

ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของนักเรียนตามแนวคิดการสืบเสาะหาความรู้และบอร์ดเกม

## THE EFFECTS OF LEARNING ACTIVITIES PROMOTING CRITICAL THINKING AND PROBLEM-SOLVING SKILLS OF STUDENTS BASED ON INQUIRY-BASED LEARNING APPROACH AND BOARD GAMES

กฤษณวงศ์ ครอบรู้ | *Gidsanawong Robru* | ORCID ID: 0009-0009-1658-6548

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปและชีววิทยา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย | Department of General Science and Biology, Faculty of Education, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani Province, Thailand  
Corresponding Author E-mail: Krissanawong4718@gmail.com

อุบลวรรณ เลี้ยวอุดมชัย | *Ubonwan Leawudomchai* | ORCID ID: 0009-0007-5232-5121

ครูชำนาญการ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย | Professional Teacher, Science and Technology Learning Group Udon Pittayanukoon School, Udon Thani Province, Thailand  
E-mail: puiubonwan@gmail.com

คณิสร์ ต้นสีนนท์ | *Kanisorn Tonseenon* | ORCID ID: 0009-0005-5359-5663

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย | Assistant Professor, Faculty of Education, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani Province, Thailand  
E-mail: Kanisron.to@udru.ac.th

Received: (October 6, 2024); Revised: (January 30, 2025); Accepted: (February 12, 2025)

### Citation:



กฤษณวงศ์ ครอบรู้, อุบลวรรณ เลี้ยวอุดมชัย, และคณิสร์ ต้นสีนนท์. (2568). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของนักเรียนตามแนวคิดการสืบเสาะหาความรู้และบอร์ดเกม. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน (JRIS)*, 2(1), 30-57.

Robru, G., Leawudomchai, U., & Tonseenon, K. (2025). The effects of learning activities promoting critical thinking and problem-solving skills of students based on inquiry-based learning approach and board games. *Journal of Research and Innovation for Sustainability (JRIS)*, 2(1), 30-57.

## ABSTRACT

This research aimed to enhance students' critical thinking and problem-solving skills through science learning activities on cellular respiration, utilizing an inquiry-based approach combined with board games. The target group consisted of 30 Mathayom Suksa 4 students from Udon Pittayanukool School, selected through purposive sampling. This study employed a mixed-methods approach. The research instruments included lesson plans on cellular respiration and board games designed and developed by Gidsanawong Robru et al. (2024). Statistical analysis involved the use of mean and standard deviation, while qualitative analysis utilized content analysis of student work and unstructured interviews. The results indicated that the use of board games significantly improved students' understanding of the cellular respiration process, particularly glycolysis, the Krebs cycle, and electron transport. Furthermore, students developed their analytical thinking, decision-making, and problem-solving skills, while also demonstrating increased motivation and engagement in learning. This suggests that board game-based learning can promote effective and sustainable long-term learning.

**Keyword:** Critical thinking and problem-solving skills, board game, inquiry-based

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของนักเรียน ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้วิธีการสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จำนวน 30 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง การวิจัยนี้ใช้วิธีการแบบผสมวิธี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ และบอร์ดเกมที่กฤษณวงศ์ รوبرู และคณะ (2567) ได้ออกแบบและสร้างไว้ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์เชิงคุณภาพใช้การวิเคราะห์เนื้อหาจากชิ้นงานและการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง ผลการวิจัยพบว่าการใช้บอร์ดเกมช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการหายใจระดับเซลล์ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะกระบวนการไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน นอกจากนี้ นักเรียนยังพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การตัดสินใจ และการแก้ปัญหา รวมถึงมีแรงจูงใจและมีส่วนร่วมในการเรียนรู้มากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเรียนรู้ผ่านบอร์ดเกมสามารถส่งเสริมการเรียนรู้ที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพในระยะยาว

**คำสำคัญ:** ความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา, บอร์ดเกม, การสืบเสาะหาความรู้

## 1. บทนำ

การเรียนรู้ในปัจจุบันมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 เพื่อเตรียมความพร้อมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การสื่อสาร และการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นกระบวนการที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถค้นพบความรู้ด้วยตนเอง (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2558) และการใช้บอร์ดเกมเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ช่วยพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ (Mackay, 2013; Play Academy, 2017) อย่างไรก็ตาม ผลการประเมิน PISA ปี 2022 ระบุว่า คะแนนด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยอยู่ที่ 409.26 ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยและลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการประเมินในปีที่ผ่านมา ทั้งนี้ คะแนนของนักเรียนไทยยังต่ำกว่าประเทศในกลุ่ม OECD และประเทศเพื่อนบ้าน เช่น สิงคโปร์ เวียดนาม และมาเลเซีย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2567) สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในกลุ่มผู้เรียนไทย

ทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วยทักษะพื้นฐาน ได้แก่ การอ่าน การเขียน และคณิตศาสตร์ (3Rs) และทักษะเพิ่มเติมอีก 8 ประการ (8Cs) ได้แก่ การคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ การทำงานร่วมกัน การเข้าใจวัฒนธรรมที่หลากหลาย การสื่อสาร การรู้เท่าทันสื่อ การใช้เทคโนโลยี ทักษะวิชาชีพ และคุณธรรม (Kay, 2012) กรอบแนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงสังเคราะห์ และการคิดสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถตัดสินใจในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมและเชื่อมโยงความรู้วิทยาศาสตร์สู่การเรียนรู้ในสังคม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551)

ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการคิดและการแก้ปัญหาผ่านการปฏิบัติจริง ตัวอย่างเช่น การเรียนรู้เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ซึ่งมีเนื้อหาหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ ไกลโคลิซิส วัฏจักรเครบส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) อย่างไรก็ตาม นักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และไม่สามารถเชื่อมโยงเนื้อหาที่ซับซ้อนกับการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) สร้างความสนใจ (Engagement) 2) สำรวจและค้นหา (Exploration) 3) อธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) 4) ขยายความรู้ (Elaboration) และ 5) ประเมินความรู้ (Evaluation) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2560) เป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาทักษะการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บอร์ดเกมเป็นสื่อการเรียนรู้ที่สามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการคิดวิเคราะห์ วางแผน และตัดสินใจภายใต้ข้อจำกัดที่หลากหลาย (Abuhmaid, 2011) การเรียนรู้ผ่านบอร์ดเกมช่วยจำลองสถานการณ์ที่ซับซ้อนและส่งเสริม

การทำงานร่วมกันในกลุ่มผู้เรียน นอกจากนี้ บอร์ดเกมยังช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่มีความซับซ้อนได้ง่ายขึ้น ผ่านการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ (Kolb, 1984) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริงและการมีส่วนร่วมโดยตรง

จากข้อค้นพบดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการหายใจระดับเซลล์ โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้บอร์ดเกม เพื่อพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของผู้เรียน ทั้งนี้ ผลการวิจัยคาดว่าจะสามารถพัฒนาต้นแบบบอร์ดเกมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ในเนื้อหาที่ซับซ้อน และสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้สำหรับผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของนักเรียน ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การหายใจในระดับเซลล์ โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้บอร์ดเกม

## 3. กรอบแนวคิดการวิจัย

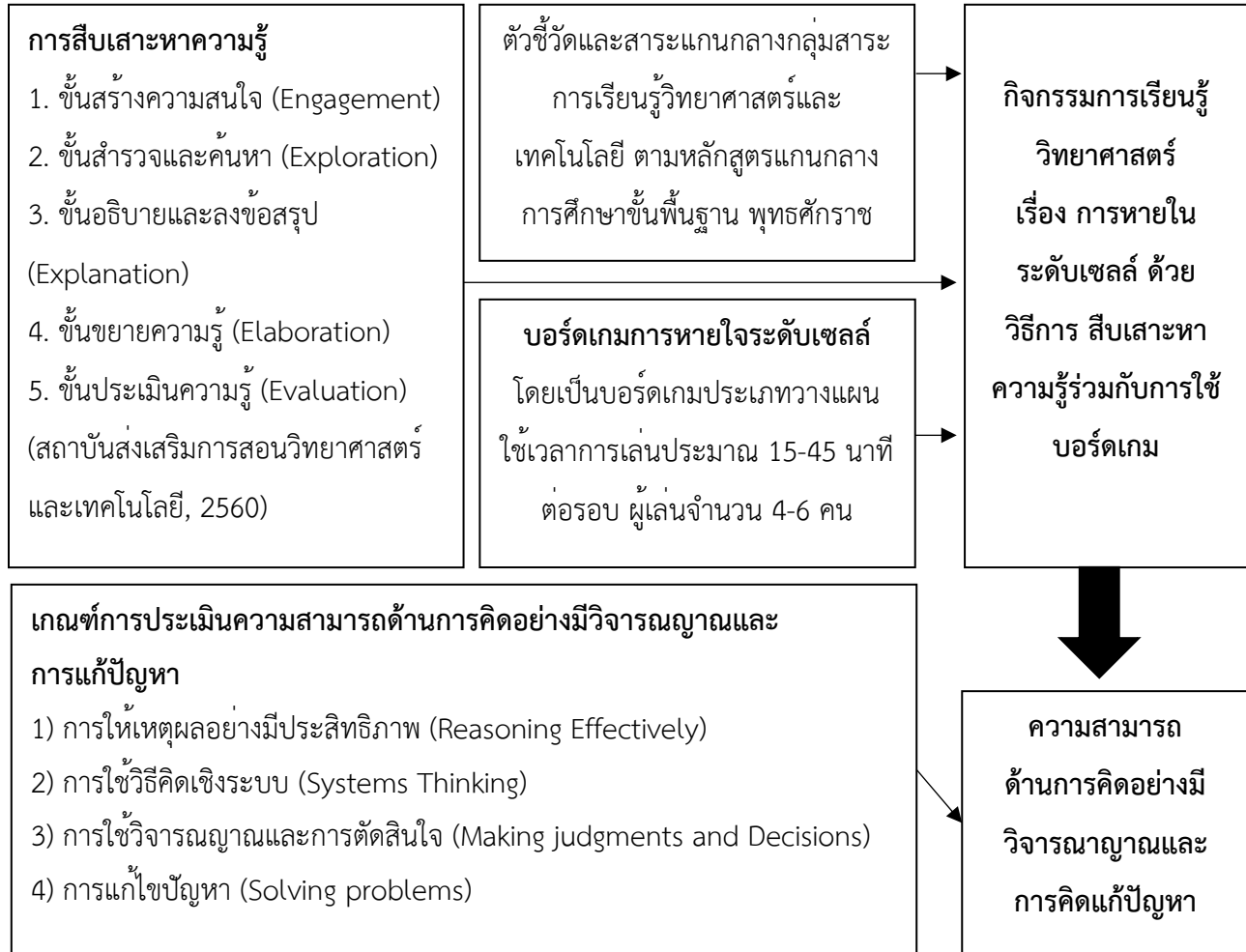
การดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ เพื่อพัฒนาความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของนักเรียน ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การหายใจในระดับเซลล์ โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้บอร์ดเกม ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาเอกสารเพื่อสร้างกรอบแนวคิดการวิจัยซึ่งประกอบด้วย การสืบเสาะหาความรู้ บอร์ดเกม ความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และความสามารถด้านการคิดแก้ปัญหา รายละเอียดดังต่อไปนี้

