

การส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ตอนปลาย ด้วยการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา

Fostering Environmental Literacy Among High-School

Students with Green Chemistry Using Case-based Learning

โชคปวิช สุภมมงคลฤกษ์^{1,*} และ สลา สามีภักดิ์²

Chokpawit Supamongkolruek^{1,*} and Sara Samiphak²

(วันรับบทความ : 22 ตุลาคม 2568/วันแก้ไขบทความ : 19 ธันวาคม 2568/วันตอบรับบทความ : 12 กุมภาพันธ์ 2569)

(Received Date : Oct 22nd, 2025, Revised Date : Dec 19th, 2025, Accepted Date : Feb 12th, 2026)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียวโดยใช้กรณีศึกษา และเพื่อเปรียบเทียบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้รูปแบบการวิจัยเป็นการทดลองเบื้องต้นแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลัง กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 37 คน ณ โรงเรียนขนาดใหญ่ ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 1 เครื่องมือที่ใช้คือแผนการจัดการเรียนรู้ 5 แผน และแบบทดสอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้ นิสัย/ทัศนคติ ความสามารถ/ทักษะ และพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผลการวิจัยพบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ คะแนนความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมของนักเรียนอยู่ในระดับสูง (ค่าเฉลี่ย = 23.92 จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังเรียน พบว่าองค์ประกอบด้านความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t(36) = 3.143, p = .003$) ในขณะที่องค์ประกอบด้านนิสัย/ทัศนคติ ความสามารถ/ทักษะ และพฤติกรรม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนมีทัศนคติและความตั้งใจที่ดีเป็นทุนเดิมอยู่แล้ว การวิจัยชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการสอนนี้มีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างองค์ความรู้

คำสำคัญ : แนวคิดเคมีสีเขียว, ความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม, การจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา

¹ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Email: 6580040527@student.chula.ac.th

¹ Faculty of Education, Chulalongkorn University Email: 6580040527@student.chula.ac.th

² คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Email: sara.s@g.chula.edu

² Faculty of Education, Chulalongkorn University Email: sara.s@g.chula.edu

* ผู้ติดต่อหลัก Email: 6580040527@student.chula.ac.th

* Corresponding author Email: 6580040527@student.chula.ac.th

Abstract

This research aims to study the effects of an instructional approach integrating green chemistry concepts through case studies and to compare students' environmental literacy before and after its implementation. The study employed a preliminary one-group pre-test-post-test design. The sample consisted of 37 Grade 11 students in the science and mathematics program during the second semester of the 2024 academic year at a large school under the Secondary Education Service Area Office, Bangkok 1. The research instruments included five lesson plans and an environmental literacy test covering four components: knowledge, dispositions, competencies and behavior. Data were analyzed using descriptive statistics and a Paired Samples t-test. The results showed that after the intervention, students' overall environmental literacy scores were high (mean = 23.92 from a total score of 40). A comparison of pre-test and post-test scores revealed that the knowledge component increased significantly at the .05 level ($t(36) = 3.143, p = .003$). In contrast, no significant differences were found in the dispositions, competencies and behavior components. This indicates that the students already held favorable attitudes and intentions. This research indicates that this teaching model is effective in enhancing knowledge.

Keyword : Green Chemistry, Environmental Literacy, Case Base Learning

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมถือเป็นหนึ่งในประเด็นท้าทายระดับโลกที่ทุกประเทศต้องเผชิญหน้า โดยสาเหตุหลักมาจากการขาดความรู้ ความเข้าใจ ความตระหนักและจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมของประชากรบนโลกใบนี้ (United Nations Environment Programme, 2019) ส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลือง และขาดความรับผิดชอบต่อผลกระทบที่จะตามมา นำไปสู่ภาวะวิกฤตสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ ได้แก่ ภาวะโลกร้อนที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ มลพิษทางอากาศและน้ำที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต (World Health Organization, 2022) ตลอดจนการเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เหล่านี้ล้วนเป็นผลมาจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์อย่างขาดสำนึกและไม่คำนึงถึงผลกระทบในระยะยาว หากปล่อยไว้ อาจนำไปสู่ความเสี่ยงต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

จากรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย พุทธศักราช 2565 ซึ่งเห็นว่าปัญหาสิ่งแวดล้อมกลายเป็นประเด็นที่ประชาชนชาวไทยให้ความสนใจและกังวลมากที่สุด โดย 3 ประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ถูกจับตามองเป็นพิเศษ ได้แก่ ปัญหาขยะมูลฝอยและขยะพลาสติก ปัญหาคุณภาพน้ำ และปัญหาคุณภาพอากาศ (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2022) สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการปลูกฝังจิตสำนึกรักษ์โลกและสร้างความตระหนักรู้ให้กับคนไทยอย่างจริงจัง

และต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาขยะที่เป็นอันดับต้น ๆ ของความสนใจ เนื่องจากปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในแต่ละปี ประกอบกับระบบการจัดการขยะยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ส่งผลให้ขยะตกค้างและก่อกมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ปัญหาคุณภาพน้ำและคุณภาพอากาศก็ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคน ดังนั้น การปลูกฝังจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมและสร้างความตระหนักรู้ให้แก่คนในสังคมไทยจึงเป็นเรื่องเร่งด่วนและจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ทุกคนเข้าใจถึงความสำคัญและผลกระทบของปัญหาสิ่งแวดล้อม อันจะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ชีวิตให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ในฐานะที่ผู้วิจัยเป็นประชากรคนหนึ่งของประเทศไทยจึงมุ่งมั่นที่จะร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อประเทศชาติ

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยปัญหาสิ่งแวดล้อมดังกล่าวมีความเชื่อมโยงกับองค์ประกอบของความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม ของสมาคมการศึกษาสิ่งแวดล้อมอเมริกาเหนือ (NAAEE) มี 4 องค์ประกอบ คือ 1) Knowledge (ความรู้) 2) Dispositions (นิสัย/ทัศนคติ) 3) Competencies (ความสามารถ/ทักษะ) 4) Environmentally Responsible Behavior (พฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม) ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งการปลูกฝังความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Literacy) ให้แก่เยาวชนจึงถือเป็นสิ่งสำคัญในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในระยะยาว โดยผู้วิจัยจะเริ่มต้นจากการบูรณาการแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry) ซึ่งเป็นแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการทางเคมีให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เข้าสู่การจัดการเรียนการสอนในระดับมัธยมศึกษา ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้และตระหนักถึงความสำคัญของการดำเนินกิจกรรมทางเคมีอย่างยั่งยืนตั้งแต่วัยเรียน (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2020) หลักการของเคมีสีเขียวมุ่งเน้นการลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ลดของเสียและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมของโลก การนำแนวคิดนี้มาผสมผสานเข้ากับการเรียนการสอนวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษา จะช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้แนวคิดการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ อย่างคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่เยาว์วัย การบูรณาการแนวคิดเคมีสีเขียวในการเรียนการสอนจะช่วยส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้กับนักเรียน ช่วยปลูกฝังจิตสำนึกในการอนุรักษ์และใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่า ตลอดจนสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ อย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในระยะยาว ซึ่งจะหล่อหลอมให้นักเรียนกลายเป็นพลเมืองที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมในอนาคต พร้อมขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศไปสู่ความยั่งยืนได้อย่างแท้จริง

