

แนวปฏิบัติในการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 และแนวคิด เรื่อง สารละลาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการ เรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

ปฏิวัติ ศรีทิพย์ศักดิ์¹ ปฐมภรณ์ พิมพ์ทอง^{1*} และอภิสิฏฐ์ ศงสะเสน²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

*E-mail: fedupppi@ku.ac.th

รับบทความ: 30 กรกฎาคม 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 15 กุมภาพันธ์ 2560

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาแนวปฏิบัติในการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (information and communication technology, ICT) ที่ช่วยให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พัฒนาแนวคิดเรื่องสารละลายและทักษะในศตวรรษที่ 21 ซึ่งการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนใช้ระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยเก็บข้อมูลจากชิ้นงานของนักเรียน บันทึกหลังการสอน บันทึกการนิเทศของอาจารย์นิเทศก์ การสังเกตชั้นเรียน โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบอุปนัย (inductive analysis) ผลการวิจัย พบว่า แนวปฏิบัติในการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT ในการพัฒนาแนวคิดเรื่องสารละลายและทักษะในศตวรรษที่ 21 คือ (1) ครูควรสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT (2) ครูควรใช้คำถามขับเคลื่อนโครงการ (driving questions) เพื่อสนับสนุนการวางแผนและการสร้างชิ้นงานของนักเรียน (3) ครูควรให้ผลสะท้อนกลับเพื่อกระตุ้นความสร้างสรรค์ในชิ้นงานและการแก้ไขชิ้นงานของนักเรียน (4) ครูควรส่งเสริมให้นักเรียนรู้สึกว่าตนเองเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ และยังพบว่าครูควรจัดการเรียนรู้ให้เป็นไปตามกระบวนการของการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการ (project based learning-PBL) เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน และ (5) ครูควรใช้การประเมินตลอดเวลาตามแนวทางของ PBL โดยใช้ ICT ซึ่งผลวิจัยที่ได้สอดคล้องกับลักษณะที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการ

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 สารละลาย

The Way to Develop 10th Grade Students' 21st Century Skills and Concept of Solutions by Project-based Learning Using Information and Communication Technology

Patiwat Sritipsak¹, Pattamaporn Pimthong^{1*} and Apisit Songsasen²

¹Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education; ²Department of Chemistry Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, Bangkok 10900, Thailand

*E-mail: feduppi@ku.ac.th

Received: 30 July 2016 Accepted: 15 February 2017

Abstract

The research objective of this action research intended to find the way to develop 10th grade students' 21st century skills and concept of solutions by project-based learning using information and communication technology for 3 week. The data were collected from students' artifact, teacher logs, comments from university and school supervisors and classroom observations. The data were analyzed by inductive analysis method. The result showed that teacher should use PBL using ICT to motivate students' learning. The teacher should be a facilitator who uses driving questions to enhance students' planning and creating their projects. In addition, teacher's feedbacks were important in order to encourage students' creativity and revising their plan. Teacher should also encourage students to take their authority in their projects, and teacher should use PBL process to promote students' creating artifact. Finally, teacher should use formative assessment along the process of PBL using ICT. These results are corresponded to the key feature of PBL.

Keywords: Project-based learning, ICT, 21st century skills, Solutions

บทนำ

ทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 เป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตในโลกแห่งศตวรรษที่ 21 ได้อย่างมีคุณภาพ (Ministry of Education, 2014) ทักษะเหล่านี้ประกอบด้วย ทักษะการ

เรียนรู้และนวัตกรรม (learning and innovation skills) ทักษะสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี (information, media and technology skills) และทักษะชีวิตและอาชีพ (life and career skills) และความรู้พื้นฐานในสาระวิชาหลัก (core subjects) คือ ภาษา

แม่และภาษาที่สำคัญของโลก ศิลปะ คณิตศาสตร์ การปกครองและหน้าที่พลเมือง เศรษฐศาสตร์ ภูมิศาสตร์ ประวัติศาสตร์ รวมถึงวิทยาศาสตร์ (Partnership for 21st Century Learning, 2015) แต่จากการประเมินด้านการรู้คณิตศาสตร์ ด้าน การรู้การอ่าน และด้านการรู้วิทยาศาสตร์ของ นักเรียนในประเทศไทยโดย Programme for International Student Assessment (PISA) ในปีค.ศ. 2012 ที่ผ่านมามีคะแนนที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานในทุก ๆ ด้าน และจากการจัดอันดับผลการประเมินของ PISA ในปี ค.ศ. 2012 พบว่า ประเทศไทยจัดอยู่ในอันดับที่ 50 ของโลกจากทั้งหมด 65 ประเทศ โดยด้านการรู้ เรื่องวิทยาศาสตร์ของประเทศไทย อยู่ในอันดับ บน 44 และอันดับล่าง 49 อีกทั้งในปี ค.ศ. 2015 PISA จะมีการวัดประเมินผลเพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่ง ทักษะ คือ การร่วมมือในการแก้ไขปัญหา (collaborative problem solving) (OECD, 2015) ซึ่งเป็นหนึ่งในทักษะในศตวรรษที่ 21 (21st century skill) (BIE, 2015)

ในฐานะที่ผู้วิจัยปฏิบัติการสอนในราย วิชาเคมีจึงเห็นความสำคัญที่จะพัฒนาทักษะใน ศตวรรษที่ 21 ควบคู่ไปกับการส่งเสริมแนวคิด เดมิ ซึ่งนักเรียนมักมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน (Trea-gust et al., 2003) รวมทั้งเรื่องปริมาณสารสัม-พันธ์ (Bonder and Herson, 2002) โดยพบว่านัก-เรียนส่วนใหญ่ทำข้อสอบย่อยไม่ผ่านเกณฑ์ และ จากการสอบถามนักเรียนพบว่าวิชาเคมีเป็นวิชา ที่ค่อนข้างยากเนื้อหาเป็นนามธรรม มองไม่เห็น ภาพ (Bunpeng, 2015) โดยแนวคิดในเรื่องสาร ละลายมีเนื้อหาที่เกี่ยวกับการคำนวณความเข้มข้น ซึ่งเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในเรื่อง การคำนวณ และจากการสอบถามอาจารย์ที่มีประ-

สภารณ์สอนเรื่องสารละลายในโรงเรียน พบว่า เนื้อหานี้เป็นเนื้อหาที่น่าสนใจ เนื่องจากนักเรียน มักมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเรื่องความหมายของ สารละลาย การเตรียมสารละลาย และนักเรียน มักสับสนเกี่ยวกับการระบุความเข้มข้นของสาร ละลาย

การจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการ (project-based learning, PBL) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ เปิดโอกาสให้นักเรียนเรียนรู้ โดยการลงมือปฏิบัติ ด้วยตนเองผ่านทักษะกระบวนการทางวิทยา-ศาสตร์และการคิดขั้นสูง (Intel Tech to Future, 2007) และกำหนดแนวทางการเรียนรู้ของนัก-เรียนโดยการสร้างความรู้ด้วยตนเอง และนำเสนอ ผลการเรียนรู้ที่ได้เรียนผ่านชิ้นงานที่มีหลากหลาย รูปแบบ ทั้งบทบาทสมมติ การนำเสนอด้วยสื่อที่ หลากหลาย บทความ กลอน (Papert and Harel, 1991; Grant, 2002) การทดลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่องเล่าดิจิทัล (digital story telling) เว็บไซต์ ทอล์ก โชว์ สื่อสิ่งพิมพ์ รายงานการทดลอง เป็นต้น (AL-TEC., 2016) และการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการ ยังทำให้นักเรียนกระตือรือร้นที่จะสำรวจปัญหา ในสถานการณ์จริงที่ท้าทาย ทำให้เกิดแรงบันดาลใจที่จะได้รับความรู้ที่ลุ่มลึกในหัวข้อที่นักเรียน กำลังเรียนอยู่ (Edutopia, 2015) โดย PBL สามารถ พัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน (Afriana et al., 2015) และความรู้ด้านเนื้อหาได้ดีเมื่อเทียบ กับการสอนแบบดั้งเดิม (Mioduser and Betzer, 2007) เช่น การบูรณาการเทคโนโลยีในการจัดการ เรียนรู้ด้วยโครงการในการสอนวิทยาศาสตร์ พบ ว่า นักเรียนสามารถพัฒนาทักษะและความสามารถ ในการสังเคราะห์และประเมินความรู้ เพื่อมีส่วน ร่วมในการสำรวจทางวิทยาศาสตร์ และใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี (Chan-

linn, 2008) อีกทั้งยังสามารถพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนได้ (Kay, 2011) ซึ่งทักษะสำคัญหนึ่งในศตวรรษที่ 21 คือ ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี โดย ICT ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการเรียนรู้ของผู้เรียน (Papert and Harel, 1991)

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยต้องการที่จะจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยให้นักเรียนเห็นถึงความเชื่อมโยงของแนวคิดในระดับ มหภาค จุลภาค และระดับสัญลักษณ์เพื่อลดความไม่เข้าใจในสิ่งที่เป็นนามธรรมโดยเน้นกิจกรรมที่มีความยืดหยุ่นต่อความสามารถของนักเรียน ส่งเสริมการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อช่วยให้นักเรียนค้นคว้าหาความรู้มากขึ้น เพื่อส่งเสริมทั้งแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนผ่านกระบวนการสร้างชิ้นงาน โดยชิ้นงานหลักในงานวิจัยนี้คือเรื่องเล่าดิจิทัล โดยนำ ICT เข้ามาเป็นตัวช่วยในการเรียนของนักเรียนให้เป็นเครื่องมือในการเรียนรู้เพื่อใช้ในการสืบค้นข้อมูลที่หลากหลายในโลกออนไลน์ สร้างชิ้นงานโดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ และเผยแพร่ความรู้ที่ได้จากการทำงานในครั้งนั้น ๆ สู่พื้นที่สาธารณะ ตอบสนองความต้องการของนักเรียน และพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ในเรื่องสารละลายของนักเรียนและทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT เพื่อหาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนการสอนตามวิธีดังกล่าว

ขอบเขตการวิจัย

1. กลุ่มที่ศึกษา คือ ผู้วิจัยในฐานะนิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูที่ปฏิบัติการสอนในรายวิชาเคมี 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรง-

เรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 4 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ที่มุ่งเน้นการสอนวิทยาศาสตร์ 1 ห้องเรียน จำนวน 13 คน เป็นชาย 9 คน หญิง 4 คน

2. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยเป็นเนื้อหาในหน่วยปริมาณสัมพันธ์เรื่องสารละลาย ในหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมเคมี เล่ม 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มีแนวคิดหลักเกี่ยวกับเรื่อง การละลาย ความหมายของสารละลาย บทบาทของตัวละลายและตัวทำละลาย และความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ ส่วนในล้านส่วน โมลลาริตี โมลลิตี

3. ทักษะในศตวรรษที่ 21 คือ ทักษะสำคัญที่จะใช้ในการทำงานและการดำรงชีวิตให้มีคุณภาพในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมเน้นให้นักเรียน มีการคิดวิจารณ์ วิจารณ์ การคิดสร้างสรรค์ สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ ทักษะสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี เน้นให้นักเรียนรู้เท่าทันสื่อ สามารถประเมินข้อมูลเลือกที่จะเชื่อและไม่เชื่อข้อมูลต่าง ๆ และสามารถเลือกใช้อข้อมูลได้อย่างมีประโยชน์ อีกทั้งเพื่อรู้เท่าทันเทคโนโลยีในยุคปัจจุบันและอนาคต สุดท้ายคือทักษะชีวิตและอาชีพ เน้นการพัฒนาให้นักเรียนเพื่อมีความสามารถในการใช้ชีวิตอยู่ในชุมชนและการทำงานได้อย่างมีคุณภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (classroom action research) เพื่อหาแนว-

ปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT ที่จะช่วยให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พัฒนาแนวคิดเรื่องสารละลายและทักษะในศตวรรษที่ 21 มีคำถามวิจัย คือ ผู้วิจัยจะมีแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT อย่างไรเพื่อพัฒนาแนวคิดเรื่องสารละลายและทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากชิ้นงานของนักเรียน บันทึกหลังการสอน บันทึกการนิเทศของอาจารย์นิเทศก์ การสังเกตชั้นเรียน จากแผนการจัดการเรียนรู้ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จำนวน 5 แผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบอุปนัย (inductive analysis)

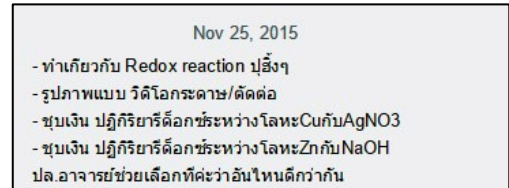
ผลการวิจัย

แนวปฏิบัติที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT เพื่อพัฒนาแนวคิดเรื่องสารละลายของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการจากงานวิจัยต่างๆ (Afriana et al., 2015; Edutopia, 2015; Grant, 2002; Intel Tech to Future, 2007; Mioduser and Betzer, 2007; (Papert and Harel, 1991) จากนั้นสังเคราะห์เป็นแนวทางปฏิบัติในการจัดการเรียนรู้ จนได้ลักษณะและรายละเอียดแนวปฏิบัติที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