การสืบเสาะหาความรู้ เป็นการค้นหาคำตอบที่สนใจ ผ่านการทำงานอย่างเป็นระบบ รอบคอบ แต่มีอิสระและไม่เป็นลำดับขั้นที่ตายตัว เนื่องจากอาจมีการสืบเสาะซ้ำแล้วซ้ำเล่าเพื่อตอบคำถาม และอาจเกิดคำถามขึ้นมาใหม่ที่ต้องสืบเสาะหาคำตอบต่อไป หมุนวนเป็นวัฏจักร 5 ขั้นตอน ประกอบไปด้วย 1. ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) 2. ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) 3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) 4. ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และ 5. ขั้นประเมินความรู้ (Evaluation) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2560)

บอร์ดเกมการหายใจระดับเซลล์เป็นสื่อการสอนที่เน้นการสื่อสารและมีส่วนร่วมสูง ผู้เรียนได้รับความสนุกสนานและการเรียนรู้จากการเล่น ซึ่งมีข้อดีคือความท้าทายการเปิดโอกาสให้ลองผิดลองถูกและการตัดสินใจเอง เนื้อหาของเกมตอบสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์และทำให้ผู้เล่นต้องการเอาชนะผ่านการเล่นที่ต้องใช้การคิดวิเคราะห์และเหตุผลในการพัฒนาความคิดวิจาร์ณญาณและการแก้ปัญหา องค์ประกอบของเกมรวมถึงคู่มือครู บัตรคำสั่ง เนื้อหาที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ และเครื่องมือวัดผล หลักการออกแบบบอร์ดเกม

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่นิยมมีดังนี้ 1) กิจกรรมฝึกทักษะและเจตคติ 2) เนื้อหาสอดคล้องกับหลักสูตร 3) กิจกรรมควรเบ็ดเสร็จในตัวเอง และ 4) การจัดระบบให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งานของครูและนักเรียน (Galos, 2022; ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ, 2520)

ความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของทักษะเพื่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 อันมีความสำคัญในการสร้างการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นในสังคม องค์ประกอบสำคัญของทักษะเหล่านี้ประกอบด้วย 1) การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (Reasoning effectively) เป็นการคิดแบบอุปนัย (Inductive) และแบบอนุมาน (Deductive) ตามความเหมาะสมของสถานการณ์ 2) การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (System thinking) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ และผลที่เกิดขึ้นในภาพรวม 3) การใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ (Making judgments and decisions) เป็นการวิเคราะห์และประเมินข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้ง และการกล่าวอ้าง รวมถึงการสะท้อนผลอย่างรอบคอบ 4) การแก้ปัญหา (Solving problems) เป็นการแก้ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยด้วยแนวทางต่าง ๆ และการตั้งคำถามที่สำคัญเพื่อให้เกิดความชัดเจนและนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ดีขึ้น (วิจารณ์ พานิชย์, 2555 และ สิริพัชร เจริญชัย, 2563) ได้ระบุองค์ประกอบดังกล่าวตามกรอบแนวคิดในศตวรรษที่ 21 โดยเน้นการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้วิธีคิดเชิงระบบ การใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ และการแก้ไข้ปัญหา ทั้งหมดนี้เป็นทักษะที่สำคัญในการพัฒนาความสามารถของบุคคลในการเผชิญกับความท้าทายในอนาคต



ภาพ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

#### 4. วิธีการวิจัย

การดำเนินการของผู้วิจัยเป็นไปเพื่อการค้นหาแนวทางการส่งเสริมความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของนักเรียนโดยการใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ ซึ่งมีการดำเนินการออกแบบและสร้างกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การทายในระดับเซลล์ โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกมดังต่อไปนี้

4.1 กิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การทายใจระดับเซลล์ โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม ที่ผู้วิจัยใช้นั้น กฤษณวงศ์ ครอบรู้ และคณะ (2567) ได้ออกแบบไว้ โดยกิจกรรมแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ (Engagement) ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา (Exploration) ขั้นที่ 3 อธิบายและลง

ข้อสรุป (Explanation) ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ (Elaboration) ขั้นที่ 5 ประเมินความรู้ (Evaluation) กิจกรรมดังกล่าวถูกออกแบบโดยใช้แนวคิดการสืบเสาะหาความรู้เพื่อให้นักเรียนได้ทำกิจกรรมเพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง สามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาประกอบกับการใช้บอร์ดเกมเพื่อการศึกษา

4.2 บอร์ดเกม เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยใช้นั้น กลุ่มวงศ์ ครอบรู้ และคณะ (2567) ได้ออกแบบไว้โดยมีองค์ประกอบ คือ สถานการณ์เกม เป้าหมายของเกม วัสดุและอุปกรณ์ในการเล่น บอร์ดเกมนี้ออกแบบเพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหานักเรียน โดยบอร์ดเกมผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน พบว่าบอร์ดเกมมีความเหมาะสมระดับมาก ( $M=4.08$ ,  $SD=0.45$ ) และผลการหาคุณภาพของบอร์ดเกม ด้านเทคโนโลยีทางการศึกษา พบว่า บอร์ดเกมมีความเหมาะสมระดับมาก ( $M=4.13$ ,  $SD=0.47$ ) เช่นเดียวกัน

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยใช้เครื่องมือตามข้อ 4.1 และ 4.2 ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักเรียนกลุ่มเป้าหมายจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักเรียนที่ผู้วิจัยทำการสอนอยู่ จำนวน 30 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง กลุ่มเป้าหมายร่วมกิจกรรมตามกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม จำนวน 6 ชั่วโมง และทำแบบฝึกหัดและกิจกรรมตามที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ นอกจากนี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้และทักษะของนักเรียนที่ชัดเจนมากขึ้น ผู้วิจัยดำเนินการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลด้วย

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล การวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data analysis) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data analysis) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) จากการที่นักเรียนทำ

## 6. ผลการวิจัย

จากคำถามและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบและสร้างการจัดการเรียนรู้และบอร์ดเกมด้วยวิธีการเชิงคุณภาพ ซึ่งผู้วิจัยจะดำเนินการนำเสนอผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม รายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม โดยเวลา จำนวน 6 ชั่วโมง ก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์ในระดับที่ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะกระบวนการที่ซับซ้อน เช่น การไกลโคไลซิส การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์เอ วิตามินเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน นักเรียนบางส่วนไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการต่าง ๆ ได้อย่าง



ชัดเจน นอกจากนี้ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาขึ้นอยู่กับพื้นฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเรียนรู้แบบท่องจำหรือการเรียนรู้ที่เน้นการบรรยายเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเสริมสร้างความเข้าใจเชิงลึกได้อย่าง

หลังจากที่ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาเกี่ยวกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถเชื่อมโยงความรู้ระหว่างกระบวนการไกลโคไลซิส การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์เอ วัฏจักรเครบส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น การใช้บอร์ดเกมที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการวางแผนและแก้ไขปัญหาภายในเกม ส่งผลให้นักเรียนพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา นอกจากนี้ การทำงานร่วมกันในกลุ่มยังเสริมสร้างทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่นและการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาทักษะทางสังคมและความสามารถในการแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คือ นักเรียนมีความเข้าใจเชิงลึกมากขึ้น สามารถวิเคราะห์และสังเคราะห์ความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมีทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาที่พัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น

ส่วนที่ 2 ความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

1. สมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาของสถานการณ์ที่เลือกมานำเสนอ กลุ่มที่ 1 กลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร

กลุ่ม "คนดั่งเมืองอุดร" ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก 12 คน ได้แก่ ป่าน บอม ระฆัง โอลิฟ เหมียว อาร์ท ออม แตน ภูมิ โพน แก้ม และเปรี้ยว ได้เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกมโดยเป้าหมายคือการใช้ทรัพยากรที่มีเพื่อสร้าง ATP ให้ได้มากที่สุด สมาชิกในกลุ่มมีความกล้าแสดงความคิดเห็น ชักถาม และร่วมมือกันอย่างดี ในการเล่นเกม นักเรียนได้ใช้วิจารณญาณและตัดสินใจเลือกแนวทางแก้ปัญหา คือ การเริ่มต้นสร้าง ATP โดยใช้ Glucose, 2ATP, และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> ซึ่งทั้งสามส่วนประกอบนี้เป็นเงื่อนไขสำคัญในการได้ผลิตภัณฑ์ 2 Pyruvate นักเรียนได้ใช้แนวทางนี้เป็นต้นแบบในการแก้ปัญหาในเกม ทั้งยังพิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมของคำตอบตลอดกระบวนการ แสดงถึงการวิเคราะห์และตัดสินใจอย่างมีเหตุผล ส่งผลให้กลุ่มประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย

การตีความสมรรถนะการคิดแก้ปัญหาของนักเรียน จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการโดยจะอธิบายผลการตีความเพื่อประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาที่ละองค์ประกอบดังต่อไปนี้



### 1.1 การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE: Reasoning Effectively) กลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร

การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ ของกลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร มีรายละเอียดการวิเคราะห์และการประเมินการให้ระดับคุณภาพการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาและการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ ดังนี้

การวิเคราะห์ครั้งที่ 1 ในขั้นการสำรวจและค้นหา ประเด็นที่นักเรียนการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อคำถามของครู “หากต้องการสร้าง ATP จะต้องใช้ทรัพยากรอะไรบ้างและอย่างไร” โดยนักเรียนมีการทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการสร้าง ATP จากเกมกระดานที่เล่น พบว่า นักเรียนมีการนำเอาการ์ดพื้นฐาน ได้แก่ Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> มารวมกันเพื่อสร้าง 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้ได้ผลลัพธ์ คือ ATP 2 โมเลกุลและได้ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> แต่ยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ซึ่งมีการใช้การสังเกตการใช้ประสบการณ์บอกลักษณะกลุ่มเป้าหมาย แต่ให้เหตุผลสอดคล้องกับสถานการณ์เพียงบางส่วน แสดงให้เห็นว่า RE อยู่ในระดับ พอใช้

การวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ในขั้นการสำรวจและค้นหา ประเด็นที่นักเรียนการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อคำถามของครู “หากต้องการสร้าง ATP จะต้องใช้ทรัพยากรอะไรบ้างและอย่างไร” พบว่า นักเรียนกลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร “เมื่อเราได้ 2 pyruvate แล้วเราจะต้องนำการ์ดพื้นฐาน ได้แก่ 2CO<sub>2</sub>, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, Coenzyme A เพื่อมาสร้าง 2 Acetyl CoA เนื่องจากกรดไพรูวิกที่เกิดจากไกลโคไลซิสจะเข้าสู่เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียและทำปฏิกิริยากับ Coenzyme A ได้ 2 Acetyl CoA และปฏิกิริยานี้จะได้ CO<sub>2</sub> และมีการสร้าง NADH” ซึ่งนักเรียนมีการนำความจริงทั่วไปมาใช้เป็นการอ้างเหตุผลและมีการนำเหตุผลย่อย ๆ มารวมกันเพื่อนำไปสู่การสรุปผลได้เหมาะสมตามสถานการณ์แต่ได้เพียงทางเดียว แสดงให้เห็นว่า RE อยู่ในระดับ ดี

### 1.2 การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (ST: System Thinking) กลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร

การใช้วิธีคิดเชิงระบบของกลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร มีรายละเอียดการวิเคราะห์และการประเมินการให้ระดับคุณภาพการใช้วิธีคิดเชิงระบบ จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ ดังนี้

การวิเคราะห์ ST การเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ ในขั้นการสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนระดมความคิดภายในกลุ่มเพื่อพิจารณาหาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาให้ได้มากที่สุด (อย่างน้อย 2 วิธี) โดยต้องเป็นไปตามความต้องการและเงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึง จากนั้นเลือกวิธีการที่ใช้แก้ไขปัญหามีเพียง 1 วิธี พร้อมบอกเหตุผลที่เลือก พบว่า นักเรียนกลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ 1) ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ได้แก่ ไกลโคไลซิส การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์เอ และวัฏจักรเครบส์ โดยเริ่มจากการรวม Glucose, 2ATP, และ

2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> เพื่อสร้าง 2 pyruvate จากนั้นใช้ Coenzyme A และ NADH ในกระบวนการต่อเนื่องจนได้ 2 Acetyl CoA วัฏจักรเครบส์ทำให้เกิด ATP, NADH และ FADH<sub>2</sub> สะท้อนถึงการคิดเชิงระบบและการแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน

จากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการโดยครูถามเพิ่มเติมในประเด็น “หากมี Glucose 5 โมเลกุล จะได้พลังงาน ATP เท่าไหร่”

แดนตอบว่า “ตอนผมไปถึงวัฏจักรเครบส์ ผมลองรวมคะแนนที่เปรียบเสมือนพลังงาน ATP เท่ากับ 32 ครั้ง”

ปานตอบเสริมว่า “ใช่ครับ แต่ถ้าเราเอาค่าพลังงาน ของ NADH เปลี่ยนจาก 2.5 เป็น 3 และค่าพลังงานของ FADH<sub>2</sub> เปลี่ยนจาก 1.5 เป็น 2 เราจะได้ ATP เท่ากับ 38 ครั้ง”

บอมตอบเสริมว่า “ถ้าเรายึดตามที่ปานพูดเมื่อมี Glucose 5 โมเลกุล เราจะได้ ATP เท่ากับ 38\*5 ครั้ง”

จากคำตอบที่นักเรียนตอบมาทั้งจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและจากการสัมภาษณ์นักเรียนสามารถทำความเข้าใจ วิเคราะห์และเชื่อมโยงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันและกัน จนเกิดผลในภาพรวมได้หลากหลายประเด็น แสดงให้เห็นว่า ST อยู่ในระดับ ดีมาก

1.3 การใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD: Making judgments and decisions) กลุ่มคนตั้งเมืองอุดร

การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจมีสมรรถนะย่อยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ ในชั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ประกอบด้วย 1) วิเคราะห์และประเมินการกล่าวอ้าง ข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้ง และความเชื่อ (MD-E) 2) วิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญ (MD-A) 3) สังเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลกับข้อโต้แย้ง (MD-S) 4) ตีความหมายข้อมูลและทำการหาข้อสรุปซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด (MD-I) และ 5) การสะท้อนผลประสบการณ์และการเรียนรู้อย่างมีวิจารณญาณ (MD-R) โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์และประเมินการให้ระดับคุณภาพของการใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ ดังนี้

การวิเคราะห์ MD การเล่นเกมกระดานการทายใจระดับเซลล์ เป็นการตีความสมรรถนะย่อย MD-E, MD-A, และ MD-S, ส่วนประเด็นย่อย MD-I และ MD-R จะประเมินจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยนักเรียนกลุ่ม คนตั้งเมืองอุดร มีระดับคุณภาพสมรรถนะย่อย ดังนี้

1) MD-E: วิเคราะห์และประเมินการกล่าวอ้าง ข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้งและความเชื่อ

เนื่องจากนักเรียนกลุ่ม คนตั้งเมืองอุดร ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ โดยเริ่มจากการใช้การ์ดพื้นฐาน ได้แก่ Glucose, 2ATP และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> เพื่อสร้าง 2 pyruvate ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็น ATP 2 โมเลกุล และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> จากนั้นใช้ 2CO<sub>2</sub>, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> และ Coenzyme A เพื่อสร้าง

2 Acetyl CoA โดยกระบวนการนี้เกิดในไมโทคอนเดรีย ต่อเนื่องด้วยวัฏจักรเครบส์ที่เริ่มจากแอซิติลโคเอนไซม์เอรวมกับการดออกซาโลแอซิติค (Oxaloacetic acid) จนเกิดกรดซิตริก (citric acid) ซึ่งเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับในวัฏจักรเครบส์ ผลลัพธ์ได้เป็น ATP, NADH และ  $FADH_2$  นักเรียนสามารถวิเคราะห์และประเมินหลักฐานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และประเมินจากหลักฐาน มีการแสดงความเชื่อเกี่ยวกับเหตุผลแสดงให้เห็นว่า MD-E นักเรียนอยู่ในระดับ ดี

2) MD-A: วิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญ เนื่องจากนักเรียนมีการระดมความคิดภายในกลุ่มและตัดสินใจเลือก คือ ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการเท่านั้น จึงจะสามารถสร้าง ATP ได้ โดยเหตุผลว่าเมื่อนำคาร์ดพื้นฐานมาสร้างคอมโบ ได้แก่ 1) Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 2) 2 pyruvate, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2CO<sub>2</sub>, 2Coenzyme A จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 Acetyl CoA ในขั้นตอนนี้จะได้ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 3) 2 Acetyl CoA, 4CO<sub>2</sub>, 2FADH<sub>2</sub> จะได้ผลลัพธ์ คือ วัฏจักรเครบส์ ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP, 6NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2FADH<sub>2</sub> แสดงให้เห็นว่านักเรียนนักเรียนสามารถประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญเกี่ยวกับปัญหาได้อย่างหลากหลาย แสดงให้เห็นว่า MD-A นักเรียนอยู่ในระดับ ดี

3) MD-S: สังเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลกับข้อโต้แย้ง การวิเคราะห์ MD-S จากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ ในขั้นขยายความรู้ (Elaboration) มาพิจารณาว่านักเรียนสามารถที่จะสังเคราะห์และสร้างการเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศ เหตุผลและข้อโต้แย้งต่าง ๆ เกี่ยวกับวิธีการแก้ไขปัญหา

การสังเคราะห์และสร้างการเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศเกี่ยวกับขั้นตอนในการทำโอเอซิสในประเด็นที่ว่า ให้นักเรียนวางแผนในการวาดภาพสถานการณ์เป็นฉาก พร้อมทั้งบอกขั้นตอนการแก้ไขปัญหาหาพอสังเขป พบว่า ทำตามขั้นตอนของกระบวนการเท่านั้น จึงจะสามารถสร้าง ATP ได้

จากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการโดยครูถามเพิ่มเติมในประเด็น “นักเรียนคิดว่า สิ่งมีชีวิตจะนำเอาพลังงานงานที่อยู่ในรูปของ NADH และ  $FADH_2$  ไปใช้ได้เลยหรือไม่อย่างไร ”

ระฆังตอบ “อ้อ ขอตอบทั้งได้และไม่ได้ค่ะเพราะมีสิ่งมีชีวิตบางอย่างสามารถใช้ได้และไม่สามารถใช้ได้ และในส่วนที่ใช้ไม่ได้จะต้องผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้อยู่ในรูปพลังงาน ATP จึงจะใช้ได้ค่ะ”

จากคำตอบที่นักเรียนตอบมานักเรียนสามารถระบุสารสนเทศเกี่ยวกับปัญหาได้และสามารถสร้างการเชื่อมโยงได้ แสดงให้เห็นว่า MD-S อยู่ในระดับ ดี

4) MD-I: ตีความหมายข้อมูลและทำการหาข้อสรุปซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด การวิเคราะห์ MD-I การเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์โดยนักเรียนจะประเมินคะแนน ที่เปรียบเสมือนพลังงาน ATP ที่ได้จากการหายใจระดับเซลล์ พบว่า กลุ่มคนดังเมืองอุดร มีทุกประเด็นที่ตรงตาม

เงื่อนไขทุกข้อซึ่งนักเรียนสามารถตีความหมายของสารสนเทศและหาข้อสรุปได้ แสดงให้เห็นว่า MD-I อยู่ในระดับ ดี

5) MD-R: การสะท้อนผลประสบการณ์และการเรียนรู้อย่างมีวิจารณญาณ การวิเคราะห์ MD-R มาจากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ ในขั้นประเมิน (Evaluation) โดยนักเรียนแต่ละกลุ่ม บันทึกผลทดสอบและสรุปผลจากการทำกิจกรรมเป็นการวิเคราะห์ว่านักเรียนสามารถนำเสนอต้นแบบการแก้ปัญหาโดยมีการสะท้อนผลอย่างมีวิจารณญาณในประสบการณ์การเรียนรู้และกระบวนการเรียนรู้ จากประเด็นให้นักเรียนกลุ่ม คนตั้งเมืองอุดร ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ 1) ต้องทำตามขั้นตอนกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มจากไกลโคไลซิส ใช้ Glucose, 2ATP และ  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  เพื่อสร้าง 2 pyruvate ต่อด้วยการสร้าง 2 Acetyl CoA ผ่านการใช้  $2\text{CO}_2$ ,  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  และ Coenzyme A จากนั้นเข้าสู่วัฏจักรเครบส์เพื่อผลิต ATP, NADH และ  $\text{FADH}_2$  นักเรียนแสดงความเข้าใจในกระบวนการและสะท้อนผลอย่างครบถ้วนตามเงื่อนไข แสดงถึงการคิดเชิงวิเคราะห์และความเข้าใจเชิงลึกในเนื้อหา ซึ่งนักเรียนสะท้อนทุกประเด็นที่ตรงตามเงื่อนไขทุกข้อแสดงให้เห็นว่า MD-R อยู่ในระดับ ดี