ในบริบทของการเรียนรายวิชาเคมี การทำปฏิบัติการและการใช้สารเคมีย่อมมีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดมลพิษและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หากขาดความระมัดระวังและการจัดการที่เหมาะสม ดังนั้น การนำแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry) มาปรับใช้ในการเรียนการสอนจึงเป็นแนวทางสำคัญที่จะช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการทำปฏิบัติการทางเคมี การจัดการของเสีย และการใช้สารเคมีอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หลักการของเคมีสีเขียวมุ่งเน้นการลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย หลักเสี่ยงการเกิดของเสีย รวมถึงการเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับหลักการ 12 ประการ ได้แก่ การป้องกัน

การเกิดของเสีย การออกแบบสารเคมีที่ปลอดภัย การลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้สารละลายน้ำแทนสารละลายอินทรีย์ การออกแบบเพื่อประสิทธิภาพด้านพลังงาน การใช้วัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การหลีกเลี่ยงการสังเคราะห์ที่ไม่จำเป็น การออกแบบเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน และการวิเคราะห์วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (United Nations Environment Programme, 2018) ในการจัดการเรียนการสอน ครูผู้สอนสามารถนำหลักการเหล่านี้มาปรับใช้กับการออกแบบการทดลอง นอกจากนี้ ครูยังสามารถให้นักเรียนได้วิเคราะห์กรณีศึกษาเกี่ยวกับนวัตกรรมเคมีสีเขียวต่างๆ เพื่อฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การบูรณาการแนวคิดเคมีสีเขียวเข้าสู่วิธีการเรียนการสอนจะช่วยสร้างจิตสำนึกให้นักเรียนได้ตระหนักถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอนของการดำเนินกิจกรรมทางเคมี ฝึกการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเพื่อหาแนวทางการดำเนินงานที่ปลอดภัยและยั่งยืน ตลอดจนปลูกฝังพฤติกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

การเรียนรายวิชาเคมีไม่เพียงแต่เป็นการสอนเกี่ยวกับสารต่าง ๆ และปฏิบัติการทางเคมีเท่านั้น แต่ยังเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารเคมีและการทำปฏิบัติการที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมด้วย การใช้สารเคมีอย่างไม่ระมัดระวังอาจมีผลกระทบที่ร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพได้ (Anastas & Eghbali, 2010) ดังนั้น การนำแนวคิดเคมีสีเขียวมาปรับใช้ในการสอนและทำปฏิบัติการทางเคมีจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยเพิ่มความตระหนักรู้ และความรับผิดชอบต่อการใช้สารเคมีของนักเรียนในระดับที่สูงขึ้น (Ballard & Mooring, 2021) การนำแนวคิดเคมีสีเขียวมาปรับใช้ในการสอนและทำปฏิบัติการทางเคมีช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการทดลองและการจัดการของเสียอย่างถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่พิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอนของกระบวนการทางเคมี การเรียนรู้ด้วยแนวคิดเคมีสีเขียวสามารถเสริมสร้างจิตสำนึกในการคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอน ทำให้นักเรียนมีพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างยั่งยืน (Dewi & Listyarini, 2022; Karpudewan et al., 2011) การใช้แนวคิดเคมีสีเขียวในการเรียนรู้เป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับความสำคัญของความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมในการใช้สารเคมีและการทำงานทางเคมีในอนาคตจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่าถึงแม้แนวคิดเคมีสีเขียวจะได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง แต่การนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนระดับมัธยมศึกษา ยังอาจมีจำนวนไม่มากนักเมื่อเทียบกับระดับอุดมศึกษา (ดูตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในระดับมัธยมศึกษาได้ใน (Dewi & Listyarini, 2022; Karpudewan et al., 2011)) งานวิจัยในช่วงแรก ๆ มักมุ่งเน้นไปที่หลักการพื้นฐานและการประยุกต์ใช้ในระดับอุดมศึกษาหรืออุตสาหกรรม (เช่น Anastas & Warner (1998)) ซึ่งอาจเนื่องมาจากเนื้อหาและความซับซ้อนของแนวคิดที่อาจถูกมองว่าเหมาะสมกับผู้เรียนในระดับที่สูงกว่า นอกจากนี้ การบูรณาการวิธีการสอนเฉพาะทาง เช่น การใช้กรณีศึกษา (Case Study) เพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมผ่านแนวคิดเคมีสีเขียวโดยตรง ยังเป็นแนวทางที่ค่อนข้างใหม่และมีงานวิจัยที่ศึกษาอย่างเจาะจงไม่มากนัก (มีตัวอย่างเช่น Ballard & Mooring (2021))

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำวิจัยในหัวข้อ "การส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ด้วยการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา" เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับการส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้แนวคิดเคมีสีเขียวมาปรับใช้และยกตัวอย่างประกอบผ่านการศึกษากรณีศึกษา ผู้วิจัยคาดหวังงานวิจัยนี้จะสร้างองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์และเป็นต้นแบบในการพัฒนากระบวนการเรียนการสอนที่บูรณาการแนวคิดเคมีสีเขียวเพื่อสร้างความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้กับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เยาวชนมีความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและมีพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นในระยะยาว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา ที่มีต่อความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียน
2. เพื่อเปรียบเทียบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตด้านสิ่งที่ศึกษา
สิ่งที่ศึกษา : ความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. ขอบเขตด้านกลุ่มที่ศึกษา
กลุ่มที่ศึกษา : นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 1 ห้องเรียน
3. ขอบเขตด้านสถานที่
โรงเรียนขนาดใหญ่ ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 1

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบการทดลองเบื้องต้น(Pre-Experimental Designs) เป็นการออกแบบการทดลองที่ไม่มีกระบวนการสุ่ม และไม่มีการควบคุม หมายถึง ในการทดลองจะมีกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียว คือ กลุ่มทดลอง มีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายความเป็นเหตุเป็นผลของตัวแปร หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษา ในงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการวิจัยแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลัง (The One Group Pretest-Posttest Design) (Thyer & Thyer, 2012)

1. กลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 1 ห้องเรียน ประมาณ 37 คน ไม่คละเพศ ณ โรงเรียนขนาดใหญ่ ในสังกัด

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 1 ที่โรงเรียนอนุญาตให้ใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัย

2. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เนื้อหา กรด-เบส จำนวน 5 แผน ใช้เวลารวม 21 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที เป็นไปตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยผ่านการตรวจสอบเครื่องมือจากอาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน (1. ผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม 2. ผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับเคมีสีเขียว 3. ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการจัดการเรียนการสอน) โดยมีคะแนนการประเมินเฉลี่ยของทั้ง 3 ท่านอยู่ที่ 4.79 อยู่ในระดับ "ดีมาก" แปลผลว่า "ผ่าน" สามารถใช้ได้

ตารางที่ 1 แสดงหัวข้อ กรณีศึกษา และจำนวนคาบเรียน เรื่อง กรด-เบส

แผนการเรียน	กรณีศึกษา	คาบ
1. สมบัติกรด-เบส	น้ำเสียจากคลองตรงข้ามโรงเรียน - ศึกษาความเป็นกรด-เบสของน้ำเสียจากคลองตรงข้ามโรงเรียน ด้วยกระดาษลิตมัส และอินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ - วิเคราะห์ผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ที่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำในลำคลอง - ออกแบบการแก้ไขปัญหาความเป็นกรด-เบสในลำคลองอย่างยั่งยืน	3
2. pH ของสารละลายกรดและเบส	ดินที่ใช้ปลูกพืชในโรงเรียน - ศึกษาค่า pH ของดินในโรงเรียน ด้วยอินดิเคเตอร์ - วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับความอุดมสมบูรณ์และคุณภาพของดิน รวมถึงการเจริญเติบโตของพืช - ออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา pH ของดินให้เหมาะสมกับพืชที่ปลูกอย่างยั่งยืน	5
3. ปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดและเบส	น้ำมันเหลือทิ้งจากร้านอาหารในโรงเรียนและ คลาสเรียนคหกรรม - ศึกษาปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดกับเบสและผลของการสะเทินกรดที่เกิดขึ้น	4