แนวปฏิบัติที่ 1 ครูควรสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT

จากการดำเนินการวิจัยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 พบว่า นักเรียนไม่พยายามดำเนินโครงการด้วยตนเอง เช่น นักเรียนให้ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกสถานการณ์เรื่องสารละลายของกลุ่มตนเอง ดังภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า นักเรียนยังคงรอให้

ผู้วิจัยให้ความรู้หรือออกคำสั่งให้นักเรียนดำเนินโครงการ ซึ่งเป็นเจตคติทางลบในการจัดการเรียนรู้



ภาพที่ 1 แผนการจัดการโครงการของนักเรียนกลุ่มที่ 2

ต่อมานั้นในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ผู้วิจัยได้นำเสนอชิ้นงานต่าง ๆ ที่สร้างจากการใช้ ICT เช่น stop motion, clay motion หรือ plain English ที่มีลักษณะเป็นวิดีโอทัศนของนักเรียนทั้งที่อยู่ในระดับชั้นที่ต่ำกว่านักเรียน และสูงกว่า เพื่อเป็นแรงบันดาลใจและส่งเสริมเจตคติทางบวกให้กับนักเรียน

อย่างไรก็ตาม ยังพบว่า นักเรียนยังคงมีเจตคติทางลบเนื่องจากนักเรียนมองการจัดการโครงการของกลุ่มตนเองเป็นภาระงานส่วนเกิน สังเกตได้จากบทสัมภาษณ์นักเรียนกลุ่มที่ 1 ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

(R = ผู้วิจัย S = Student)

R: ... ทำไมเราถึงเลือกใช้ infographic ครับ

S₁₁: ผมว่ามันเหมาะแล้วครับ

R: แล้วเราคิดว่าหากเรานำเสนอด้วยภาพเคลื่อนไหวอธิบายการละลายของโมเลกุลของสาร เราคิดว่าจะสามารถอธิบายถึงการละลายได้ดีกว่าไหมครับ

S₁₁: ใช่ครับ แบบนั้นผมก็ว่าจะสามารถอธิบายเรื่องการละลายได้ดีกว่า แต่ทำงานของผมเยอะแล้วครับ (งานในวิชาอื่น ๆ) ผมไม่อยากจะเพิ่มภาระงานครับ...

(บทสัมภาษณ์ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3)

หลังจากนั้นผู้วิจัยพยายามส่งเสริมให้ผู้เรียนแสดงบทบาทในเชิงรุกและเห็นความสำคัญของการเรียนรู้โดยการสร้างชิ้นงาน โดยผู้วิจัยเป็นผู้อำนวยความสะดวกที่ดีให้แก่นักเรียน เช่น ใช้คำถามในการขับเคลื่อนโครงการเพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้แก่นักเรียนในการจัดการโครงการให้ข้อเสนอแนะแก่นักเรียนในเรื่องการจัดการโครงการของนักเรียน ให้แรงเสริมแก่นักเรียนโดยการกล่าวชื่นชมในการดำเนินโครงการของนักเรียน ให้นักเรียนดูวีดิทัศน์เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เรื่อง Above And Beyond (http://youtube/zTbuFN8_D_s) โดยเป็นวีดิทัศน์ที่เกี่ยวกับการเปรียบเทียบระหว่างการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบดั้งเดิมและการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนร่วมกันใช้ความสามารถของแต่ละคนมาช่วยกันสร้างชิ้นงาน ซึ่งจะสามารถทำให้นักเรียนเห็นถึงประโยชน์ของการร่วมกันดำเนินโครงการและเพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้แก่นักเรียนในการดำเนินโครงการของนักเรียนด้วยตนเองได้ จัดเตรียมแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการจัดการโครงการของนักเรียน เช่น แหล่งข้อมูลเรื่องสารละลาย เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ตัวอย่างการสร้างชิ้นงาน

อย่างไรก็ตาม พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้นักเรียนบางส่วนยังคงมีเจตคติทางลบต่อการจัดการเรียนรู้ เช่น นักเรียน S₃ กล่าวว่า “หนู ยังไม่ได้เรียนเลยแล้วหนูจะทำได้อย่างไร” และสอดคล้องกับบทสัมภาษณ์นักเรียนหลังแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ที่พบว่านักเรียนมีความรู้สึกว่าการเรียนในรูปแบบนี้เป็นการทำงานที่มีขนาดใหญ่และเป็นภาระต่อนักเรียนค่อนข้างมาก โดยนักเรียน S₁₂ กล่าวว่า “การบ้านน้อย แต่มันใหญ่” ซึ่งนักเรียนที่มีเจตคติทางลบส่วนมากเป็นนักเรียนหญิง

อย่างไรก็ตาม พบว่า นักเรียนชายส่วนใหญ่มีเจตคติที่ดีต่อการเรียน เช่น S₈ ที่เขียนความรู้สึกลงใน Exit ticket ว่า “ความรู้สึกต่อการเรียนการสอน:สนุกกว่าการเรียนแบบปกติ” ซึ่งสอดคล้องกับบทสัมภาษณ์หลังแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ที่แสดงให้เห็นถึงเจตคติที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้ในลักษณะนี้

R:นักเรียนชอบการเรียนแบบไหนมากกว่ากันครับ
 S₁₀: แบบนี้ครับ...เราได้เรียนรู้ในสิ่งที่เราชอบด้วยตนเอง เราเรียนแบบนี้จะทำให้เราเข้าใจในตัวเองมันมากกว่า...มันกลมกลืนไปกับความรู้สึกครับ (บทสัมภาษณ์หลังแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5)

อีกทั้งยังพบว่านักเรียนที่มีเจตคติที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้ เช่น นักเรียน S₈ เขียนบรรยายถึงแรงบันดาลใจในการดำเนินโครงการ คือนักเรียนเขียนว่า “ความรู้สึกคือ ภูมิใจที่พระราชกรณียกิจของในหลวงมีประโยชน์มาก” แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาที่เกี่ยวกับสารละลาย

แนวปฏิบัติที่ 2 ครูควรใช้คำถามขับเคลื่อนโครงการ (driving questions) เพื่อสนับสนุนการวางแผนและการสร้างชิ้นงานของนักเรียน คำถามขับเคลื่อนโครงการ เป็นคำถามที่มีความเป็นไปได้ที่นักเรียนจะสามารถหาคำตอบเหล่านั้นได้ เป็นคำถามที่มีคุณค่าที่เปี่ยมไปด้วยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ หรือเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ซึ่งสามารถแตกเป็นคำถามย่อย ๆ ได้ เป็นคำถามที่อยู่ในบริบทที่เรียน ตรงประเด็น และสำคัญ เป็นคำถามที่มีความหมายที่สามารถทำให้สนใจและท้าทายต่อผู้เรียน เป็นคำถามที่มี