#### 1.4 การแก้ปัญหา (SP: Solving problem) กลุ่ม คนตั้งเมืองอุดร

การแก้ไขปัญห ในขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และขั้นประเมินความรู้ (Evaluation) มีสมรรถนะย่อยของการแก้ไขปัญห ประกอบด้วย 1) การแก้ปัญหที่ไม่คุ้นเคยได้หลายแบบทั้งโดยแนวทางที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและแนวทางที่แตกต่าง (SP-S) และ 2) ระบุและตั้งคำถามที่สำคัญที่ทำให้เกิดความกระจ่างแก่มุมมองต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่มุมมองทางออกที่ดีกว่า (SP -I) ซึ่งจะตีความจากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์และจากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์และประเมิน การให้ระดับคุณภาพของการแก้ไขปัญหในสมรรถนะย่อย ดังนี้

1) SP-S การแก้ปัญหที่ไม่คุ้นเคยได้หลายแบบทั้งโดยแนวทางที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและแนวทางที่แตกต่าง

จากประเด็นนักเรียนวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการเท่านั้น จึงจะสามารถสร้าง ATP ได้ โดยเหตุผลว่าเมื่อนำคาร์ดพื้นฐานมาสร้างคอมโบได้แก่ 1) Glucose, 2ATP,  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP และ  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  2) 2 pyruvate,  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$ ,  $2\text{CO}_2$ , 2Coenzyme A จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 Acetyl CoA ในขั้นตอนนี้จะได้  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  3) 2 Acetyl CoA,  $4\text{CO}_2$ ,  $2\text{FADH}_2$  จะได้ผลลัพธ์ คือ วัฏจักรเครบส์ ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP,  $6\text{NADH}^+\text{H}^+$ ,  $2\text{FADH}_2$  แสดงให้เห็นว่า SP-S อยู่ในระดับ ดี

2) SP-I ระบุและตั้งคำถามที่สำคัญที่ทำให้เกิดความกระจ่างแก่มุมมองต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่มุมมองทางออกที่ดีกว่า

จากการระดมความคิดภายในกลุ่มและตัดสินใจเลือก ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการเท่านั้น จึงจะสามารถสร้าง ATP ได้ โดยเหตุผลว่าเมื่อนำคาร์ตพื้นฐานมาสร้างคอมโบ ได้แก่ 1) Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 2) 2 pyruvate, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2CO<sub>2</sub>, 2Coenzyme A จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 Acetyl CoA ในขั้นตอนนี้จะได้ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 3) 2 Acetyl CoA, 4CO<sub>2</sub>, 2FADH<sub>2</sub> จะได้ผลลัพธ์ คือ วิถีจักรเครบส์ ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP, 6NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2FADH<sub>2</sub> และนักเรียนจะประเมินผลวิธีคิดของกลุ่มตนเองว่าตรงตามความต้องการและเงื่อนไขที่ตั้งไว้ในตอนแรกแสดงให้เห็นว่า SP-I อยู่ในระดับ ดี

ตาราง 1 ผลการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของกลุ่มที่ 1 กลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร

การดำเนินการ	คะแนนการคิดแก้ปัญหา	ระดับคุณภาพ
1) การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE)		
RE ครั้งที่ 1	1	พอใช้
RE ครั้งที่ 2	2	
2) การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (ST)	3	ดีมาก
3) การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD)		
MD-E	2	ดี
MD-A	2	
MD-S	2	
MD-I	2	
MD-R	2	
4) การแก้ปัญหา (SP)		
SP-S	2	ดี
SP-I	2	

จากตาราง 1 พบว่า นักเรียนกลุ่มที่ 1 กลุ่ม คนดั่งเมืองอุดร เกิดสมรรถนะการคิดแก้ปัญหาโดยมีสมรรถนะย่อย ดังนี้ 1) การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE) อยู่ในระดับ พอใช้ 2) การคิดเชิงระบบ (ST) อยู่ในระดับ ดีมาก 3) การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD) อยู่ในระดับ ดี 4) การแก้ปัญหา (SP) อยู่ในระดับ ดี

2. สมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาของสถานการณ์ที่เลือกมานำเสนอ กลุ่มที่ 2 กลุ่ม ชาวอิสานสุดปัง

กลุ่ม ชาวอิสานสุดปัง มีสมาชิก 12 คน ได้แก่ เมย์ แดงโม ครีม ปอ ดีดี อาร์ม เฟิร์น เกอร์ ภูเขา บอส ฟ้า และบาส ซึ่งสมาชิกในกลุ่มเป็นเพื่อนกลุ่มเดียวกันที่มักทำงานร่วมกันเมื่อมีกิจกรรมกลุ่ม ทำให้สมาชิกในกลุ่มส่วนใหญ่กล้าพูดแสดงความคิดเห็นของตนเอง มีส่วนร่วมในกลุ่มและสมาชิกส่วนใหญ่เป็นคนกล้าแสดงออก กล้าซักถามเมื่อมีคำถามและมีส่วนร่วมในชั้นเรียนเป็นอย่างดี เมื่อนักเรียนได้ผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม ทั้ง 5 ชั้น ในเป้าหมายในการเล่นต้องนำทรัพยากรที่มีอยู่มาสร้าง ATP ให้ได้มากที่สุดโดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ของคำตอบว่าถูกต้องหรือไม่และตรงตามความต้องการหรือไม่ ซึ่งนักเรียนกลุ่มชาวอิสานสุดปัง ได้ใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจในการแก้ปัญหา คือ “ สิ่งสำคัญในการสร้าง ATP จะต้องมีการใช้ Glucose และมีการใช้ 2ATP และได้ผลิตภัณฑ์ คือ 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> โดยเหตุผลว่าเมื่อ มีส่วนประกอบทั้งสามอย่างครบจึงจะสามารถได้ผลิตภัณฑ์ คือ 2 pyruvate” และนักเรียนได้ยึดการใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจนี้เป็นต้นแบบในการแก้ปัญหาจนได้เป็นวิธีการ

การตีความสมรรถนะการคิดแก้ปัญหานักเรียน จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ โดยจะอธิบายผลการตีความเพื่อประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาที่ละองค์ประกอบดังต่อไปนี้

2.1 การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE: Reasoning Effectively) กลุ่ม ชาวอิสานสุดปัง

การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ ของกลุ่ม ชาวอิสานสุดปัง มีรายละเอียดการวิเคราะห์และการประเมินการให้ระดับคุณภาพการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาและการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ ดังนี้

การวิเคราะห์ครั้งที่ 1 ในชั้นการสำรวจและค้นหา ประเด็นที่นักเรียนการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อคำถามของครู “หากต้องการสร้าง ATP จะต้องใช้ทรัพยากรอะไรบ้างและอย่างไร” โดยนักเรียนมีการทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการสร้าง ATP จากเกมกระดานที่เล่น พบว่า นักเรียนมีการนำเอาการ์ดพื้นฐาน ได้แก่ Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> มารวมกันเพื่อสร้าง 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้ได้ผลลัพธ์ คือ ATP 2 โมเลกุลและได้ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ซึ่งมีการใช้การสังเกตการใช้ประสบการณ์บอกลักษณะกลุ่มเป้าหมาย แต่ให้เหตุผลสอดคล้องกับสถานการณ์เพียงบางส่วน แสดงให้เห็นว่า RE อยู่ในระดับ พอใช้

การวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ในชั้นการสำรวจและค้นหา ประเด็นที่นักเรียนการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อคำถามของครู “หากต้องการสร้าง ATP จะต้องใช้ทรัพยากรอะไรบ้างและอย่างไร”



พบว่า นักเรียนกลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง “เมื่อเราได้อะตอม 2 pyruvate แล้วเราจะต้องใช้  $2CO_2$ ,  $2NADH^+H^+$ , Coenzyme A เพื่อมาสร้าง 2 Acetyl CoA เนื่องจากกรดไพรูวิกที่เกิดจากไกลโคไลซิสจะเข้าสู่เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียและจะทำปฏิกิริยากับ Coenzyme A ได้ 2 Acetyl CoA และปฏิกิริยานี้จะได้  $CO_2$  และมีการสร้าง NADH”

ซึ่งนักเรียนมีการนำความจริงทั่วไปมาใช้ในการอ้างเหตุผลและมีการนำเหตุผลย่อย ๆ มารวมกันเพื่อนำไปสู่การสรุปผลได้เหมาะสมตามสถานการณ์แต่ได้เพียงทางเดียว แสดงให้เห็นว่า RE อยู่ในระดับ ดี

## 2.2 การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (ST: System Thinking) กลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง

การใช้วิธีคิดเชิงระบบของกลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง มีรายละเอียดการวิเคราะห์และการประเมินการให้ระดับคุณภาพการใช้วิธีคิดเชิงระบบ จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ ดังนี้

1) การวิเคราะห์ ST การเล่นเกมกระดานการทายใจระดับเซลล์ ในขั้นการสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนระดมความคิดภายในกลุ่มเพื่อพิจารณาหาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาให้ได้มากที่สุด (อย่างน้อย 2 วิธี) โดยต้องเป็นไปตามความต้องการและเงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึง จากนั้นเลือกวิธีการที่ใช้แก้ไขปัญหาเพียง 1 วิธี พร้อมบอกเหตุผลที่เลือก พบว่า นักเรียนกลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ 1) ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการทายใจระดับเซลล์ ได้แก่ ไกลโคไลซิส การสร้างออกซิไทลโคเอนไซม์เอ วิตามินเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เพื่อนำไปสู่การสร้างพลังงาน ATP ได้สำเร็จ ขั้นตอนประกอบด้วยการใช้คาร์ดพื้นฐาน เช่น Glucose, 2ATP,  $2NADH^+H^+$  เพื่อสร้าง 2 pyruvate ตามด้วย 2 Acetyl CoA และดำเนินกระบวนการในวิตามินเครบส์จนได้ ATP, NADH และ  $FADH_2$  สะท้อนให้เห็นถึงการคิดเชิงระบบและการแก้ปัญหายังเป็นขั้นตอน

จากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการโดยครูถามเพิ่มเติมในประเด็น “หากมี Glucose 10 โมเลกุล จะได้พลังงาน ATP เท่าไหร่”

เมย์ตอบว่า “พอถึงขั้นตอนของ วิตามินเครบส์ หนูลองรวมคะแนนที่เปรียบเสมือน พลังงาน ATP เท่ากับ 32 คะแนน ”

ดีดี ตอบเสริมว่า “ ถ้ามีน้ำตาล 10 โมเลกุล พอสิ้นสุดกระบวนการก็จะพลังงาน ATP ประมาณ  $32 \times 10$  คะแนน ”

