่สนับสนุน การมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจะเป็นกุญแจสำคัญในการสร้างการเปลี่ยนแปลงที่ยั่งยืนในระบบการศึกษาไทย เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21

ข้อจำกัด

- ในการใช้เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิต ครูควรคำนึงถึงความพร้อมของอุปกรณ์และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รวมทั้งควรมีการฝึกทักษะพื้นฐานในการใช้เทคโนโลยีให้กับนักเรียนก่อนเริ่มกิจกรรมการเรียนรู้

- ต้องการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีความยืดหยุ่นและเหมาะสมกับเวลา เนื่องจากการสืบเสาะหาความรู้และการใช้เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิตอาจใช้เวลามากกว่าการสอนแบบบรรยาย

- ควรมีการศึกษาตัวแปรแทรกซ้อนที่อาจส่งผลต่อการเรียนรู้ เช่น ความแตกต่างด้านพื้นฐานความรู้และทักษะด้านเทคโนโลยีของนักเรียน ปัญหาทางเทคนิคในการใช้เทคโนโลยีจักรวาลนฤมิต เป็นต้น ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล

ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตที่มีต่อตัวแปรอื่นๆ เช่น ความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะการสื่อสาร และเจตคติทางวิทยาศาสตร์

- ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) ร่วมกับจักรวาลนฤมิตกับรูปแบบการสอนอื่น ๆ เช่น การสอนแบบโครงงาน การสอนแบบปัญหาเป็นฐาน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสอนที่แตกต่างกัน

- ควรมีการศึกษาผลระยะยาวของการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบนี้ โดยติดตามผลหลังจากการทดลองเป็นระยะเวลานานขึ้น เพื่อดูความคงทนของความรู้และทักษะที่นักเรียนได้รับ

- สำหรับสถานศึกษาที่สนใจนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ ผู้วิจัยเสนอแนวทางการดำเนินงานเป็นขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นตอนเตรียมการ สถานศึกษาควรเริ่มจากการประเมินความพร้อมด้านเทคโนโลยี ได้แก่ ระบบอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรือแท็บเล็ต และอุปกรณ์ VR/AR จากนั้นจัดทำแผนการจัดหาอุปกรณ์และการฝึกอบรมบุคลากรอย่างเป็นระบบ

2) ขั้นตอนการพัฒนาบุคลากร ควรจัดการฝึกอบรมครูในหลายระดับ เริ่มจากการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดและทฤษฎีการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง ตามด้วยการฝึกใช้เทคโนโลยี และการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม

3) ขั้นตอนการทดลองใช้ ควรเริ่มจากการทดลองใช้ในวงจำกัดกับกลุ่มครูและนักเรียนที่มีความพร้อม จากนั้นประเมินผลและปรับปรุงก่อนขยายผลไปยังกลุ่มอื่น

4) ขั้นตอนการประเมินและพัฒนา ควรมีระบบการติดตามและประเมินผลอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งสร้างชุมชนแห่งการเรียนรู้สำหรับครูเพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์และพัฒนาแนวปฏิบัติที่ดี

บรรณานุกรม

- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Amorncheewin, B. (2011). *Thinking school: Teaching to think*. Phappim. [บรรจง อมรชีวิน. (2554). Thinking School สอนให้คิด. ภาพพิมพ์.]
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. Longmans, Green.
- BSCS Science Learning. (2006). *The 5E instructional model*.
https://media.bscl.org/bscsmw/5es/bscs_5e_full_report.pdf
- Chomsiri, P. (2013). *Development of mathematics learning activities using the 5E learning cycle model emphasizing analytical thinking skills on quadrilaterals for grade 6 students* [Master's thesis, Khon Kaen University]. [ภัทรา ชมศิริ. (2556). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้รูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5Es) ที่เน้นทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง รูปสี่เหลี่ยม ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 [วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น].

- Chitman-Booker, L., & Kopp, K. (2013). *The 5Es of inquiry-based science*. Shell Education.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Measured Reasons and The California Academic Press.
- Goldman Sachs. (2022). *Metaverse may be \$8 trillion opportunity, led by social gaming*. Goldman Sachs Research.
<https://www.goldmansachs.com/insights/pages/gs-research/framing-the-future-of-web-3.0/report.pdf>
- Harel, I., & Papert, S. (Eds.). (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2020). *Survey of science teaching conditions in schools 2020*.
<https://www.ipst.ac.th/2020/12/24/survey-science-teaching-2020/> [สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2563). การสำรวจสภาพการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน ปี 2563. <https://www.ipst.ac.th/2020/12/24/survey-science-teaching-2020/>]
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515-1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- McKinsey & Company. (2021). *The future of work in America: People and places, today and tomorrow*. McKinsey Global Institute.
<https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-in-america-people-and-places-today-and-tomorrow>
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- Meta for Education. (2023). *Immersive learning with VR*.
<https://about.fb.com/news/2023/04/meta-for-education-immersive-learning-vr/>

- Microsoft Education. (2023). *Mixed reality in education*.
<https://www.microsoft.com/en-us/education/mixed-reality>
- Ministry of Education. (2008). *Core indicators and learning standards for science learning area according to the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551*.
[กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*.]
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/13165>
- OECD. (2019). *PISA 2018 results: What students know and can do*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2018-results.htm>
- OECD. (2021). *Education 2030: The future of education and skills*. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/education/2030-project/>
- Office of the Basic Education Commission. (2021). *Report on educational quality monitoring and evaluation for academic year 2020*. Ministry of Education.
<https://www.obec.go.th/archives/348652> [สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2564). *รายงานการติดตามและประเมินคุณภาพการศึกษา ปีการศึกษา 2563*. กระทรวงศึกษาธิการ. <https://www.obec.go.th/archives/348652>]
- Office for National Education Standards and Quality Assessment. (2021). *Report on the State of Thai Education 2021*. ONESQA.
https://www.onesqa.or.th/th/publication/article_188. [สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา. (2564). *รายงานภาวะการศึกษาไทย ปี 2564*. สมศ. https://www.onesqa.or.th/th/publication/article_188]
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Pathumsuti, S. (2010). *Handbook for analytical reading*. Nawasan Printing. [ตีพิมพ์ ปทุมสุติ. (2553). *คู่มือการอ่านคิดวิเคราะห์*. นวสาส์นการพิมพ์.]
- Paul, R., & Elder, L. (2019). *The miniature guide to critical thinking concepts and tools (8th ed.)*. Foundation for Critical Thinking Press.
- Qiu, X., Shan, C., Fu, Q., & Yao, J. (2024). The effects of virtual reality on EFL learning: A meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 29, 1379–1405. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11738-0>

- Schrier, K. (2017). Designing games for moral learning and knowledge building. *Games and Culture*, 14(4), 306–343.
<https://doi.org/10.1177/1555412017711514>
- Somboon, T. (2022). *Metaverse: The future of education crossing the boundaries of learning from the real world to the virtual world*. Chulalongkorn University.
<https://www.chula.ac.th/highlight/64690/> [อิติรัตน์ สมบูรณ์. (2565). *Metaverse อนาคตการศึกษาข้ามพรมแดนการเรียนรู้จากโลกจริงสู่โลกเสมือน*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. <https://www.chula.ac.th/highlight/64690/>]
- Thada, K. (2013). *Development of mathematics learning activities using the 5E learning cycle model emphasizing analytical thinking skills on inequalities for grade 9 students* [Master's thesis, Khon Kaen University]. [กรรณิกา ชาติดา. (2556). *การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้รูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5Es) ที่เน้นทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง อสมการ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3* [วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น].]
- World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report 2020*.
<https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/>