จริยธรรมไม่ส่งเสริมการทำลายสิ่งมีชีวิตหรือสิ่ง-
แวดล้อม และเป็นคำถามที่ยังยืนสามารถคงความ
สนใจของนักเรียนและทำให้นักเรียนสร้างคำถาม
ของตนเองต่อไปได้ ซึ่งหากผู้วิจัยสามารถใช้
คำถามขับเคลื่อนโครงการได้ดีจะทำให้นักเรียน
ทราบได้ว่านักเรียนควรทำโครงการของนักเรียน
อย่างไร เป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้
แนวคิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเรื่องสารละลาย และ
ช่วยให้นักเรียนได้แนวทางในการหาข้อมูลในการ
จัดการโครงการ เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1
การวางแผนการทำงาน โดยจุดประสงค์ของแผน
การจัดการเรียนรู้ คือ นักเรียนสร้างแผนการจัด
การโครงการ จากสถานการณ์เรื่องสารละลายใน
ชีวิตประจำวันที่กลุ่มของตนเองสนใจได้ โดยใน
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้แสดงสถาน
การณ์ต่าง ๆ 3 สถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง
การละลายและความเข้มข้น แล้วใช้คำถามขับ
เคลื่อนโครงการเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมของ
นักเรียน และทำให้นักเรียนทราบว่าเรื่องสาร
ละลาย และความเข้มข้นเกี่ยวข้องกับชีวิตประ
จำวันอย่างไร โดยผู้วิจัยใช้ลักษณะคำถามที่
เป็นไปได้ที่จะหาคำตอบ คือ “นักเรียนคิดว่ามีอะไร
ที่เหมือนและต่างกันในแต่ละสถานการณ์” มีคุณค่า
และเกี่ยวข้องกับบริบทที่เรียน คือ “นักเรียนคิด
ว่าความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อชีวิตประ
จำวันของเราอย่างไรบ้าง” มีจริยธรรมและมีความ
ยั่งยืน คือ “นักเรียนจะมีวิธีการนำเสนอข้อมูลที่
ดีกว่าที่นักเรียนนำเสนอทั้ง 3 สถานการณ์นี้ได้
อย่างไร” “ถ้านักเรียนต้องการหาข้อมูลมากกว่านี้
นักเรียนจะทำอย่างไร” และ “ถ้าหากนักเรียนต้อง
การที่จะนำความรู้ที่นักเรียนได้เรียนรู้ไปในวันนี้
เพื่อให้เพื่อน ๆ ในโรงเรียนของนักเรียนเข้าใจ
เกี่ยวกับการละลายในชีวิตประจำวัน นักเรียนจะ

มีวิธีการนำเสนออย่างไร” “นักเรียนจะนำเสนอ
สถานการณ์เหล่านั้นที่นักเรียนสนใจอย่างไร”
“นักเรียนจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารใน
สถานการณ์ที่ศึกษาได้อย่างไร” “นักเรียนจะ
นำเสนออะไรบ้าง” และ “ถ้ามีเวลาในการทำงาน
ที่จำกัดคือต้องทำภายในการเรียนการสอน 5
ครั้ง นักเรียนจะมีการวางแผนการนำเสนออย่าง
ไร” ซึ่งพบว่านักเรียนสามารถคิดสถานการณ์ที่
กลุ่มตนเองสนใจเกี่ยวกับสารละลายได้ เช่น กลุ่ม
ที่ 3 นักเรียนเลือกสถานการณ์เกี่ยวกับกัมมันตภาพ
พัฒนาว่าสามารถนำบัดน้ำเสียได้อย่างไร แสดง
ให้เห็นได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจว่าสถานการณ์
นี้เกี่ยวข้องกับสารละลายและสามารถวางแผน
การจัดการโครงการและสร้างแผนการจัดการโครง
การของนักเรียนได้ แต่มีนักเรียนบางกลุ่ม เช่น
นักเรียนกลุ่มที่ 2 ที่ยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับเรื่องสาร
ละลายที่นักเรียนสนใจได้โดยนักเรียนเลือกเรื่อง
ที่เกี่ยวกับสารละลายโดยเลือกจากเรื่องที่มีคำว่า
สารละลายระบอบอยู่

จากการสอบถามนักเรียนกลุ่มที่ 2 ถึง
เหตุผลที่เลือก สถานการณ์เกี่ยวกับปฏิกิริยา redox
reaction เนื่องจากในการทำปฏิกิริยา redox
reaction นั้นจะใช้การทำปฏิกิริยากันระหว่างโลหะ
Cu และสารละลาย $AgNO_3$ ซึ่งนักเรียนเห็นคำว่า
สารละลาย $AgNO_3$ นักเรียนจึงอยากที่จะทำโครง
การเรื่องนี้แต่ยังไม่เข้าใจว่าเรื่องที่นักเรียนเลือก
นั้นเกี่ยวข้องกับสารละลายอย่างไร อีกทั้งนัก
เรียนต้องการให้ผู้วิจัยเลือกเรื่องที่จะใช้ในโครง
การของนักเรียนแสดงให้เห็นได้ว่านักเรียนไม่
สามารถดำเนินโครงการได้ด้วยตนเอง และยังแสดง
ให้เห็นได้ว่าคำถามที่ผู้วิจัยใช้ไม่มีความยั่งยืน
คือไม่สามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนคงความสนใจใน
การจัดการโครงการ และสร้างคำถามของตนเอง

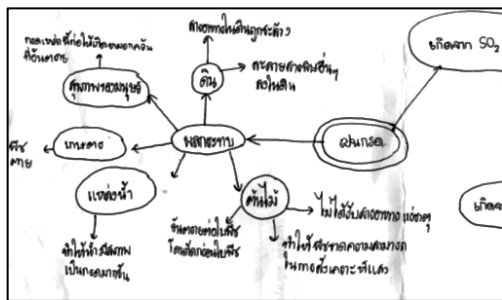
ต่อไปได้ จึงทำให้นักเรียนไม่หาความรู้เพิ่มเติม และไม่สามารถตัดสินใจเลือกที่จะใช้ด้วยตนเองได้ และยังแสดงให้เห็นว่าคำถามที่ผู้วิจัยใช้ยังคำถามได้ไม่ตรงประเด็น ทำให้นักเรียนไม่ทราบว่าหาความรู้เพิ่มเติมในเรื่องใด ทำให้นักเรียนต้องการที่จะให้ครูชี้แนะ และออกคำสั่งให้ทำในสิ่งที่ครูอยากให้ทำสอดคล้องกับบทสัมภาษณ์ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 โดยนักเรียน S₂ ถามผู้วิจัยว่า “แล้วอาจารย์อยากให้เราทำแบบไหนล่ะคะ” และ “อาจารย์ช่วยเลือกเรื่องให้หน่อย” แสดงให้เห็นได้ว่าคำถามในการขับเคลื่อนโครงการของผู้วิจัยนั้น ยังไม่มีความยั่งยืนที่จะทำให้ให้นักเรียนสร้างคำถามและดำเนินโครงการของนักเรียนได้ด้วยตนเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงพยายามสนับสนุนให้นักเรียนสามารถทำการดำเนินโครงการของนักเรียนได้ด้วยตนเองโดยปรับคำถามในการขับเคลื่อนโครงการที่ใช้ในการให้คำปรึกษากับนักเรียนให้มีความยั่งยืนมากยิ่งขึ้น เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 การสืบค้นข้อมูลที่เป็นกรให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล และสร้างแผนผังความคิดเกี่ยวกับข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการสร้างชิ้นงานของนักเรียน โดยที่ผู้วิจัยใช้คำถามในการขับเคลื่อนโครงการที่มีตรงประเด็นมากขึ้น ดังบทสนทนาระหว่างผู้วิจัยกับนักเรียนกลุ่มที่ 1 ดังนี้