อาร์มตอบเสริมว่า “ ก่อนที่จะได้ ATP สุทธิ ต้องผ่านกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนก่อนครับ ซึ่งเปรียบเสมือนการเข้าธนาคารแปลงสกุลเงินครับ ”

จากคำตอบที่นักเรียนตอบมาทั้งจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และการสัมภาษณ์นักเรียนสามารถทำความเข้าใจ วิเคราะห์และเชื่อมโยงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันและกัน จนเกิดผลในภาพรวมได้หลากหลายประเด็น แสดงให้เห็นว่า ST อยู่ในระดับ ดีมาก



2) การใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD: Making judgments and decisions) กลุ่ม  
ชาวอีสานสุดปัง

การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจมีสมรรถนะย่อยของการคิดอย่างวิจ  
และการตัดสินใจ ในชั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ประกอบด้วย 1) วิเคราะห์และประเมินการกล่าว  
อ้าง ข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้ง และความเชื่อ (MD-E) 2) วิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินมุมมองทางเลือกที่  
สำคัญ (MD-A) 3) สังเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลกับข้อโต้แย้ง (MD-S) 4) ตีความหมายข้อมูลและทำการหาข้อสรุป  
ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด (MD-I) และ 5) การสะท้อนผลประสบการณ์และการเรียนรู้อย่างมี  
วิจารณญาณ (MD-R) โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์และประเมินการให้ระดับคุณภาพของการใช้วิจารณญาณและ  
การตัดสินใจ ดังนี้

การวิเคราะห์ MD การเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ เป็นการตีความสมรรถนะย่อย  
MD-E, MD-A, และ MD-S, ส่วนประเด็นย่อย MD-I และ MD-R จะประเมินจากแบบประเมินสมรรถนะการคิด  
อย่างมีวิจารณญาณโดยนักเรียนกลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง มีระดับคุณภาพสมรรถนะย่อย ดังนี้

1) MD-E: วิเคราะห์และประเมินการกล่าวอ้าง ข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้งและความ  
เชื่อ เนื่องจากนักเรียนกลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา  
1 วิธี คือ ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์  
เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทออิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลลัพธ์พลังงาน ATP ได้ ซึ่งเป็นการ  
วิเคราะห์และประเมินจากหลักฐาน มีการแสดงความเชื่อเกี่ยวกับเหตุผลแสดงให้เห็นว่า MD-E นักเรียนอยู่ในระดับ  
ดี

2) MD-A: วิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญ เนื่องจาก  
นักเรียนมีการระดมความคิดภายในกลุ่มและตัดสินใจเลือก คือ โดยทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับ  
เซลล์ เริ่มจากไกลโคไลซิส ใช้ Glucose, 2ATP และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> เพื่อสร้าง 2 pyruvate ซึ่งให้ ATP 2 โมเลกุลและ  
2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> จากนั้นใช้ 2CO<sub>2</sub>, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> และ Coenzyme A เพื่อสร้าง 2 Acetyl CoA ใน ไมโทคอนเด  
รีย ต่อด้วยวัฏจักรเครบส์ที่เริ่มจากแอสิติลโคเอนไซม์เอรวมกับกรดออกซาโลแอสติค จนได้กรดซิตริก และดำเนิน  
กระบวนการต่อเนื่องจนได้ ATP, NADH และ FADH<sub>2</sub> นักเรียนสามารถประเมินและเปรียบเทียบทางเลือกในการ  
แก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่านักเรียนนักเรียนสามารถประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญเกี่ยวกับ  
ปัญหาได้อย่างหลากหลาย แสดงให้เห็นว่า MD-A นักเรียนอยู่ในระดับ ดี

3) MD-S: สังเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลกับข้อโต้แย้ง การวิเคราะห์ MD-S จากการเล่น  
เกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ ในชั้นขยายความรู้ (Elaboration) มาพิจารณาว่านักเรียนสามารถที่จะ  
สังเคราะห์และสร้างการเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศ เหตุผลและข้อโต้แย้งต่าง ๆ เกี่ยวกับวิธีการแก้ไขปัญหา การ  
สังเคราะห์และสร้างการเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศเกี่ยวกับขั้นตอนในการทำโอเอซิสในประเด็นที่ว่า ให้นักเรียน

วางแผนในการวาดภาพสถานการณ์เป็นฉาก พร้อมทั้งบอกขั้นตอนการแก้ไขปัญหาพอสั่งเซป พบว่า ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอสिटิลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลลัพธ์พลังงาน ATP ได้

จากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการโดยครูถามเพิ่มเติมในประเด็น “นักเรียนคิดว่า สิ่งมีชีวิตจะนำเอาพลังงานงานที่อยู่ในรูปของ NADH และ FADH<sub>2</sub> ไปใช้ได้เลยหรือไม่อย่างไร ”

แดงตอบ “อ้อ ไม่ได้ค่ะเพราะมีสิ่งมีชีวิตไม่สามารถใช้ได้จะต้องผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้อยู่ในรูปพลังงาน ATP จึงจะใช้ได้ค่ะ” จากคำตอบที่นักเรียนตอบมานักเรียนสามารถระบุสารสนเทศเกี่ยวกับปัญหาได้และสามารถสร้างการเชื่อมโยงได้ แสดงให้เห็นว่า MD-S อยู่ในระดับ พอใช้

4) MD-I: ตีความหมายข้อมูลและทำการหาข้อสรุปซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด การวิเคราะห์ MD-I การเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์โดยนักเรียนจะประเมินคะแนนที่เปรียบเสมือนพลังงาน ATP ที่ได้จากการหายใจระดับเซลล์ พบว่า กลุ่มชาวอิสานสุดปัง มีทุกประเด็นที่ตรงตามเงื่อนไขทุกข้อซึ่งนักเรียนสามารถตีความหมายของสารสนเทศและหาข้อสรุปได้ แสดงให้เห็นว่า MD-I อยู่ในระดับ ดี

5) MD-R: การสะท้อนผลประสบการณ์และการเรียนรู้อย่างมีวิจารณญาณ การวิเคราะห์ MD-R มาจากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ ในขั้นประเมิน (Evaluation) โดยนักเรียนแต่ละกลุ่มบันทึกผลทดสอบและสรุปผลจากการทำกิจกรรมเป็นการวิเคราะห์ว่านักเรียนสามารถนำเสนอต้นแบบการแก้ปัญหาโดยมีการสะท้อนผลอย่างมีวิจารณญาณในประสบการณ์การเรียนรู้และกระบวนการเรียนรู้ จากประเด็นให้นักเรียนกลุ่ม ชาวอิสานสุดปัง ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ โดยเลือกวิธีแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับกระบวนการไกลโคไลซิส การสร้างแอสिटิลโคเอนไซม์เอ วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน นักเรียนนำการ์ดพื้นฐาน เช่น Glucose, 2ATP, และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> มาสร้าง pyruvate พร้อมกับได้ ATP 2 โมเลกุลและ NADH 2 โมเลกุล จากนั้น pyruvate ถูกนำไปสร้าง Acetyl CoA ด้วย Coenzyme A และ CO<sub>2</sub> ซึ่งเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ที่เกิดการสลายสารประกอบคาร์บอนอย่างต่อเนื่อง วัฏจักรนี้ให้ผลเป็น ATP, NADH, และ FADH<sub>2</sub> ที่เพียงพอสำหรับกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน นักเรียนสามารถสะท้อนการเรียนรู้ทุกประเด็นครบถ้วน รวมถึงประเมินผลอย่างมีเหตุผลและเชื่อมโยงกับกระบวนการทั้งหมด ซึ่งนักเรียนสะท้อนทุกประเด็นที่ตรงตามเงื่อนไขทุกข้อ แสดงให้เห็นว่า MD-R อยู่ในระดับ ดี

### 2.3 การแก้ปัญหา (SP: Solving problem) กลุ่ม ชาวอิสานสุดปัง

การแก้ไขปัญหา ในขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และขั้นประเมินความรู้ (Evaluation) มีสมรรถนะย่อยของการแก้ปัญหา ประกอบด้วย 1) การแก้ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยได้หลายแบบทั้งโดยแนวทางที่ได้รับ การยอมรับทั่วไปและแนวทางที่แตกต่าง (SP-S) และ 2) ระบุและตั้งคำถามที่สำคัญที่ทำให้เกิดความกระจ่างแก่

มุมมองต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่มุมมองทางออกที่ดีกว่า (SP -I) ซึ่งจะตีความจากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์และจากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์และประเมินการให้ระดับคุณภาพของการแก้ไขปัญหาในสมรรถนะย่อย ดังนี้

1) SP-S การแก้ไขปัญหาที่ไม่คุ้นเคยได้หลายแบบทั้งโดยแนวทางที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและแนวทางที่แตกต่าง

จากประเด็นนักเรียนวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหามาได้มา 1 วิธี คือ ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอกซิทีลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลิตภัณฑ์พลังงาน ATP ได้ โดยเหตุผลว่าเมื่อนำคาร์ดพื้นฐานมาสร้างคอมโบ ได้แก่ 1) Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP และ2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 2) 2 pyruvate, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2CO<sub>2</sub>, 2Coenzyme A จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 Acetyl CoA ในขั้นตอนนี้จะได้ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 3) 2 Acetyl CoA, 4CO<sub>2</sub>, 2FADH<sub>2</sub> จะได้ผลลัพธ์ คือ วัฏจักรเครบส์ ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP, 6NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2FADH<sub>2</sub> แสดงให้เห็นว่า SP-S อยู่ในระดับ ดี

2) SP-I ระบุและตั้งคำถามที่สำคัญที่ทำให้เกิดความกระจ่างแก่มุมมองต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่มุมมองทางออกที่ดีกว่า

จากการระดมความคิดภายในกลุ่มและตัดสินใจเลือก ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอกซิทีลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลิตภัณฑ์พลังงาน ATP ได้ โดยเหตุผลว่าเมื่อนำคาร์ดพื้นฐานมาสร้างคอมโบ ได้แก่ 1) Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP และ2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 2) 2 pyruvate, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2CO<sub>2</sub>, 2Coenzyme A จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 Acetyl CoA ในขั้นตอนนี้จะได้ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 3) 2 Acetyl CoA, 4CO<sub>2</sub>, 2FADH<sub>2</sub> จะได้ผลลัพธ์ คือ วัฏจักรเครบส์ ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP, 6NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2FADH<sub>2</sub> และนักเรียนจะประเมินผลวิธีคิดของกลุ่มตนเองว่าตรงตามความต้องการและเงื่อนไขที่ตั้งไว้ในตอนแรก แสดงให้เห็นว่า SP-I อยู่ในระดับ ดี