แผนการเรียนรู้	กรณีศึกษา	คาบ
	- วิเคราะห์ผลกระทบจากการทิ้งน้ำมันลงแหล่งน้ำ - ออกแบบแนวทางการลดการทิ้งขยะประเภทน้ำมันให้น้อยที่สุด	
4. การไทเทรตกรด-เบส	น้ำประปาในโรงเรียน - ศึกษาหลักการและขั้นตอนการทำการไทเทรตกรด-เบส ในการหาความเข้มข้นของสาร - วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดตะกอนในท่อน้ำ - ออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหาตะกอนในท่อน้ำอย่างยั่งยืน	5
5. สารละลายบัฟเฟอร์	ดินที่ใช้ปลูกพืชในโรงเรียน - ศึกษาหลักการทำงานของสารละลายบัฟเฟอร์ และศึกษาความเป็นบัฟเฟอร์ของดินในโรงเรียน - วิเคราะห์ความเป็นบัฟเฟอร์ของดินในโรงเรียน - ออกแบบแนวทางการรักษาความเป็นบัฟเฟอร์ของดินในโรงเรียนอย่างยั่งยืน	4
รวม		21

2.2. แบบทดสอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้องค์ประกอบของความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม 4 องค์ประกอบ ตามแนวทางที่ Hollweg et al. (2011) สมาคมการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกาเหนือได้เสนอ และสร้างเครื่องมือที่ใช้วัด แต่ละองค์ประกอบ คือ 1) ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย 5 ตัวเลือก (เช่น ฝนกรดเกิดจากการปล่อยก๊าซไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ก. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ข. ก๊าซไนโตรเจน, ค. ก๊าซออกซิเจน, ง. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, จ. ก๊าซมีเทน) 2) นิสัย/ทัศนคติต่อสิ่งแวดล้อม เป็นแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ (เช่น น้ำจากโรงงานที่ยังไม่ถูกบำบัด สามารถปล่อยลงแหล่งน้ำได้) 3) ความสามารถ/ทักษะด้านสิ่งแวดล้อม เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย 5 ตัวเลือก (เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด ท่านต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า pH ในน้ำเสียกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน ข้อกำหนดที่ต้องพิจารณาก่อนทำการศึกษาคืออะไร ก. จุดเก็บตัวอย่างน้ำต้องอยู่ห่างจากโรงงานในระยะที่เท่ากัน, ข. จุดเก็บตัวอย่างน้ำต้องมีอุณหภูมิของน้ำใกล้เคียงกัน, ค. จุดเก็บตัวอย่างน้ำต้องมีความลึกของน้ำเท่ากัน, ง. จุดเก็บตัวอย่างน้ำต้องไม่มีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่, จ. จุดเก็บตัวอย่างน้ำต้องได้มาโดยการสุ่ม) และ 4) พฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม เลือกแบบวัดความตั้งใจในพฤติกรรมสิ่งแวดล้อม เป็นแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ (เช่น ฉันตั้งใจจะทำสบู่อ้างอิงจากน้ำมันเหลือใช้) โดยแต่ละองค์ประกอบจะมีข้อคำถามจำนวน 10 ข้อที่ผ่านการพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา (Index of Consistency, IOC) รายข้อ โดยผลปรากฏว่าข้อคำถามในแบบวัดมีความสอดคล้องกับเนื้อหาในแผนการจัดการเรียนรู้ทุกข้อ

และได้ทำการปรับปรุงข้อคำถามในแบบประเมินตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญตามความเหมาะสม การรายงานผลแยกตามองค์จะรายงานตามแนวทางของ Williams (2017) ส่วนการรายงานผลรวมจะรายงานตามแนวทางของ Amphai (2015)

3. กระบวนการคัดเลือกผู้ให้สัมภาษณ์และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้คัดเลือกนักเรียนเพื่อสัมภาษณ์เชิงลึกจำนวน 5 คน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ด้วยการป้อนข้อมูลผ่าน AI โดยพิจารณาจากคะแนนความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมหลังการเรียนรู้และการเปลี่ยนแปลงของคะแนนก่อนและหลังการเรียนรู้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายและครอบคลุม ทั้งกลุ่มที่มีคะแนนลดลงมาก กลุ่มที่คะแนนคงที่ และกลุ่มที่มีคะแนนต่ำ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจปัจจัยและอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อพัฒนาความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างรอบด้าน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เก็บข้อมูลกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ใช้เวลารวม 21 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ก่อนดำเนินการ ระหว่างดำเนินการ หลังดำเนินการ

3.1. ช่วงก่อนดำเนินการ

3.1.1 ผู้วิจัยชี้แจงและอธิบายการเข้าร่วมโครงการวิจัยและการพิทักษ์สิทธิให้นักเรียนทราบ ก่อนเริ่มทำการวิจัย และให้กลุ่มตัวอย่างลงลายมือชื่อในหนังสือยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย

3.1.2 ตรวจสอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเดิมของนักเรียนด้วยแบบทดสอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น โดยใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 50 นาที และนำแบบทดสอบที่กลุ่มตัวอย่างทำเสร็จแล้วมาตรวจให้คะแนน

3.1.3 ก่อนเริ่มกิจกรรมด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้เวลาประมาณ 50 นาที ในการอธิบายวัตถุประสงค์ของงานวิจัย วิธีการจัดการเรียนรู้ เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่จะได้พบ วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล เงื่อนไขต่าง ๆ รวมไปถึงสิทธิของกลุ่มตัวอย่างที่พึงได้รับ ในกลุ่มตัวอย่างเข้าใจ

3.2 ช่วงระหว่างดำเนินการ

ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้เตรียมไว้จำนวน 5 แผน คิดเป็น 7 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 คาบ คาบละ 50 นาที รวมเป็น 21 คาบ

3.3 ช่วงหลังดำเนินการ

3.3.1 หลังจากดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 5 แผนเรียบร้อยแล้ว ถัดมาดำเนินการตรวจสอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมหลังจัดการเรียนรู้ ด้วยแบบทดสอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้น ซึ่งเป็นชุดเดียวกันกับที่ทำก่อนดำเนินการ โดยใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 50 นาที และนำแบบทดสอบที่กลุ่มตัวอย่างทำเสร็จแล้วมาตรวจให้คะแนน

3.3.2 นำคะแนนผลการทดสอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ผล

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัย มีดังนี้

4.1 เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา ที่มีต่อความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียน โดยใช้กรณีศึกษา ดำเนินการโดยนำค่าที่ได้แต่ละองค์ประกอบของนักเรียนแต่ละคนมาทำให้เป็นอัตราส่วน 1:1:1:1 แล้วนำมารวมกัน หาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เทียบกับช่วงคะแนนระดับความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนตามแนวทางของ Amphai (2015) หลังจากนั้นทดสอบด้วยสถิติทดสอบทีกลุ่มเดียวเทียบเกณฑ์ (One Sample t-test) และนำข้อมูลจากบันทึกหลังแผนมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

4.2 เพื่อเปรียบเทียบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา จะหาค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเนื่องจากเป็นกลุ่มตัวอย่างเดียว จึงทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยใช้สถิติทดสอบที (t-test) แบบกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent Sample) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ .05 และนำข้อมูลจากบันทึกหลังแผนมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ผลการวิจัย