S₁₂ (กลุ่มที่ 2): อาจารย์...ทำไมเราถึงได้เรื่องสารละลาย แล้วกลุ่มอื่นล่ะ
 R: ก็สารละลายหมดแหละครับ อะไรก็ได้ที่เกี่ยวข้องกับสารละลาย เราจะเปลี่ยนเรื่องที่จะทำก็ได้ล่ะครับ
 S₃: (กลุ่มที่ 2): มลพิษได้ไหมคะ
 R: ได้ครับ...อย่างเช่น มลพิษทางอากาศก็เป็นเรื่องที่น่าสนใจ

S₃ (กลุ่มที่ 2): เอาใหม่ ๆ เอาเลย ๆ (นักเรียนปรึกษากัน)
 S₁₂ (กลุ่มที่ 2): ก็มลพิษตามต่างจังหวัด แล้วก็พวกที่มันเป็นโรงงานถ่านหิน มีสถานที่ให้เปรียบเทียบ
 R: ใช้ครับเอาแบบนั้นก็ได้ครับ แต่เราไม่ต้องออกพื้นที่นะ เราแค่หาข้อมูลมาก็ได้นะครับ แล้วเราจะรายงานเรื่องอะไรบ้างครับ
 S₁₂ (กลุ่มที่ 2): ปริมาณพวกฝุ่นละอองใหม่
 R: อะไรที่เป็นสารละลาย
 S₁, S₁₂, S₃ (กลุ่มที่ 2): แก๊ส...คาร์บอนไดออกไซด์ (บทสัมภาษณ์หลังแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2)

จากบทสนทนาทำให้ผู้วิจัยทราบว่า การใช้คำถามในการขับเคลื่อนโครงการที่มีความเกี่ยวข้องกับบทเรียน โดยมีความตรงประเด็นมากยิ่งขึ้น ทำให้นักเรียนมองเห็นแนวทางในการสร้างชิ้นงานและสามารถดำเนินการสร้างชิ้นงานของนักเรียนได้ สังเกตได้จากการที่นักเรียนสามารถสร้างแผนผังความคิดเกี่ยวกับข้อมูลที่จะใช้ในชิ้นงานหลักของนักเรียนซึ่งเป็นชิ้นงานในแผนการจัดการเรียนรู้นี้ได้

แม้ว่าผู้วิจัยจะใช้คำถามที่มีความยั่งยืนมากขึ้นจนทำให้ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 นักเรียนสามารถสร้างแผนผังความคิดได้ ดังในภาพที่ 2 แต่ชิ้นงานของนักเรียนยังขาดเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดของการละลาย และความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งเป็นแนวคิดหลักในการจัดการเรียนรู้ แสดงให้เห็นว่า คำถามในการขับเคลื่อนโครงการของผู้วิจัยนั้นยังไม่ตรงประเด็นมากพอ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับคำถามที่ใช้ในการขับเคลื่อนโครงการให้มีความตรงประเด็นมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2 แผนผังความคิดของนักเรียนกลุ่มที่ 2

เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 หลังจากที่นักเรียนนำเสนอ storyboard และ script ซึ่งเป็นเสมือนแบบร่างของชิ้นงานเสร็จ ซึ่งผู้วิจัยพบว่างานของนักเรียนยังขาดแนวคิดของการละลาย และความเข้มข้นของสารละลาย ผู้วิจัยจึงใช้คำถามในการขับเคลื่อนโครงการที่มีความจำเพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น เช่น “นักเรียนคิดว่า ฝนกรดเหนี่ยมันเกิดจากแก๊สในโรงงานอุตสาหกรรมใช้ไหมครับ แล้วแก๊สต่าง ๆ เหล่านี้มันไปละลายในน้ำฝนได้ยังไงครับ” “แล้วมันละลายกันอย่างไรครับ โมเลกุลของน้ำและแก๊สที่มันละลายอยู่ด้วยกันมันอยู่กันอย่างไรครับ” “ความเข้มข้นของฝนกรดเหนี่ยเขาบอกมีความเข้มข้นเป็นอะไรครับ” “แล้วต้องเข้มข้นแค่ไหนถึงจะเรียกว่าเป็นฝนกรดครับ” ซึ่งพบว่า แม้ว่าผู้วิจัยจะปรับคำถามในการขับเคลื่อนโครงการให้มีความตรงประเด็นมากกว่าเดิมแล้วก็ตาม ก็ยังพบว่าชิ้นงานสุดท้ายของนักเรียนไม่พบเนื้อหาของการละลายและความเข้มข้นของสารละลาย อาจเนื่องมาจากนักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้เรื่องการละลายเข้ากับสถานการณ์ของนักเรียนได้ จึงทำให้ชิ้นงานของนักเรียนไม่มีการอธิบายเกี่ยวกับเรื่องการละลายและความเข้มข้น แม้ว่าผู้วิจัยได้แนะนำเกี่ยวกับการละลายและความเข้มข้นแล้วก็ตาม

แนวปฏิบัติที่ 3 ครูควรให้ผลสะท้อนกลับกระตุ้นการสร้างสรรค้ในชิ้นงานและการแก้ไขชิ้นงานของนักเรียน

จากการดำเนินการวิจัยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 การสร้างแผนการจัดการโครงการพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างแผนการจัดการโครงการได้ โดยนักเรียนสามารถเลือกสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสารละลายในชีวิตประจำวันได้ แต่จากการสังเกตรูปแบบการนำเสนอของนักเรียนส่วนใหญ่พบว่า นักเรียนเลือกกรูบบการนำเสนอที่ไม่เหมาะสม คือ นักเรียนเลือกสร้างชิ้นงานที่เป็น infographic ซึ่งเป็นรูปแบบการนำเสนอที่เป็นภาพหนึ่งที่ไม่สามารถแสดงถึงกระบวนการละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังในภาพที่ 3

Nov 25, 2015

- การเป็นเอนของสารเคมีใช้ในเกษตรกรรม
- การนำเสนอแบบ infographic
- ลักษณะการกระจายของสารเคมี
- piktochart
- ครั้งที่ 1 เลือกหัวเรื่องที่จะทำ
- ครั้งที่ 2 หาข้อมูล
- ครั้งที่ 3 ลงมือปฏิบัติ
- ครั้งที่ 4 ตรวจสอบ
- ครั้งที่ 5 นำเสนอ less...