ตาราง 2 ผลการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหากลุ่มที่ 2 กลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง

การดำเนินการ	คะแนนการคิดแก้ปัญหา	ระดับคุณภาพ
1) การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE)		
RE ครั้งที่ 1	1	พอใช้
RE ครั้งที่ 2	2	
2) การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (ST)	3	ดีมาก
3) การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD)		

การดำเนินการ	คะแนนการคิดแก้ปัญหา	ระดับคุณภาพ
MD-E	2	ดี
MD-A	2	
MD-S	1	
MD-I	2	
MD-R	2	
4) การแก้ปัญหา (SP)		
SP-S	2	ดี
SP-I	2	

จากตาราง 2 พบว่า นักเรียนกลุ่มที่ 1 กลุ่ม ชาวอีสานสุดปัง เกิดสมรรถนะการคิดแก้ปัญหาโดยมีสมรรถนะย่อย ดังนี้ 1) การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE) อยู่ในระดับ พอใช้ 2) การคิดเชิงระบบ (ST) อยู่ในระดับ ดีมาก 3) การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD) อยู่ในระดับ ดี 4) การแก้ปัญหา (SP) อยู่ในระดับ ดี

3. สมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาของสถานการณ์ที่เลือกมานำเสนอ กลุ่มที่ 2 กลุ่ม อยู่แล้วรวย

กลุ่ม อยู่แล้วรวย มีสมาชิก 12 คน ได้แก่ แพ้ม ยืน ทิพย์ ปี่ เอฟ พีฟ่า เพริน ทอง กล้า ปอน น้ำ และ มั่น ซึ่งสมาชิกในกลุ่มเป็นเพื่อนกลุ่มเดียวกันที่มักทำงานร่วมกันเมื่อมีกิจกรรมกลุ่ม ทำให้สมาชิกในกลุ่มส่วนใหญ่กล้าพูดแสดงความคิดเห็นของตนเอง มีส่วนร่วมในกลุ่มและสมาชิกส่วนใหญ่เป็นคนกล้าแสดงออก กล้าซักถามเมื่อมีคำถามและมีส่วนร่วมในชั้นเรียนเป็นอย่างดี เมื่อนักเรียนได้ผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม ทั้ง 5 ชั้น ในเป้าหมายในการเล่นต้องนำทรัพยากรที่มีอยู่มาสร้าง ATP ให้ได้มากที่สุดโดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ของคำตอบว่าถูกต้องหรือไม่และตรงตามความต้องการหรือไม่ ซึ่งนักเรียนกลุ่มอยู่แล้วรวยได้ใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจในการแก้ปัญหา คือ “ Glucose เป็นสารตั้งต้นของการผลิตพลังงาน ATP เหตุผลว่า ในการสร้างพลังงาน ATP ต้องมีส่วนประกอบ คือ Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> ทั้งสามอย่างครบจึงจะสามารถได้ผลิตภัณฑ์ คือ 2 pyruvate” และนักเรียนได้ยึดการใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจนี้เป็นต้นแบบในการแก้ปัญหานั้นได้เป็นวิธีการ

การตีความสมรรถนะการคิดแก้ปัญหาของนักเรียน จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ โดยจะอธิบายผลการตีความเพื่อประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาที่เล็งองค์ประกอบดังต่อไปนี้

3.1 การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE: Reasoning Effectively) กลุ่ม อยู่แล้วรวย การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ ของกลุ่ม อยู่แล้วรวย มีรายละเอียดการวิเคราะห์และการประเมินการให้ระดับคุณภาพการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาและการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ ดังนี้

การวิเคราะห์ครั้งที่ 1 ในขั้นการสำรวจและค้นหา ประเด็นที่นักเรียนการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อคำถามของครู “หากต้องการสร้าง ATP จะต้องใช้ทรัพยากรอะไรบ้างและอย่างไร” โดยนักเรียนมีการทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการสร้าง ATP จากเกมกระดานที่เล่น พบว่า นักเรียนมีการนำเอาการ์ดพื้นฐาน ได้แก่ Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup> มารวมกันเพื่อสร้าง 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้ได้ผลลัพธ์ คือ ATP 4 โมเลกุล แต่เนื่องจากการสร้าง pyruvate จำเป็นต้องมีการใช้พลังงาน ATP 2 โมเลกุล จึงทำให้ได้พลังงาน ATP สุทธิเพียงแค่ 2 โมเลกุล และได้ 2NADH<sup>+</sup> ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ซึ่งมีการใช้การสังเกตการใช้ประสบการณ์บอกลักษณะกลุ่มเป้าหมาย แต่ให้เหตุผลสอดคล้องกับสถานการณ์เพียงบางส่วน แสดงให้เห็นว่า RE อยู่ในระดับ พอใช้

การวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ในขั้นการสำรวจและค้นหา ประเด็นที่นักเรียนการให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อคำถามของครู “หากต้องการสร้าง ATP จะต้องใช้ทรัพยากรอะไรบ้างและอย่างไร” พบว่า นักเรียนกลุ่ม อยู่แล้วรวย “เมื่อเราได้ 2 pyruvate มีการเติม NAD<sup>+</sup> เรียกขั้นตอนนี้ว่า pyruvate Dehydrogenase แล้วเราจะต้องใช้การ์ด 2CO<sub>2</sub>, 2NADH<sup>+</sup>, Coenzyme A เพื่อมาสร้าง 2 Acetyl CoA เนื่องจากกรดไพรูวิกที่เกิดจากไกลโคไลซิสจะเข้าสู่เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียและจะทำปฏิกิริยากับ Coenzyme A ได้ 2 Acetyl CoA และปฏิกิริยานี้จะได้ CO<sub>2</sub> และมีการสร้าง NADH” ซึ่งนักเรียนมีการนำความจริงทั่วไปมาใช้เป็นการอ้างเหตุผลและมีการนำเหตุผลย่อย ๆ มารวมกันเพื่อนำไปสู่การสรุปผลได้เหมาะสมตามสถานการณ์แต่ได้เพียงทางเดียวแสดงให้เห็นว่า RE อยู่ในระดับ ดี

3.2 การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (ST: System Thinking) กลุ่ม อยู่แล้วรวย การใช้วิธีคิดเชิงระบบของกลุ่ม อยู่แล้วรวย มีรายละเอียดการวิเคราะห์และการประเมินการให้ระดับคุณภาพการใช้วิธีคิดเชิงระบบ จะตีความจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ ดังนี้

การวิเคราะห์ ST การเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ ในขั้นการสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนระดมความคิดภายในกลุ่มเพื่อพิจารณาหาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาให้ได้มากที่สุด (อย่างน้อย 2 วิธี) โดยต้องเป็นไปตามความต้องการและเงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึง จากนั้นเลือกวิธีการที่ใช้แก้ปัญหามากที่สุด 1 วิธี พร้อมบอกเหตุผลที่เลือก พบว่า นักเรียนกลุ่ม อยู่แล้วรวย ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ 1) นักเรียนเลือกวิธีการทำตามกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์เอ วิตามินเค และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ใน

กระบวนการไกลโคไลซิส กลูโคส (C6) ถูกสลายเป็นไพรูเวต (C3) 2 โมเลกุล ที่ cytosol ได้ผลิตภัณฑ์ 2 Pyruvate, 2ATP (สุทธิ), 2NADH, และ 2H<sub>2</sub>O จากนั้นไพรูเวตจะถูกเปลี่ยนเป็น Acetyl CoA โดยปล่อย CO<sub>2</sub> และเกิด NADH หลังจากนั้น Acetyl CoA จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ โดยรวมกับกรดออกซาลอแอซิดิก (C4) เกิดเป็นกรดซิตริก (C6) กรดซิตริกจะถูกเปลี่ยนแปลงในวัฏจักร จนได้กรดออกซาลอแอซิดิกกลับคืน พร้อมผลิต CO<sub>2</sub>, ATP, NADH และ FADH<sub>2</sub> กระบวนการนี้ให้สารพลังงานสูงที่นำไปใช้ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการสำรวจทางเลือกและวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม

จากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการโดยครูถามเพิ่มเติมในประเด็น “หากมี Glucose 15 โมเลกุล จะได้พลังงาน ATP เท่าไหร่”

มันตอบว่า “ขั้นตอนไกลโคไลซิส 1) Substrate phosphorylation ได้ 2 ATP 2) Oxidative phosphorylation ได้ 2 NADH = 2 x 3 = 6 ATP ขั้นตอนการสร้าง acetyl-CoA 1) Oxidative phosphorylation ได้ 2 NADH = 2 X 3 = 6 ATP วัฏจักรเครบส์ 1) Substrate level phosphorylation ได้ 2 ATP 2) Oxidative phosphorylation ได้ 6 NADH = 6 X 3 = 18 ATP และ 2 FADH, = 2x2 = 4 ATP รวมทั้งหมด 36 ATP ค่ะ”

พี่ฟ้า ตอบเสริมว่า “ถ้ามีน้ำตาล 15 โมเลกุล พอสิ้นสุดกระบวนการก็จะพลังงาน ATP ประมาณ 36\*15 ครีป”

จากคำตอบที่นักเรียนตอบมาทั้งจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและจากการสัมภาษณ์นักเรียนสามารถทำความเข้าใจ วิเคราะห์และเชื่อมโยงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันและกัน จนเกิดผลในภาพรวมได้หลากหลายประเด็น แสดงให้เห็นว่า ST อยู่ในระดับ ดีมาก

3.3 การใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD: Making judgments and decisions) กลุ่ม อยู่แล้ว รวย

การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจมีสมรรถนะย่อยของการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ ในชั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ประกอบด้วย 1) วิเคราะห์และประเมินการกล่าวอ้าง ข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้ง และความเชื่อ (MD-E) 2) วิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญ (MD-A) 3) สังเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลกับข้อโต้แย้ง (MD-S) 4) ตีความหมายข้อมูลและทำการหาข้อสรุปซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด (MD-I) และ 5) การสะท้อนผลประสบการณ์และการเรียนรู้อย่างมีวิจารณญาณ (MD-R) โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์และประเมินการให้ระดับคุณภาพของการใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ ดังนี้

การวิเคราะห์ MD การเล่นเกมกระดานการทายใจระดับเซลล์ เป็นการตีความสมรรถนะย่อย MD-E, MD-A, และMD-S, ส่วนประเด็นย่อย MD-I และ MD-R จะประเมินจากแบบประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยนักเรียนกลุ่ม อยู่แล้วรวย มีระดับคุณภาพสมรรถนะย่อย ดังนี้