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา เรื่องกรด-เบสเพื่อส่งเสริมความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายชั้นปีที่ 5 เป็นดังนี้

1. ขั้นเตรียมการก่อนการเรียนการสอน ซึ่งเป็นขั้นเตรียมความพร้อม ครูจะแนะนำวิธีการเรียนรู้ที่จะใช้แก่นักเรียน จากนั้นจึงแจ้งหัวข้อที่จะเรียนในคาบนั้น ๆ เช่น เรื่อง สมบัติของกรด – เบส สิ่งสำคัญในขั้นตอนนี้คือการกระตุ้นความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับหัวข้อยดังกล่าว โดยอาจใช้เครื่องมืออย่าง Padlet ให้นักเรียนได้ร่วมกันแลกเปลี่ยนสิ่งที่ตนเองรู้อย่างอิสระ โดยที่ครูยังไม่เฉลยข้อเท็จจริง

2. ขั้นกำหนดปัญหาและศึกษากรณีตัวอย่าง ขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยการเชื่อมโยงเข้ากับสถานการณ์จริงในชีวิต ครูจะนำเสนอสื่อที่เป็นประเด็นปัญหาในสังคม เช่น การใช้ภาพถ่าย "ฟองสีขาวยาวถนน" หรือการเปิดคลิปข่าวเกี่ยวกับ "ภาวะฝนกรด" แล้วใช้คำถามกระตุ้นการคิดเพื่อให้นักเรียนเริ่มตั้งข้อสังเกตและระบุปัญหา ก่อนที่นักเรียนจะได้รับเอกสาร "กรณีศึกษา" (Case Study) อย่างเป็นทางการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลหลักในการศึกษาต่อไป

3. ขั้นวิเคราะห์ปัญหาจากกรณีตัวอย่าง นักเรียนจะได้ทำงานกลุ่มเพื่อวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ได้รับอย่างละเอียด โดยมีเป้าหมายเพื่อระบุสาเหตุรากเหง้าของปัญหา (Root Cause) ในขั้นตอนนี้ ครูอาจให้ข้อมูลสนับสนุนเพิ่มเติม เช่น เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี (Safety Data Sheets) ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนเข้าใจถึงผลกระทบของสารเคมีที่เป็นต้นตอของปัญหา และเป็นการเริ่มบูรณาการแนวคิดเคมีสีเขียวเข้าสู่การวิเคราะห์ ก่อนที่นักเรียนจะร่วมกันแลกเปลี่ยนผลการวิเคราะห์ภายในกลุ่ม

4. ขั้นสร้างวิธีแก้ปัญหาหรืออภิปรายข้อมูล ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการประยุกต์ใช้ความรู้ในขั้นนี้ ครูจะให้ความรู้ทางทฤษฎีที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหา เช่น การสอนเรื่องสมบัติของกรด-เบส จากนั้นนักเรียนจะได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมที่ออกแบบตามหลักเคมีสีเขียวโดยตรง เช่น กิจกรรม "ทดสอบกรด-เบส (จิ๋ว)" ซึ่งมุ่งเน้นหลักการป้องกันไม่ให้เกิดของเสีย (Prevention) โดยการลดปริมาณการใช้สารเคมี นักเรียนจะได้อภิปรายเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น (เช่น ปริมาณของเสีย) ระหว่างวิธีเคมีสีเขียวกับวิธีดั้งเดิม เมื่อมีความรู้ทางทฤษฎีและประสบการณ์จากการปฏิบัติแล้ว นักเรียนแต่ละกลุ่มจึงระดมสมองเพื่อสร้างแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับ "กรณีศึกษา" หลัก (เช่น แนวทางการลดปัญหาฝนกรด) และนำเสนอหน้าชั้นเรียน

5. ขั้นสรุปและประเมินผลการเรียนรู้ ครูและนักเรียนจะร่วมกันอภิปรายถึงแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่แต่ละกลุ่มได้นำเสนอ เพื่อสรุปเป็นองค์ความรู้ร่วมกัน นักเรียนจะได้สะท้อนผลการเรียนรู้ (Reflection) ทั้งสิ่งที่ได้เรียนรู้จากกรณีศึกษา และความสำคัญของแนวคิดเคมีสีเขียวที่ได้ลงมือปฏิบัติ ก่อนที่ครูจะดำเนินการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนผ่านเครื่องมือต่าง ๆ เช่น แบบทดสอบ เพื่อวัดความเข้าใจในบทเรียนนั้น ๆ

ผลของการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา ที่มีต่อความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยได้นำค่าที่ได้ของแต่ละองค์ประกอบของนักเรียนแต่ละคนมารวมกัน หาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยร้อยละ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เทียบกับช่วงคะแนนระดับความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียน เป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลหลังการจัดการเรียนรู้ผสมผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา ที่มีต่อความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียน

องค์ประกอบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยร้อยละ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม	6.76	67.60%	1.88
นิสัย/ทัศนคติต่อสิ่งแวดล้อม	6.43	64.30%	1.37
ความสามารถ/ทักษะด้านสิ่งแวดล้อม	3.59	35.90%	1.85
พฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม	6.97	69.70%	1.28
รวม	23.92	59.80%	4.88

จากตารางที่ 2 พบว่านักเรียนมีความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในระดับ "สูง" ซึ่งมีค่าคะแนนเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 23.92 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 59.80) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดในด้าน "พฤติกรรมรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม" ที่มีค่าคะแนนเฉลี่ย 6.97 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 69.70) รองลงมาคือด้าน "ความรู้ทางสิ่งแวดล้อม" ซึ่งมีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 6.76 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 67.60) ถัดมาคือด้าน "นิสัย/ทัศนคติต่อสิ่งแวดล้อม" ที่มีค่าคะแนนเฉลี่ย 6.43 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 64.30) ส่วนด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุดคือด้าน "ความสามารถ/ทักษะด้านสิ่งแวดล้อม" ซึ่งมีค่าคะแนนเฉลี่ย 3.59 คะแนน (คิดเป็นร้อยละ 35.90) ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบขึ้น

สามารถส่งเสริมความรู้ นิสัย/ทัศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมได้ในระดับสูง อย่างไรก็ตาม การส่งเสริมด้านทักษะยังคงเป็นความท้าทายและมีช่องว่างในการพัฒนาต่อไป

ผลการเปรียบเทียบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียว โดยใช้กรณีศึกษา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวนทั้งสิ้น 37 คน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบ Paired Samples t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้

องค์ประกอบ	การวัด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	df	p-value
ความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม	ก่อนเรียน	5.65	2.00	3.143	36	.003*
	หลังเรียน	6.76	1.88			
นิสัย / ทัศนคติ ต่อสิ่งแวดล้อม	ก่อนเรียน	6.43	1.09	0.00	36	1.000
	หลังเรียน	6.43	1.37			
ความสามารถ/ทักษะด้านสิ่งแวดล้อม	ก่อนเรียน	4.08	2.05	-1.252	36	.219
	หลังเรียน	3.59	1.85			
พฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม	ก่อนเรียน	7.38	1.11	-1.552	36	.219
	หลังเรียน	6.97	1.28			
รวม	ก่อนเรียน	23.59	4.19	0.43	36	.669
	หลังเรียน	23.92	4.88			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 พบว่า องค์ประกอบด้านความรู้ (Knowledge): พบว่าคะแนนความรู้ของนักเรียนหลังเรียน ($M = 6.76$, $SD = 1.88$) สูงวกาก่อนเรียน ($M = 5.65$, $SD = 2.00$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t(36) = 3.143$, $p = .003$) องค์ประกอบด้านนิสัย/ทัศนคติ (Dispositions): พบว่าคะแนนนิสัย/ทัศนคติของนักเรียนหลังเรียน ($M = 6.43$, $SD = 1.37$) ไม่แตกต่างจากก่อนเรียน ($M = 6.43$, $SD = 1.09$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t(36) = 0.000$, $p = 1.000$) องค์ประกอบด้านความสามารถ/ทักษะ (Competencies): พบว่าคะแนนความสามารถ/ทักษะของนักเรียนหลังเรียน ($M = 3.59$, $SD = 1.85$) ต่ำวกาก่อนเรียน ($M = 4.08$, $SD = 2.05$) เล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t(36) = -1.252$, $p = .219$) องค์ประกอบด้าน

พฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Behavior): พบว่าคะแนนพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนหลังเรียน ($M = 6.97$, $SD = 1.28$) ต่ำกว่าก่อนเรียน ($M = 7.38$, $SD = 1.11$) เล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t(36) = -1.552$, $p = .129$) และคะแนนความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมของนักเรียนหลังเรียน ($M = 23.92$, $SD = 4.88$) สูงกว่าก่อนเรียน ($M = 23.59$, $SD = 4.19$) เล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t(36) = 0.430$, $p = .669$) ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์นักเรียน

เพื่อเสริมความเข้าใจผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและสำรวจมุมมองเชิงลึกของนักเรียนต่อการเรียนรู้และความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยได้ดำเนินการสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมเพื่อเข้าใจประสบการณ์ความคิดเห็น และอุปสรรคในการพัฒนาความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมอย่างครบถ้วน

ผลการวิเคราะห์เนื้อหาจากการสัมภาษณ์

1. ความรู้และความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อม (Knowledge)

จากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนทุกคนสามารถอธิบายความหมายของ "ปัญหาสิ่งแวดล้อม" ได้หลากหลายและเป็นรูปธรรม โดยกล่าวถึงปัญหาต่าง ๆ เช่น มลพิษ ไฟป่า น้ำเน่าเสีย โลกร้อน การทิ้งขยะ และก๊าซเรือนกระจก ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "ขยะ มลพิษ สิ่งที่มีมนุษย์ทำกับธรรมชาติ และสิ่งที่ธรรมชาติทำกับเรา เช่น ไฟไหม้ป่า ปัญหาขยะ การไม่ดูแลต้นไม้ต้นไม้เหี่ยว เกิดมลภาวะก๊าซเรือนกระจก" (นักเรียนคนที่ 3)

ความเข้าใจนี้สะท้อนให้เห็นถึงการเชื่อมโยงระหว่างกิจกรรมของมนุษย์กับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อม เมื่อสอบถามเกี่ยวกับ "ขยะพลาสติก" และ "ไมโครพลาสติก" พบว่านักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจความหมายของขยะพลาสติกได้ดี และสามารถยกตัวอย่างพลาสติกที่พบในชีวิตประจำวันได้หลากหลาย เช่น ขวดน้ำ ถุงพลาสติก หลอดดูดน้ำ กล่องโฟม และช้อนส้อมพลาสติก อย่างไรก็ตาม ความเข้าใจเกี่ยวกับไมโครพลาสติกยังมีความแตกต่างกัน โดยนักเรียนบางคนเข้าใจได้ถูกต้องว่าเป็น "ไมโครพลาสติก คือ พลาสติกเล็ก ๆ ที่ได้จากภาชนะที่เราทานอาหาร ขวดกล่องในร้านสะดวกซื้อ เมื่อเราได้รับปริมาณมากก็จะสะสมจนส่งผลกระทบต่อร่างกาย" (นักเรียนคนที่ 3) ในขณะที่นักเรียนบางคนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เช่น "ขยะพลาสติก คือ ถุงพลาสติก ขวดน้ำที่สามารถรีไซเคิลได้ รีไซเคิลไม่ได้ไม่ถือว่าเป็นขยะพลาสติก" (นักเรียนคนที่ 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังมีช่องว่างในความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดที่ซับซ้อนบางประการ

ผลการสัมภาษณ์นี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่พบว่าคะแนนความรู้ของนักเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการเรียนรู้อย่างเห็นว่าการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานแนวคิดเคมีสีเขียวโดยใช้กรณีศึกษาสามารถส่งเสริมความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทักษะและความคิดเห็น (Dispositions)

ด้านทัศนคติ นักเรียนส่วนใหญ่แสดงทัศนคติเชิงบวกต่อการรณรงค์ลดใช้พลาสติก โดยเห็นว่าเป็นสิ่งที่ดีและมีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "ทำให้คนหันกลับมามองว่า เราใช้รอบเดียวแล้วทิ้งจะทำให้โลกร้อน น่าจะหันมาใช้ถุงผ้าแทนเนื่องจากสามารถใช้ได้นานกว่า" (นักเรียนคนที่ 1) และอีกคนกล่าวว่า "นักเรียนคิดว่าดี เพราะจะช่วยลดภาวะก๊าซเรือนกระจก" (นักเรียนคนที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความตระหนักรู้เกี่ยวกับความสำคัญของการลดใช้พลาสติกต่อการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตาม เมื่อสอบถามเกี่ยวกับความยากง่ายในการลดใช้พลาสติก นักเรียนส่วนใหญ่กล่าวว่าเป็นเรื่อง "ยาก" หรือ "ปานกลาง" โดยให้เหตุผลว่าพลาสติกมีอยู่ทั่วไปในชีวิตประจำวันและเป็นสิ่งที่สะดวกสบาย นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "สำหรับนักเรียนคิดว่ายากนิดหนึ่งเพราะในชีวิตประจำวันมีการใช้พลาสติกเป็นประจำ เช่น ขวดน้ำ" (นักเรียนคนที่ 1) และอีกคนกล่าวว่า "แอบยาก บางครั้งทานน้ำก็จะใช้หลอด ยังไงก็มีพลาสติก บางครั้งทานข้าวส่งกลับบ้านก็จะได้เป็นกล่องโฟม กล่องพลาสติก" (นักเรียนคนที่ 3)

ประเด็นที่น่าสนใจคือ ความรู้สึกไร้อำนาจ (Sense of Powerlessness) ที่ปรากฏในคำตอบของนักเรียนหลายคน เมื่อถูกถามว่าสังคมควรมีมาตรการอะไรเพื่อสนับสนุนให้คนลดใช้พลาสติก นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "เรื่องแบบนี้ยากมาก คิดว่าเราพูดไปเขาก็เฉย ๆ" (นักเรียนคนที่ 2) และอีกคนกล่าวว่า "ถึงมีมาตรการไปสุดท้ายแล้วคนก็ไม่ทำตามอยู่ดี เพราะคนคุ้นชินไปแล้ว" (นักเรียนคนที่ 5) ความรู้สึกนี้สะท้อนให้เห็นถึงการรับรู้ของนักเรียนว่าการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่ทำนายและต้องการความร่วมมือจากสังคมในวงกว้าง

นอกจากนี้ ยังพบความขัดแย้งระหว่างทัศนคติกับพฤติกรรม (Attitude-Behavior Gap) ในหลายกรณี นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "รู้สึกไม่ได้ดีและไม่ได้อะไร เพราะถ้าดีคนเขาต้องใช้ถุงผ้ากันเยอะแล้ว และร้านสะดวกซื้อขายถุงพลาสติกใบละ 1 บาท ทำให้คนซื้อง่ายขึ้น" (นักเรียนคนที่ 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้นักเรียนจะมีความรู้และทัศนคติที่ดีต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แต่ยังมีอุปสรรคจากโครงสร้างทางสังคมและความสะดวกสบายที่ขัดขวางการแปลงทัศนคติไปสู่พฤติกรรมจริง