ภาพที่ 3 แผนการจัดการโครงการของนักเรียนกลุ่มที่ 1

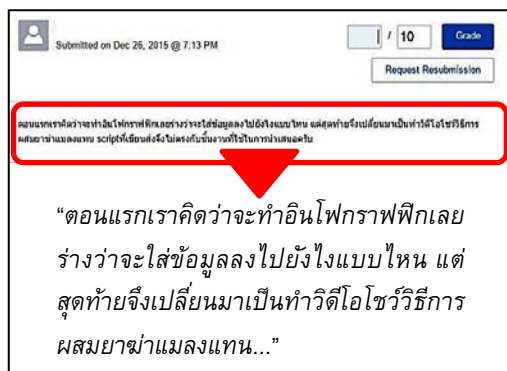
จากนั้นผู้วิจัยได้พยายามส่งเสริมให้นักเรียนสร้างชิ้นงานให้สื่อถึงการละลายได้มากขึ้น โดยการให้ผลสะท้อนกลับต่องานของนักเรียน หลังจากที่นักเรียนแต่ละกลุ่มได้สร้างและนำเสนอชิ้นงานย่อยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้โดยอภิปรายร่วมกันระหว่างผู้วิจัยและเพื่อนนักเรียนกลุ่มที่ไม่ได้นำเสนอ และใช้คำถามหรือผลสะท้อนกลับเกี่ยวกับงานของนักเรียนเพื่อทำให้งานของนักเรียนมีความครบถ้วนในด้านเนื้อหาเรื่อง สารละลาย และช่วยให้นักเรียนได้ปรับแนว-

คิดให้สอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการส่งเสริมแนวคิดเรื่อง สารละลาย ของนักเรียนในอีกทางหนึ่ง เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 การสร้าง storyboard และ script พบว่า เมื่อผู้วิจัยได้ให้ผลสะท้อนกลับในการสร้าง ชิ้นงานของนักเรียนโดยเสนอความคิดเห็นในเรื่อง การนำเสนอเกี่ยวกับการละลายให้นักเรียนเห็น ถึงแนวทางการนำเสนอที่แสดงถึงการละลายได้ ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่กลับพบว่านักเรียนทราบว่า มี รูปแบบการนำเสนอชิ้นงานที่เหมาะสมแก่ชิ้นงาน ของนักเรียนมากกว่านี้ แต่นักเรียนไม่ต้องการ สร้าง ชิ้นงานในรูปแบบดังกล่าวเนื่องจากนักเรียนมอง ว่าการสร้างชิ้นงานในรูปแบบดังกล่าวเป็นภาระ งานหนัก ดังบทสัมภาษณ์ของนักเรียนในแผน การจัดการเรียนรู้ที่ 3

R: กลุ่มเราจะทำ infographic ใหม่นะครับ ทำไม เราถึงเลือกใช้ infographic หรือครับ
 S₁₁: ครับ...ผมว่ามันเหมาะแล้วครับในงานของผม แล้ว
 R: แล้วเราคิดว่าหากเรานำเสนอด้วยภาพเคลื่อนไหวอธิบายการละลายของโมเลกุลของสาร เราคิดว่าจะสามารถอธิบายถึงการละลายได้ดี กว่าไหมครับ
 S₁₁: ใช่ครับ แบบนั้นผมก็ว่าจะสามารถอธิบาย เรื่องการละลายได้ดีกว่า แต่ว่างานในวิชาอื่น ๆ ของผมเยอะแล้วครับ ผมไม่อยากจะเพิ่มภาระ งานครับ...
 (บทสัมภาษณ์ใน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3)

หลังจากเสร็จสิ้นแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 พบว่า นักเรียนกลุ่มนี้มีการเปลี่ยนรูปแบบ การนำเสนอจากเดิมที่จะมีการนำเสนอในรูปแบบ infographic ไปเป็นการสร้างวิดิทัศน์แสดงวิธีการ ผสมยาฆ่าแมลง แสดงให้เห็นว่า การให้ผลสะท้อนกลับ

ท่อนกลับของผู้วิจัยทำให้นักเรียนมีความสร้าง-สรสรรค์ชิ้นงานของนักเรียนเพิ่มมากขึ้น ทำให้นักเรียนในกลุ่มนำข้อมูลที่ผู้วิจัยได้แนะนำไปปรึกษากันและเปลี่ยนรูปแบบในการนำเสนอชิ้นงานที่สามารถแสดงให้เห็นถึงการละลายมากขึ้นได้ และยังเพิ่มความสร้างสรรค์ในการนำเสนอชิ้นงานลงไป ในชิ้นงานของนักเรียนด้วยดังในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 Exit ticket ที่ 3 ของนักเรียน S₁₀

สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 การนำเสนอ หลังจากที่นักเรียนกลุ่มที่ 3 ได้นำเสนอ ชิ้นงานผู้วิจัยและเพื่อนนักเรียนได้ให้ผลสะท้อนกลับเกี่ยวกับชิ้นงานของนักเรียน และเมื่อนักเรียน ได้รับผลสะท้อนกลับ นักเรียนก็นำผลสะท้อนกลับ นั้นไปปรับแก้ไขชิ้นงาน และได้นำชิ้นงานเหล่านั้นมาส่ง พบว่า นักเรียนได้ปรับแก้ไข และเพิ่มเติม เนื้อหาของการละลาย และความเข้มข้นมากยิ่งขึ้น โดยนักเรียนแสดงรายละเอียดของการที่ออกซิเจนละลายในน้ำ ดังในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพชิ้นงานของนักเรียนกลุ่มที่ 3

แสดงให้เห็นได้ว่า ผลจากการให้ผลสะท้อนกลับเพื่อให้นักเรียนปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานของนักเรียนนั้นทำให้ชิ้นงานของนักเรียนมีการพัฒนาเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องการละลายมากยิ่งขึ้น

แนวปฏิบัติที่ 4 ครูควรส่งเสริมให้นักเรียนเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้