1) MD-E: วิเคราะห์และประเมินการกล่าวอ้าง ข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้งและความเชื่อ เนื่องจากนักเรียนกลุ่ม อยู่แล้วรวย ได้เลือกพิจารณาวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอสทิลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลลัพธ์พลังงาน ATP ได้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และประเมินจากหลักฐาน มีการแสดงความเชื่อเกี่ยวกับเหตุผลแสดงให้เห็นว่า MD-E นักเรียนอยู่ในระดับ ดี

2) MD-A: วิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญ เนื่องจากนักเรียนมีการระดมความคิดภายในกลุ่มและตัดสินใจเลือกวิธีแก้ปัญหาโดยนำการ์ดพื้นฐาน ได้แก่ Glucose, 2ATP, และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> มารวมกันเพื่อเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งเป็นการสลายกลูโคส (C6) ให้เป็นไพรูเวต (C3) 2 โมเลกุล ใน cytosol ของเซลล์ โดยได้ผลิตภัณฑ์คือ 2 Pyruvate, 2ATP (สุทธิ), 2NADH, และ 2H<sub>2</sub>O จากนั้น pyruvate จะถูกเปลี่ยนเป็น Acetyl CoA โดยปล่อย CO<sub>2</sub> ออก 1 อะตอม และให้ e<sup>-</sup> แก่ NAD<sup>+</sup> กลายเป็น NADH ซึ่งสาร C2 ที่ได้จะจับกับ Coenzyme A เกิดเป็น Acetyl CoA และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ วัฏจักรนี้เริ่มต้นจากการรวม Acetyl CoA (C2) กับกรดออกซาโลแอสติก (C4) ได้กรดซิตริก (C6) ที่ถูกเปลี่ยนแปลงผ่านหลายขั้นตอนจนได้กรดออกซาโลแอสติกกลับมา โดยกระบวนการนี้ผลิต CO<sub>2</sub>, ATP, NADH, และ FADH<sub>2</sub> นักเรียนสามารถแสดงมุมมองทางเลือกที่หลากหลายและเชื่อมโยงกับเงื่อนไขปัญหาอย่างชัดเจน ซึ่งนักเรียนสามารถประเมินมุมมองทางเลือกที่สำคัญเกี่ยวกับปัญหาได้อย่างหลากหลาย แสดงให้เห็นว่า MD-A นักเรียนอยู่ในระดับ ดี

3) MD-S: สังเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลกับข้อโต้แย้ง การวิเคราะห์ MD-S จากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ ในขั้นขยายความรู้ (Elaboration) มาพิจารณาว่านักเรียนสามารถที่จะสังเคราะห์และสร้างการเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศ เหตุผลและข้อโต้แย้งต่าง ๆ เกี่ยวกับวิธีการแก้ไข้ปัญหา

การสังเคราะห์และสร้างการเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศเกี่ยวกับขั้นตอนในการทำโอเอซิสในประเด็นที่ว่า ให้นักเรียนวางแผนในการวาดภาพสถานการณ์เป็นฉาก พร้อมทั้งบอกขั้นตอนการแก้ไข้ปัญหามาพอสังเขป พบว่า ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอสทิลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลลัพธ์พลังงาน ATP ได้

จากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการโดยครูถามเพิ่มเติมในประเด็น “นักเรียนคิดว่า สิ่งมีชีวิตจะนำเอาพลังงานงานที่อยู่ในรูปของ NADH และ FADH<sub>2</sub> ไปใช้ได้เลยหรือไม่อย่างไร ”

แฟ้มตอบ “อ้อ ไม่ได้ครับเพราะมีสิ่งมีชีวิตบางจะสามารถใช้ได้จะต้องผ่านการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้อยู่ในรูปพลังงาน ATP จึงจะใช้ได้ครับ”

จากคำตอบที่นักเรียนตอบมานักเรียนสามารถระบุสารสนเทศเกี่ยวกับปัญหาได้และสามารถสร้างการเชื่อมโยงได้ แสดงให้เห็นว่า MD-S อยู่ในระดับ พอใช้



4) MD-I: ตีความหมายข้อมูลและทำการหาข้อสรุปซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด การวิเคราะห์ MD-I การเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์โดยนักเรียนจะประเมินคะแนนที่เปรียบเสมือนพลังงาน ATP ที่ได้จากการหายใจระดับเซลล์ พบว่า กลุ่มอยู่แล้วรวย มีทุกประเด็นที่ตรงตามเงื่อนไขทุกข้อซึ่งนักเรียนสามารถตีความหมายของสารสนเทศและหาข้อสรุปได้ แสดงให้เห็นว่า MD-I อยู่ในระดับดี

5) MD-R: การสะท้อนผลประสบการณ์และการเรียนรู้อย่างมีวิจารณญาณ การวิเคราะห์ MD-R จากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์ในขั้นประเมิน (Evaluation) แสดงว่านักเรียนกลุ่ม "อยู่แล้วรวย" สามารถบันทึกผลและสรุปกิจกรรมอย่างมีวิจารณญาณ โดยเลือกวิธีแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มจากการนำคาร์ดพื้นฐาน ได้แก่ Glucose, 2ATP, และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> มารวมกันเพื่อเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส เป็นการสลายกลูโคส (C6) ให้กลายเป็นไพรูเวต (C3) 2 โมเลกุล ใน cytosol ได้ผลิตภัณฑ์คือ 2 Pyruvate, 2ATP (สุทธิ), 2NADH, และ 2H<sub>2</sub>O จากนั้นไพรูเวตจะถูกเปลี่ยนเป็น Acetyl CoA โดยปล่อย CO<sub>2</sub> และให้ e<sup>-</sup> แก่ NAD<sup>+</sup> กลายเป็น NADH ซึ่งสาร C2 จะจับกับ Coenzyme A เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ โดยในวัฏจักรนี้ Acetyl CoA (C2) รวมกับกรดออกซาลอแอซิติค (C4) ได้กรดซิตริก (C6) ที่ถูกเปลี่ยนแปลงในหลายขั้นตอนจนได้กรดออกซาลอแอซิติคกลับมา กระบวนการนี้ผลิต CO<sub>2</sub>, ATP, NADH, และ FADH<sub>2</sub> ซึ่งเป็นสารพลังงานสูง นักเรียนแสดงถึงความเข้าใจในประสบการณ์การเรียนรู้และสามารถคิดวิเคราะห์อย่างมีเหตุผล ส่งผลให้ MD-R อยู่ในระดับดี

#### 3.4 การแก้ปัญหา (SP: Solving problem) กลุ่ม อยู่แล้วรวย

การแก้ไขปัญห ในชั้นขยายความรู้ (Elaboration) และขั้นประเมินความรู้ (Evaluation) มีสมรรถนะย่อยของการแก้ไขปัญห ประกอบด้วย 1) การแก้ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยได้หลายแบบทั้งโดยแนวทางที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและแนวทางที่แตกต่าง (SP-S) และ 2) ระบุและตั้งคำถามที่สำคัญที่ทำให้เกิดความกระจ่างแก่มุมมองต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่มุมมองทางออกที่ดีกว่า (SP -I) ซึ่งจะตีความจากการเล่นเกมกระดานการหายใจระดับเซลล์และจากการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างหรือการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์และประเมินการให้ระดับคุณภาพของการแก้ไขปัญหในสมรรถนะย่อย ดังนี้

1) SP-S การแก้ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยได้หลายแบบทั้งโดยแนวทางที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและแนวทางที่แตกต่าง

จากประเด็นนักเรียนวิธีการที่เป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาแก้ปัญหาได้มา 1 วิธี คือ ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลลัพธ์พลังงาน ATP ได้ โดยเหตุผลว่าเมื่อนำคาร์ดพื้นฐานมาสร้างคอมโบ ได้แก่ 1) Glucose, 2ATP, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้จะได้ 2ATP และ 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup> 2) 2 pyruvate, 2NADH<sup>+</sup>H<sup>+</sup>, 2CO<sub>2</sub>, 2Coenzyme A จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 Acetyl CoA ใน

ขั้นตอนนี้จะได้  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  3)  $2\text{ Acetyl CoA}$ ,  $4\text{CO}_2$ ,  $2\text{FADH}_2$  จะได้ผลลัพธ์ คือ วิถีจักรเครบส์ ในขั้นตอนนี้จะได้  $2\text{ATP}$ ,  $6\text{NADH}^+\text{H}^+$ ,  $2\text{FADH}_2$  แสดงให้เห็นว่า SP-S อยู่ในระดับ ดี

2) SP-I ระบุและตั้งคำถามที่สำคัญที่ทำให้เกิดความกระจ่างแก่มุมมองต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่มุมมองทางออกที่ดีกว่า

จากการระดมความคิดภายในกลุ่มและตัดสินใจเลือก ต้องทำตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ เริ่มตั้งแต่ไกลโคไลซิส การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์เอและวิถีจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จึงจะสามารถให้ผลลัพธ์พลังงาน ATP ได้ โดยเหตุผลว่าเมื่อนำการ์ดพื้นฐานมาสร้างคอมโบ ได้แก่ 1) Glucose,  $2\text{ATP}$ ,  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 pyruvate ในขั้นตอนนี้จะได้  $2\text{ATP}$  และ  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  2) 2 pyruvate,  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$ ,  $2\text{CO}_2$ , 2Coenzyme A จะได้ผลลัพธ์ คือ 2 Acetyl CoA ในขั้นตอนนี้จะได้  $2\text{NADH}^+\text{H}^+$  3)  $2\text{ Acetyl CoA}$ ,  $4\text{CO}_2$ ,  $2\text{FADH}_2$  จะได้ผลลัพธ์ คือ วิถีจักรเครบส์ ในขั้นตอนนี้จะได้  $2\text{ATP}$ ,  $6\text{NADH}^+\text{H}^+$ ,  $2\text{FADH}_2$  และนักเรียนจะประเมินผลวิธีคิดของกลุ่มตนเองว่าตรงตามความต้องการและเงื่อนไขที่ตั้งไว้ในตอนแรก แสดงให้เห็นว่า SP-I อยู่ในระดับ ดี

ตาราง 3 ผลการประเมินสมรรถนะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของกลุ่มที่ 3 กลุ่ม อยู่แล้วรวย

การดำเนินการ	คะแนนการคิดแก้ปัญหา	ระดับคุณภาพ
1) การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE)		
RE ครั้งที่ 1	1	พอใช้
RE ครั้งที่ 2	2	
2) การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (ST)	3	ดีมาก
3) การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD)		
MD-E	2	ดี
MD-A	2	
MD-S	1	
MD-I	2	
MD-R	2	
MD-R	2	
4) การแก้ปัญหา (SP)		
SP-S	2	ดี
SP-I	2	