ผลการสัมภาษณ์นี้ช่วยอธิบายว่าทำไมคะแนนด้านทัศนคติจึงไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากนักเรียนมีทัศนคติที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมอยู่แล้วตั้งแต่ก่อนเรียน (Ceiling Effect) และการเรียนรู้ในระยะสั้นอาจไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนแปลงทัศนคติที่ฝังลึกได้

3. พฤติกรรมและการลงมือทำ (Behavior)

ด้านพฤติกรรม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีพฤติกรรมลดใช้พลาสติกในระดับหนึ่ง เช่น การใช้ถุงผ้า การพกขวดน้ำ การไม่รับหลอด และการเลือกทานอาหารที่ร้านแทนการซื้อกลับบ้าน นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "เวลาไปร้านสะดวกซื้อไม่รับถุงพลาสติกเนื่องจากนำถุงหรือกระเป๋าไปด้วย เวลาดื่มน้ำไม่ใช้หลอด" (นักเรียนคนที่ 1) และอีกคนกล่าวว่า "เปลี่ยนจากซื้อน้ำขวดเล็ก 2 ขวดเป็นซื้อขวดใหญ่ 1 ขวด เปลี่ยนจากใส่ของในถุงพลาสติกเป็นใส่กระเป๋าแทน" (นักเรียนคนที่ 4)

อย่างไรก็ตาม นักเรียนยังคงเผชิญกับอุปสรรคหลายประการในการลดใช้พลาสติก โดยเฉพาะความสะดวกสบายซึ่งถูกกล่าวถึงบ่อยที่สุด นักเรียนคนหนึ่งอธิบายว่า "คนเราไม่ค่อยสนใจนโยบายที่ออกมาสักเท่าไร และ ความสะดวกสบายเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้คนไม่สามารถลดการใช้พลาสติกได้" (นักเรียนคนที่ 2) นอกจากนี้ ยังมีอุปสรรคจากความเคยชิน ดังที่นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "เพราะว่าทุกคนใช้ถุงพลาสติกจนติดไปแล้ว เกิดมากี่ใช้ถุงพลาสติกเลย" (นักเรียนคนที่ 5)

ประเด็นที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือความพยายามในการชักชวนผู้อื่น พบว่านักเรียนบางคนพยายามชวนเพื่อนหรือครอบครัวให้ลดใช้พลาสติก แต่หลายคนเลิกทำเนื่องจากรู้สึกว่ามีผลหรือยากเกินไป นักเรียนคนหนึ่งกล่าวว่า "แรก ๆ เคย แต่หลัง ๆ ไม่แล้ว เนื่องจาก เรายังต้องพึ่งพาพลาสติกอยู่" (นักเรียนคนที่ 3) และอีกคนกล่าวว่า "ส่วนใหญ่เราห้ามคนอื่นไม่ให้ใช้ถุงพลาสติกได้ยาก แต่ก็อยากให้คนอื่น ๆ หันมาลองใช้ถุงผ้าถุงกระดาษ" (นักเรียนคนที่ 5)

คำตอบเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงช่องว่างระหว่างความรู้กับการปฏิบัติ (Knowledge-Action Gap) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่สามารถพบได้ นักเรียนมีความรู้และทัศนคติที่ดี แต่ยังมีอุปสรรคจากปัจจัยภายนอกเช่น โครงสร้างทางสังคม ความสะดวกสบาย และบรรทัดฐานทางสังคมที่ขัดขวางการแปลงความรู้ไปสู่พฤติกรรมจริง

สรุปและอภิปรายผล

ภาพรวมความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมหลังการจัดการเรียนรู้: ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า แม้การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมจะไม่เด่นชัดในทุกมิติ แต่การจัดการเรียนรู้ที่นำมาใช้สามารถยกระดับความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียนไว้ในเกณฑ์ที่ดี และส่งเสริมองค์ความรู้ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยภาพรวมหลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับ 'สูง' ตามเกณฑ์ของ Amphai (2015) ด้วยคะแนนเฉลี่ยรวม 23.92 จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน ซึ่งบ่งชี้ว่ากลุ่มตัวอย่างมีศักยภาพและความตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมในระดับที่ดีและเป็นพื้นฐานที่มั่นคงสำหรับการพัฒนาต่อไป การวิเคราะห์หลังลึกในรายองค์ประกอบพบว่าด้านพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (วัดจากความตั้งใจเชิงพฤติกรรม) มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีแรงจูงใจสูงในการแสดงออกถึงพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ความตั้งใจเชิงบวกนี้ถือเป็นสินทรัพย์ที่สำคัญที่สุดและเป็นจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลง

ตามมาด้วยด้านความรู้ และด้านนิสัย/ทัศนคติ ซึ่งอยู่ในระดับที่ดีเช่นกัน แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจในประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมและมีเจตคติที่สอดคล้องกัน อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบที่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุดคือด้านความสามารถ/ทักษะ ผลลัพธ์นี้เป็นภาพสะท้อนที่ชัดเจนของการศึกษาสิ่งแวดล้อม นั่นคือการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การประเมินข้อมูล และการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นความสามารถเชิงปฏิบัติการที่ต้องการการฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง แม้นักเรียนจะมีความตั้งใจที่ดีและมีความรู้พื้นฐานที่เพียงพอ แต่ยังคงขาดทักษะที่จำเป็นในการแปลงความตั้งใจเหล่านั้นไปสู่การปฏิบัติจริงที่สามารถสร้างผลกระทบได้อย่างมีประสิทธิภาพ การมีเพียงเจตนาที่ดีอาจไม่เพียงพอ หากปราศจากความสามารถในการวิเคราะห์สถานการณ์ที่ซับซ้อน ประเมินทางเลือกต่างๆ และออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสมและยั่งยืนได้ด้วยตนเอง

การเปรียบเทียบความฉลาดรู้ด้านสิ่งแวดล้อมก่อนและหลังเรียน: ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ได้ให้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบของนวัตกรรมการสอน โดยพบว่ามีเพียงองค์ประกอบ ด้านความรู้ (Knowledge) เท่านั้นที่แสดงให้เห็นถึงการพัฒนามีนัยสำคัญทางสถิติ โดยคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน ($M = 6.76, SD = 1.88$) สูงวกาก่อนเรียน ($M = 5.65, SD = 2.00$) อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นการยืนยันผลของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียวโดยใช้กรณีศึกษาในการถ่ายทอดและสร้างองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง การเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จริงทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดทางเคมีเข้ากับปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม ส่งผลให้เกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งและจดจำได้ดีขึ้น

ในทางตรงกันข้าม องค์ประกอบอีกสามด้านกลับไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ด้านนิสัย/ทัศนคติ, ด้านความสามารถ/ทักษะ, และด้านพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลให้คะแนนรวม ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงธรรมชาติที่ซับซ้อนของการเปลี่ยนแปลงในมิติเหล่านี้ การปรับเปลี่ยนเจตคติที่ฝังลึก การพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง และการแปลงความตั้งใจไปสู่พฤติกรรมจริง ล้วนเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยระยะเวลาที่ยาวนาน และยังได้รับอิทธิพลอย่างสูงจากปัจจัยภายนอกห้องเรียน เช่น บรรทัดฐานทางสังคม ความเชื่อส่วนบุคคล และโครงสร้างสิ่งแวดล้อมที่เอื้อหรือไม่เอื้อต่อการกระทำนั้นๆ ดังนั้น การที่คะแนนเหล่านี้คงที่จึงอาจสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนมีทัศนคติและความตั้งใจที่ดีเป็นทุนเดิมอยู่แล้ว (Ceiling Effect) และการเรียนรู้ในครั้งนี้ทำหน้าที่เสริมสร้างและยืนยันความเชื่อเดิม มากกว่าที่จะสร้างการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่