นักเรียนส่วนใหญ่ในชั้นเรียนมีความเชื่อในการเรียนว่าครูเป็นผู้ที่มีความสำคัญที่สุดในการเรียนรู้คือ ครูต้องเป็นผู้ให้ความรู้และนักเรียนต้องเป็นผู้รับเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการครูและนักเรียน” ได้รับการเปลี่ยนแปลงลำดับความสำคัญใหม่ ให้เป็นผู้ที่มีความสำคัญที่สุดในการเรียนรู้ โดยนักเรียนต้องมีบทบาทเป็นผู้หาความรู้ด้วยตนเองทั้งหมด และครูจะเปลี่ยนบทบาทให้กลายเป็นเพียงผู้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเรียนของนักเรียนเท่านั้น เมื่อดำเนินการวิจัยจึงพบว่านักเรียนเกิดการสับสนในบทบาทใหม่ที่นักเรียนได้รับคือ นักเรียนมักจะร้องขอให้ผู้วิจัยอธิบายหรือให้ความรู้แก่นักเรียน เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 นักเรียน S₃ กล่าวว่า “อาจารย์ลองอธิบายมาซิ” “หนูถามอาจารย์...อาจารย์ต้องเป็นผู้ให้ความรู้หนู” ผลทำให้นักเรียนไม่สามารถดำเนินโครงการได้ด้วยตนเอง หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงได้พยายามส่งเสริมให้นักเรียนเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้และดำเนินโครงการได้ด้วยตนเองด้วยการโดยการทำตัวเป็นผู้อำนวยความสะดวกที่ดีที่สุดคือเข้าไปให้คำแนะนำการสร้างชิ้นงาน ให้แหล่งข้อมูลแก่นักเรียนเพิ่มเติม เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ผู้วิจัยได้จัดเตรียมหนังสือให้กับนักเรียน แนะนำแหล่งเรียนรู้ เช่น ห้องสมุดและอินเทอร์เน็ตหรือเว็บไซต์ที่นักเรียนสามารถเข้าไปค้นหาความรู้ได้ และผู้วิจัยพยายามส่งเสริม

ให้นักเรียนเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ โดยให้คำแนะนำและกระตุ้นให้นักเรียนสะท้อนความก้าวหน้าในการทำงานของนักเรียนในทุก ๆ แผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนตระหนักว่านี่คืองานที่กลุ่มนักเรียนต้องรับผิดชอบซึ่งไม่มีผู้ใดสามารถทำแทนได้

แต่ยังพบว่า นักเรียนยังมีปัญหาในการจัดการโครงการของตนเอง เช่น ในบันทึกหลังการสอนที่ 4 “นักเรียนหลายกลุ่มขอทำการถ่ายทำนอกเวลาในช่วงวันหยุด” โดยนักเรียนส่วนใหญ่ปล่อยเวลาในห้องเรียนให้เสียไป และรอเพียงว่าจะนัดกันไปทำงานในวันหยุด ซึ่งผู้วิจัยได้ส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักถึงการเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ โดยส่งเสริมให้นักเรียนวางแผนการทำงานด้วยตนเอง ตลอดจนติดตามนักเรียนไปสังเกตการทำงานของนักเรียนอย่างใกล้ชิดดังภาพที่ 6 ซึ่งเป็นภาพบรรยากาศขณะที่นักเรียนถ่ายทำเพื่อสร้างชิ้นงานของนักเรียนกลุ่มที่ 1 ที่โรงเรียน



ภาพที่ 6 บรรยากาศขณะการถ่ายทำของนักเรียน

แม้ว่าผู้วิจัยพยายามให้การสนับสนุนให้นักเรียนเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ แต่ยังพบว่าในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 นักเรียนบางส่วนยังคงสับสนในลำดับความสำคัญใหม่ของตนเอง เช่น ในบันทึกหลังสอนที่ 5 โดยนักเรียน S₃ กล่าวว่า “หนูยังไม่ได้เรียนเลยแล้วหนูจะทำได้อย่างไร” แต่ก็พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความพยายามทำ-

งานให้สำเร็จในชั้นเรียนเมื่อผู้วิจัยมอบหมายงานให้นักเรียนทำ แสดงว่า นักเรียนเริ่มรู้สึกว่าเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับบทสัมภาษณ์หลังแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 นักเรียน S₁₂ กล่าวว่า “เรียนแบบนี้มันก็ดีนะอาจารย์...แต่เหมือนเรากำลังปรับตัว”

แนวปฏิบัติที่ 5 ครูควรจัดการเรียนรู้ให้เป็นไปตามกระบวนการของ PBL เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน

จากการสำรวจแนวคิดก่อนเรียน ที่พบว่า นักเรียนมีแนวคิดเรื่องการละลายในระดับมหภาค และไม่สามารถอธิบายแนวคิดในระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ได้ แม้ว่านักเรียนได้เรียนเรื่องสารละลายไปแล้วในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น การส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความเชื่อมโยงของแนวคิดทางเคมีทั้ง 3 ระดับ สามารถช่วยให้นักเรียนพัฒนาแนวคิดทางด้านเคมีมากขึ้นได้ ซึ่งการสร้างชิ้นงานเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความเชื่อมโยงของแนวคิดทางเคมี เช่น เมื่อนักเรียนสร้างชิ้นงานที่แสดงการละลายในระดับที่ตามองเห็น (มหภาค) และนักเรียนสามารถอธิบายถึงการละลายโดยแสดงในระดับโมเลกุลว่าเหตุใดจึงเกิดการละลาย (จุลภาค) และใช้สูตรทางเคมีเข้ามารวมอธิบายเรื่องการละลาย (สัญลักษณ์) ซึ่งการสร้างชิ้นงานที่จะแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของแนวคิดทางเคมีทั้ง 3 ระดับนั้นเป็นเรื่องที่ยาก แต่ใช้ ICT เป็นเครื่องมือการเรียนรู้ จะทำให้นักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานได้ง่ายยิ่งขึ้น

ด้วยเหตุที่การสร้างชิ้นงานในลักษณะดังกล่าวต้องการเวลาในการสร้าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดการเรียนรู้ที่เป็นลำดับขั้นเพื่อช่วยให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

เป็นการวางแผนการทำงาน ในแผนนี้เป็นการให้นักเรียนวางแผน โดยเลือกสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสารละลายที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นการแสดงแนวคิดในระดับมหภาค จากนั้นผู้วิจัยแนะนำชิ้นงานรูปแบบต่าง ๆ ให้กับนักเรียน เช่น infographic, plain English, stop motion, clay motion รายการข่าว สไลด์ภาพฉาย และบทบาทสมมติ โดยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถเลือกสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสารละลายได้ และนักเรียนมีการเลือกวิธีการนำเสนอที่สามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ของแนวคิดทางเคมีทั้ง 3 ระดับได้