จากตาราง 3 พบว่า นักเรียนกลุ่มที่ 3 กลุ่ม อยู่แล้วรวย เกิดสมรรถนะการคิดแก้ปัญหาโดยมีสมรรถนะย่อย ดังนี้ 1) การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (RE) อยู่ในระดับ พอใช้ 2) การคิดเชิงระบบ (ST) อยู่ในระดับ ดีมาก 3) การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจ (MD) อยู่ในระดับ ดี 4) การแก้ปัญหา (SP) อยู่ในระดับ ดี

## 7. อภิปรายผล

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องการหายใจระดับเซลล์โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม เป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสูงในการพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนในเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน และส่งเสริมทักษะทางความคิดอย่างมีนัยสำคัญ การวิจัยพบว่าการผสมผสานระหว่างบอร์ดเกมและการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-Based Learning) ช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมของนักเรียนในกระบวนการเรียนรู้มากขึ้น กิจกรรมการเรียนรู้ไม่เพียงแต่ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจชัดเจนในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ แต่ยังช่วยพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงระบบ และทักษะการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นรูปธรรมก่อนการจัดกิจกรรม นักเรียนส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจเกี่ยวกับการหายใจระดับเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะในกระบวนการซับซ้อน เช่น ไกลโคไลซิส การสร้างแอซิติลโคเอนไซม์เอ วิตามินเครบส์ และการถ่ายเทอิเล็กตรอน ซึ่งการเรียนรู้ที่ผ่านมามากเน้นการบรรยายหรือการท่องจำ ทำให้ขาดความเข้าใจเชิงลึก หลังการจัดกิจกรรม นักเรียนมีพัฒนาการที่ชัดเจนในการเชื่อมโยงข้อมูล เห็นภาพรวมของกระบวนการทั้งหมด และสามารถอธิบายความเชื่อมโยงระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบ การใช้บอร์ดเกมช่วยกระตุ้นการมีส่วนร่วม ฝึกการคิดวิเคราะห์ และการทำงานร่วมกันในกลุ่ม

จากการศึกษาความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) พบว่า การใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกมช่วยพัฒนาสมรรถนะของนักเรียนในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะในด้าน การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้วิธีคิดเชิงระบบ การใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจ และการแก้ปัญหา

การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (Reasoning effectively) พบว่านักเรียนสามารถแสดงออกถึงการให้เหตุผลได้ดีในระดับพอใช้ โดยนักเรียนสามารถใช้เหตุผลเชิงวิเคราะห์ในบางสถานการณ์ที่กำหนดในกิจกรรมการเรียนรู้ อย่างไรก็ตาม การอภิปรายปัญหาในขั้นตอนสร้างความสนใจยังไม่เพียงพอ ครูควรเพิ่มการใช้คำถามและการอภิปรายปัญหาอย่างละเอียดเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเข้าใจปัญหาอย่างถ่องแท้ และนำไปสู่การให้เหตุผลที่หลากหลายและชัดเจนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ (Tada Ratchagit, 2019) และ (Stanford University, 2017) ที่เน้นการเข้าใจปัญหาอย่างลึกซึ้งก่อนการแก้ปัญหา

การใช้วิธีคิดเชิงระบบ (Systems thinking) นักเรียนสามารถวิเคราะห์และเชื่อมโยงปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างดี โดยนักเรียนสามารถใช้วิธีคิดเชิงระบบเพื่อพิจารณาหาวิธีการแก้ปัญหาที่หลากหลายและเลือกวิธีที่เหมาะสม

ที่สุดในการแก้ไขปัญหา ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการคิดวิเคราะห์เชิงระบบที่ชัดเจนและสอดคล้องกับแนวคิดของ (Cross, 2011) ที่กล่าวถึงการเชื่อมโยงปัญหากับการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

การใช้วิจารณ์ญาณและการตัดสินใจ (Making judgments and decisions) นักเรียนแสดงความสามารถในการตัดสินใจบนพื้นฐานของการวิเคราะห์และประเมินหลักฐานได้ในระดับดี นักเรียนสามารถประเมินข้อโต้แย้งและสารสนเทศต่าง ๆ ได้ดี แต่ยังคงขาดการนำปัจจัยทางสังคมมาพิจารณาในบางกรณี ครูควรเพิ่มเวลาให้นักเรียนได้มีการคิดวิเคราะห์และตัดสินใจมากขึ้นทั้งในและนอกห้องเรียน

การแก้ไขปัญหา (Solving Problems) นักเรียนสามารถแสดงความสามารถในการแก้ไขปัญหาได้ในระดับดี นักเรียนสามารถเสนอแนวทางแก้ปัญหาที่หลากหลายสำหรับปัญหาที่ไม่คุ้นเคยและตั้งคำถามที่นำไปสู่การหาวิธีแก้ไขปัญหาที่ดีกว่า การแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ (Tada Ratchagit, 2019) ที่ชี้ว่าการคิดเชิงออกแบบช่วยให้เกิดแนวทางการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของสถานการณ์ปัญหาได้อย่างดี

## 8. ข้อเสนอแนะ

8.1 พัฒนาและออกแบบบอร์ดเกมให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เพื่อรองรับนักเรียนที่มีความหลากหลายในระดับความสามารถและความสนใจ รวมถึงการเพิ่มระยะเวลาในการจัดกิจกรรมและการอภิปรายหลังจากการเล่นเกม เพื่อให้นักเรียนมีโอกาสสะท้อนผลการเรียนรู้และวิเคราะห์กระบวนการอย่างลึกซึ้งมากขึ้น นอกจากนี้ควรพิจารณาประยุกต์ใช้รูปแบบนี้ในเนื้อหาวิชาที่ซับซ้อนอื่น ๆ เช่น พันธุศาสตร์ ชีวเคมี หรือฟิสิกส์ เพื่อเพิ่มขอบเขตของการนำไปใช้ให้กว้างขวางและเกิดประโยชน์ต่อการศึกษาในวงกว้าง

8.2 อาจจะใช้การคิดสะท้อนกลับช่วยเช่น ให้นักเรียนฝึกตั้งคำถามเพื่อให้เพื่อหาคำตอบ หากนักเรียนสามารถตั้งคำถามที่ท้าทายเพื่อนได้ นั่นแสดงว่านักเรียนมีความเข้าใจมากกว่าการรอหาเพียงแคคำตอบ

## 9. สรุป

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องการหายใจระดับเซลล์โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบอร์ดเกม มีประสิทธิภาพในการพัฒนาทั้งความเข้าใจเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์และทักษะการคิดที่สำคัญของนักเรียน การใช้บอร์ดเกมช่วยให้เนื้อหาที่ซับซ้อน เช่น การไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน กลายเป็นเรื่องที่น่าสนใจได้ง่ายและสนุกขึ้น นักเรียนสามารถเชื่อมโยงและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ พัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ การตัดสินใจ และการแก้ปัญหา การเรียนรู้ผ่านการสืบเสาะหาความรู้และการเล่นเกมยังส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนมีแรงจูงใจและกระตือรือร้นในการเรียนมากขึ้น นอกจากนี้ นักเรียนยังพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันและ

การแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นทักษะสำคัญสำหรับศตวรรษที่ 21 ผลจากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถส่งเสริมการเรียนรู้ที่ยั่งยืนและมีคุณค่าในระยะยาว ทั้งในด้านวิชาการและทักษะ การดำเนินชีวิตของนักเรียน รูปแบบการเรียนรู้สามารถประยุกต์ใช้กับหัวข้อที่ซับซ้อนในวิชาชีววิทยา เช่น พันธุศาสตร์ ชีวเคมี หรือฟิสิกส์ รวมถึงวิชาที่ต้องการการคิดวิเคราะห์เชิงระบบ เช่น เศรษฐศาสตร์หรือคณิตศาสตร์ ประยุกต์ การพัฒนาบอร์ดเกมให้ยืดหยุ่นและเหมาะสมกับผู้เรียนหลากหลายกลุ่ม รวมถึงการเพิ่มระยะเวลาในการ อภิปรายและการสะท้อนผล จะช่วยเสริมสร้างการเรียนรู้ที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การจัดกิจกรรม ลักษณะนี้ยังเหมาะสมสำหรับการส่งเสริมทักษะสำคัญ เช่น การสื่อสาร การแก้ปัญหา และการทำงานร่วมกัน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทการศึกษาที่หลากหลาย เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ที่ตอบโจทย์โลกในยุคปัจจุบัน

## 10. เอกสารอ้างอิง

- Abuhmaid, A. (2011). The impact of board games on students' learning outcomes: A case study in Jordan. *Journal of Educational Research*, 55(2), 128-145.
- Cross, N. (2011). *Design Thinking: Understanding how designers think and work*. Berg Publishers Ltd.
- Galos, R. S. (2022). Science Learning Activity Packets (SciLAPs) on the Assessment of Learning Performance. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 3(7), 1800-1810.
- Kay, R. H. (2012). Exploring the Use of Video in Education: A Comprehensive Review of the Literature. *Computers in Human Behavior*, 28, 820-831.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.01.011>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.
- Mackay, H. A. (2013). Developing syntactic repertoires: Syntheses of stimulus classes, sequences, and contextual control. *European Journal of Behavior Analysis*, 14, 69-85.
- Play Academy. (2017). *Logical & Critical Thinking*. <https://drive.google.com/file/d/0B98OD>.
- Ratchagit, T. (2020). Theory of POCCC management and principles of organizational management towards success based on Henri Fayol's concepts. [www.th.hrnote.asia](http://www.th.hrnote.asia)
- Stanford University. (2017). *State of the Union 2017*. Stanford Center on Poverty and Inequality. <https://inequality.stanford.edu/publications/state-union-2017>

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551*.  
[https://academic.obec.go.th/images/document/1559878925\\_d\\_1.pdf](https://academic.obec.go.th/images/document/1559878925_d_1.pdf)
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 1*. <https://www.scimath.org/ebook-biology/item/8416-2-2560-2551>.
- กฤษณวงศ์ รอบรู้, อุบลวรรณ เลี้ยวอุดมชัย, และคณิศร ต้นสีนนท์. (2567). การออกแบบกิจกรรมส่งเสริมความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาของผู้เรียนตามแนวคิดการสืบเสาะหาความรู้และบอร์ดเกม. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน (JRIS)*, 1(3), 1-21.
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์, สมเชาว์ เนตรประเสริฐ, และสุดำ สินสกุล. (2520). ระบบสื่อการสอน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2558). *80 นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ* (พิมพ์ครั้งที่ 6). พี บาลานซ์ดีไซด์แอนปริ้นติ้ง.
- วิจารณ์ พานิช. (2555). *วิธีสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ 21*. มูลนิธิสดศรีสฤษดิ์วงศ์.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2560). *การจัดสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). 2567. *ความฉลาดรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์*.  
<https://pisathailand.ipst.ac.th/about-pisa/scientific-literacy/>.
- สิริพัชร เจริญชัย. (2563). *การศึกษาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาตามทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมเรื่องพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 [วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต]*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.