อภิปรายผล

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพและความท้าทายของการจัดการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียวโดยใช้กรณีศึกษา ซึ่งสามารถอภิปรายผลในแต่ละประเด็นได้ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของรูปแบบการสอนต่อการสร้าง "ความรู้" ด้านสิ่งแวดล้อม: แนวคิดคอนสตรัคติวิสต์

การพัฒนาขึ้นของคะแนนความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมในกลุ่มผู้เรียน บ่งบอกถึงประสิทธิผลของการออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีรากฐานของ ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism Theory) ทฤษฎีนี้มีหัวใจสำคัญอยู่ที่การมองว่าผู้เรียนไม่ใช่ผู้รับข้อมูลแบบตั้งรับ (Passive Recipient) แต่เป็น "ผู้สร้าง" (Active Constructor) องค์ความรู้ของตนเองขึ้นมา ผ่านการเชื่อมโยงประสบการณ์และข้อมูลที่ได้รับเข้ากับโครงสร้างทางปัญญาและความรู้เดิมที่พวกเขามีอยู่ ดังที่ (Chaicharoen, 2005) ได้สรุปไว้ นวัตกรรมการสอนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้เป็นเพียงการถ่ายทอดเนื้อหา แต่เป็นการสร้าง "สภาวะที่เอื้ออำนวย" (Enabling Conditions) ต่อกระบวนการสร้างองค์ความรู้เชิงรุกนี้ได้อย่างเป็นรูปธรรมและเป็นระบบ

การใช้กรณีศึกษาเป็นตัวอย่างประกอบการเรียน: กลยุทธ์สำคัญที่ทำให้วัตตกรรมนี้ประสบความสำเร็จคือการเริ่มต้นด้วย กรณีศึกษา (Case Study) ที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตของนักเรียน เช่น ปัญหา "น้ำเสียจากคลองตรงข้ามโรงเรียน" หรือ "ภาวะฝนกรด" ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษา ซึ่งเน้นการนำเสนอสถานการณ์ปัญหาเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ศึกษา วิเคราะห์ และฝึกแก้ปัญหา (Khemmani, 2021; Sintapanont, 2002) เป็นแรงผลักดันภายในที่สำคัญอย่างยิ่ง ทำให้นักเรียนตระหนักว่ากรอบความเข้าใจเดิมของตนเองนั้นไม่เพียงพอที่จะอธิบายปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนตรงหน้าได้ และกระตุ้นให้เกิดความต้องการสืบค้นหาข้อมูลใหม่ ๆ เพื่อสร้างโครงสร้างความเข้าใจที่สมบูรณ์ขึ้น ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของ

การเรียนรู้ตามแนวคิดของ Anantasuk และ Mungkorn (2020) ที่ว่าแรงจูงใจจากความขัดแย้งทางปัญญาจะนำไปสู่การสร้างโครงสร้างใหม่ทางปัญญาที่ได้รับการตรวจสอบแล้ว

การบูรณาการเคมีสีเขียวในฐานะเครื่องมือแก้ปัญหา: ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาและสร้างวิธีแก้ปัญหา ซึ่งเป็นหัวใจของกระบวนการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาตามแนวทางของ Çam & Geban (2011) และ Choi & Lee (2009) ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนนำความรู้ทางเคมีมาประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง การผสมหลักการ 12 ประการของเคมีสีเขียว (Anastas & Warner, 1998) เข้ามาเป็นกรอบในการคิด เช่น หลักการป้องกันไม่ให้เกิดของเสีย (Prevention) หรือการออกแบบสารเคมีที่ปลอดภัยกว่า ได้ยกระดับการเรียนรู้จากการหา "คำตอบที่ถูกต้องตามทฤษฎี" ไปสู่การแสวงหา "ทางออกที่ดีที่สุดทางปฏิบัติ" ที่ยั่งยืนและส่งผลกระทบต่อ

2. ความท้าทายในการเปลี่ยนแปลง "นิสัย/ทัศนคติ" และ "พฤติกรรม": การวิเคราะห์ผ่านทฤษฎีและกรอบแนวคิด การที่คะแนนด้านนิสัย/ทัศนคติ และพฤติกรรมไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชี้ให้เห็นถึงความซับซ้อนของการศึกษาสิ่งแวดล้อมที่ลึกซึ้งและท้าทายกว่าการให้ความรู้เพียงอย่างเดียว

2.1 เพดานผลกระทบ (Ceiling Effect) และธรรมชาติของเจตคติที่ฝังลึก: นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนในสองด้านนี้สูงอยู่แล้วตั้งแต่ต้น การเปลี่ยนแปลงเจตคติซึ่งเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบ Dispositions ตามกรอบของ (North American Association for Environmental Education, 2011) นั้นเป็นสิ่งที่ถูกหล่อหลอมมาเป็นเวลานาน จึงเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยเวลาที่ยาวนาน การเรียนรู้ในครั้งนี้อาจทำหน้าที่เป็นเพียงการ "ตอกย้ำและยืนยัน" (Reinforcement) เจตคติเชิงบวกที่นักเรียนมีอยู่เดิมให้แข็งแกร่งขึ้นมากกว่าที่จะสร้างการเปลี่ยนแปลงที่สามารถวัดผลได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.2 การอภิปรายปรากฏการณ์ช่องว่างระหว่างความรู้และพฤติกรรมผ่านทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior): ผลการวิจัยนี้สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนด้วย ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน ของ (Ajzen, 1985) ทฤษฎีนี้เสนอว่าพฤติกรรมของมนุษย์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเจตคติ (Attitude) ที่ดีต่อพฤติกรรมนั้นๆ เพียงอย่างเดียว แต่ยังได้รับอิทธิพลจากอีกสองปัจจัยสำคัญ คือ บรรทัดฐานทางสังคม (Subjective Norm) หรือการรับรู้ว่าคุณค่ารอบข้างคาดหวังให้เราทำหรือไม่ทำพฤติกรรมนั้น และ การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (Perceived Behavioral Control) หรือความเชื่อมั่นว่าตนเองสามารถทำพฤติกรรมนั้นได้สำเร็จหรือไม่ ผลการสัมภาษณ์เชิงคุณภาพได้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่สอดคล้องกับทฤษฎีนี้อย่างยิ่ง

2.2.1 อิทธิพลของบรรทัดฐานทางสังคม: การที่นักเรียนระบุถึงอุปสรรคจาก "ความสะดวกสบาย" และ "โครงสร้างทางสังคมที่ไม่เอื้ออำนวย" เช่น การที่ร้านค้ายังคงใช้และจำหน่ายถุงพลาสติกอย่างแพร่หลาย เป็นการสะท้อนถึงการรับรู้ว่าบรรทัดฐานของสังคมส่วนใหญ่ยังคงให้คุณค่ากับความสะดวกสบายมากกว่าความยั่งยืน

2.2.2 อิทธิพลของการรับรู้ความสามารถในการควบคุม: "ความรู้สึกไร้อำนาจในการสร้างการเปลี่ยนแปลง" ที่นักเรียนแสดงออกมา คือภาพสะท้อนที่ชัดเจนของการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมที่ต่ำ แม้พวกเขาจะมีความรู้และเจตคติที่ดี แต่เมื่อมองไปที่ขนาดของปัญหาและอุปสรรคเชิงโครงสร้าง พวกเขาก็ขาดความเชื่อมั่นว่าการกระทำของตนเองจะสร้างความแตกต่างได้

ดังนั้น ทฤษฎีนี้จึงช่วยอธิบายได้ว่า แม้การจัดการเรียนรู้จะสามารถเสริมสร้างเจตคติที่ดีได้ แต่หากผู้เรียนยังรับรู้ถึงบรรทัดฐานของสังคมไม่สนับสนุน หรือตนเองขาดความสามารถและทรัพยากรในการ

ควบคุมพฤติกรรมนั้นๆ ก็เป็นเรื่องยากอย่างยิ่งที่จะนำไปสู่การแสดงออกของพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmentally Responsible Behavior)

โดยสรุป การจัดการเรียนรู้ที่ผสานแนวคิดเคมีสีเขียวโดยใช้กรณีศึกษานั้น มีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการสร้างฐานความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง และอาจส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความตระหนักรู้ของปัญหาและประเมินความสามารถของตนเองได้อย่างสมจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การจะขับเคลื่อนไปสู่การเปลี่ยนแปลงทัศนคติและพฤติกรรมที่ยั่งยืนนั้นยังคงเป็นความท้าทายที่ต้องการการสนับสนุนจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากกิจกรรมในห้องเรียน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 สำหรับครูผู้สอน: สามารถนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่วิจัยนี้ไปปรับใช้ โดยเน้นการเลือกหรือสร้างกรณีศึกษา (Case Study) ที่มีความเชื่อมโยงกับบริบทของโรงเรียนและชุมชนของตนเองโดยตรง เช่น ปัญหาขยะในท้องถิ่น คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำใกล้เคียง หรือผลกระทบของฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่ เพื่อเพิ่มแรงจูงใจและการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงของนักเรียน

1.2 สำหรับการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ในอนาคต: ควรเพิ่มกิจกรรมที่ส่งเสริมการนำความรู้ไปสู่การลงมือปฏิบัติจริงภายในโรงเรียน (Active Citizenship) เช่น การทำโครงการเคมีสีเขียวขนาดเล็ก เพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในระดับห้องเรียนหรือโรงเรียน เพื่อลดช่องว่างระหว่างความรู้และการปฏิบัติ และช่วยให้นักเรียนเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ตนเองสามารถส่งผลกระทบต่อส่วนรวมได้ ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างความรู้สึกมีส่วนร่วม (Sense of Agency) และลดความรู้สึกไร้อำนาจของเยาวชน

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 การพัฒนาเครื่องมือวัด : ในการวิจัยครั้งถัดไปควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาแบบวัดด้านความสามารถ/ทักษะ (Competencies) โดยเปลี่ยนจากแบบทดสอบปรนัยเลือกตอบมาเป็นการประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) เช่น การประเมินจากการลงมือปฏิบัติจริง (Performance Assessment) หรือแบบวัดสถานการณ์จำลองเชิงลึก เพื่อให้สามารถวัดความสามารถ/ทักษะได้อย่างแม่นยำและสะท้อนศักยภาพที่แท้จริงของนักเรียน

2.2 การปรับปรุงรูปแบบการวิจัย: ในการวิจัยครั้งถัดไปอาจใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) หรือกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) ที่มีกลุ่มควบคุม เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิผลของรูปแบบการสอนได้อย่างชัดเจนและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

2.3 การขยายขอบเขตของกลุ่มตัวอย่าง: ในการวิจัยครั้งถัดไปอาจมีการทำวิจัยในกลุ่มตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งในด้านเพศ บริบทของโรงเรียน (เช่น โรงเรียนสหศึกษา, โรงเรียนในพื้นที่ต่างจังหวัด) เพื่อให้ผลการวิจัยสามารถอ้างอิงได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น

การรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

หนังสือรับรองการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เลขที่ **197/68** โครงการวิจัยที่ **670427** จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 2 สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- Ajzen, I. (1985). *Action Control*. Springer Berlin Heidelberg.
- Amphai, S. (2015). *The development of environmental literacy scale for lower secondary school students* (Master's thesis, Chulalongkorn University). [translated]
- Anantasuk, N., & Mungkorn, M. (2020). A Study of the Results of Learning Management According to Constructivist Theory to Promote Academic Achievement in Social Studies Subjects and Satisfaction of Mathayomsuksa 4 Students. *Education Journal, Faculty of Education, Nakhon Sawan Rajabhat University*, 3(2), 40-49.
- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green Chemistry: Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301-312. <https://doi.org/10.1039/B918763B>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: theory and practice*. Oxford University Press.
- Ballard, J., & Mooring, S. R. (2021). Cleaning our world through green chemistry: Introducing high school students to the principles of green chemistry using a case-based learning module. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1290-1295.
- Çam, A., & Geban, Ö. (2011). Effectiveness of case-based learning instruction on epistemological beliefs and attitudes toward chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 20, 26-32.
- Chaicharoen, S. (2005). *Educational technology and instructional system development*. Department of Educational Technology, Faculty of Education. [translated]
- Choi, I., & Lee, K. (2009). Designing and implementing a case-based learning environment for enhancing ill-structured problem solving: Classroom management problems for prospective teachers. *Educational Technology Research and Development*, 57, 99-129.
- Dewi, N. K., & Listyarini, R. V. (2022). Development of Green Chemistry-Based Practicum Module for Senior High School to Promote Students' Environmental Literacy. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 10(3), 641-653.
- Hollweg, K. S., Taylor, J. R., Bybee, R. W., Marcinkowski, T. J., McBeth, W. C., & Zoido, P. (2011). *Developing a framework for assessing environmental literacy*. <http://www.naaee.net>
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2020). *Green Chemistry*. <https://www.scimath.org/article-chemistry/item/11663-2020-06-30-06-22-02>
- Karpudewan, M., Ismail, Z., & Mohamed, N. (2011). Greening a Chemistry Teaching Methods Course at the School of Educational Studies, Universiti Sains Malaysia. *Journal of Education for Sustainable Development*, 5, 197-214. <https://doi.org/10.1177/097340821100500210>
- Khemmani, T. (2021). *The science of teaching: Knowledge for organizing effective learning processes* (24th ed.). Chulalongkorn University Press. [translated]

- North American Association for Environmental Education. (2011). *Developing a framework for assessing environmental literacy*. <http://www.naaee.net/>
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2022). *Environmental Quality Situation Report 2022*. <https://www.onep.go.th/book/soe2565/>
- Sintapanont, S. (2002). *Learning process arrangement emphasizing learners according to the basic education curriculum*. Aksorn Charoen Tat.
- Thyer, B. A., & Thyer, K. B. (2012). *Program evaluation: An introduction to an evidence-based approach* (6th ed.). Cengage Learning.
- United Nations Environment Programme. (2018). *Annual Report 2018*.
<https://www.unep.org/resources/annual-report-2018>
- United Nations Environment Programme. (2019). *Global environment outlook – GEO-6: Summary for policymakers*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27652/GEO6SPM_EN.pdf
- Williams, R. (2017). *An Assessment of Environmental Literacy Among Oklahoma Public High School Students and the Factors Affecting Students' Environmental Literacy* (Master's thesis, Harvard Extension School).
- World Health Organization. (2022). *Ambient (outdoor) air pollution*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)