ในแผนการจัดการเรียนรู้ถัดมา นักเรียนช่วยกันหาข้อมูลเพื่อสร้างแผนผังความคิดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเรื่องสารละลายของกลุ่มตนเอง ซึ่งใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการสร้างชิ้นงานของนักเรียน โดยผู้วิจัยได้แนะนำแหล่งข้อมูลสำหรับสืบค้นโดยนักเรียนต้องนำเสนอแผนผังความคิดของกลุ่มตนเองในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

หลังจากนักเรียนนำเสนอแผนผังความคิดในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เสร็จ นักเรียนจะสร้าง storyboard และ script ซึ่งช่วยให้นักเรียนสรุปข้อมูลที่หามาได้และนำมาร้อยเรียงเป็นเรื่องราวในการนำเสนอ เพื่อให้นักเรียนสร้างการนำเสนอข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันของแนวคิดทางเคมีทั้ง 3 ระดับ ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 นักเรียนลงมือสร้างชิ้นงานตามแผนที่นักเรียนได้วางเอาไว้ พบว่า นักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานได้สำเร็จภายในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ดังในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นชิ้นงานของนักเรียนกลุ่มที่ 3

เมื่อครูจัดการเรียนรู้ให้เป็นไปตามกระบวนการของ PBL พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สร้างชิ้นงานที่มีการเชื่อมโยงแนวคิดที่มากกว่าระดับ

มหภาค เช่น กลุ่มที่ 3 กล่าวถึงระดับมหภาคคือ น้ำ และระดับสัญลักษณ์คือ O₂ ซึ่งนักเรียนหมายถึงแก๊สออกซิเจน แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงานของนักเรียนมีการเชื่อมโยงในระดับมหภาคและระดับสัญลักษณ์

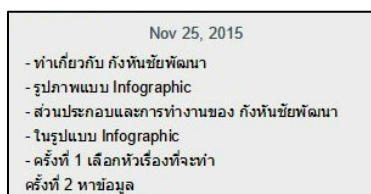
แนวปฏิบัติที่ 6 ครูควรใช้การประเมินตลอดเวลาตามแนวทางของ PBL โดยใช้ ICT

ในการจัดการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้วางแผนให้มีการประเมินตลอดเวลา (formative assessment) จากชิ้นงานของนักเรียน ใบกิจกรรม exit ticket และแบบทดสอบหลังเรียน ซึ่งผู้วิจัยมีการประเมินในเรื่องของแนวคิดเรื่องสารละลายจากชิ้นงานของนักเรียน คือ แผนการจัดการโครงการ แผนผังความคิดที่ได้จากการสืบค้นข้อมูล storyboard และ script และเรื่องเล่าดิจิทัล ซึ่งทุกชิ้นงานมีจุดประสงค์เพื่อให้นักเรียนทราบถึงความหมายของการละลาย กระบวนการละลาย บทบาทตัวละลายและตัวทำละลาย และหน่วยความเข้มข้นในหน่วยต่าง ๆ นอกจากนี้ทุกชิ้นงานยังประเมินในด้านทักษะ คือ ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี และทักษะชีวิตและอาชีพ คือการสร้างชิ้นงานแต่ละชิ้นของนักเรียน นักเรียนได้ใช้การคิดวิจารณ์ การวิเคราะห์ ในการประเมินข้อมูลที่หามาได้จากนั้นนำมาเสนอต่อกลุ่ม ซึ่งทำให้เกิดการสื่อสารและการทำงานร่วมกัน โดยข้อมูลเหล่านั้นของนักเรียนจะได้มาจากการสืบค้นจากที่ต่าง ๆ เช่น ห้องสมุด อินเทอร์เน็ต เมื่อกลุ่มของนักเรียนได้ข้อตกลงก็จะใช้อุปกรณ์ ICT ในการสร้างชิ้นงาน (เรื่องเล่าดิจิทัล) โดยนักเรียนต้องคำนึงถึงเรื่องต่าง ๆ เช่น การเลือกใช้สื่อ การจัดการข้อมูล การเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสม

อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการสร้างชิ้นงานที่ไม่ผิดจริยธรรม ไม่ดูหมิ่นวัฒนธรรมอื่น ๆ

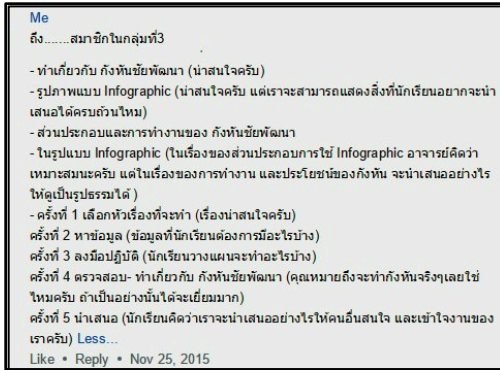
ส่วนใบกิจกรรมเป็นการให้นักเรียนสะท้อนความก้าวหน้าในการทำงาน เช่นเดียวกับ exit ticket เป็นการให้นักเรียนสะท้อนเกี่ยวกับการทำงานแก้ปัญหาและอุปสรรค แนวทางการแก้ไขปัญหา และสิ่งที่จะทำต่อไปในอนาคต

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อผู้วิจัยได้ดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนได้วางแผนการจัดการโครงการ ซึ่งชิ้นงานของนักเรียนในแผนการจัดการเรียนรู้ก็คือ แผนการจัดการโครงการ พบว่า นักเรียนสามารถวางแผนการจัดการโครงการได้ แต่รูปแบบการนำเสนอที่นักเรียนเลือกมาทำ เรื่องเล่าดิจิทัลนั้นยังไม่สามารถสื่อถึงความเข้าใจเรื่องสารละลายได้ ดังในภาพที่ 7 ที่เป็นแผนการจัดการโครงการของนักเรียนกลุ่มที่ 3

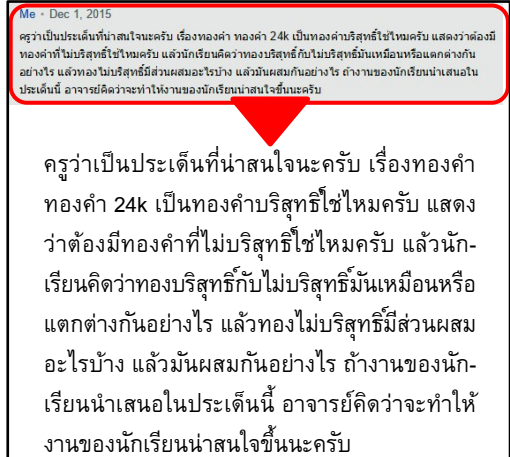


ภาพที่ 7 แผนการจัดการโครงการของนักเรียนกลุ่มที่ 3

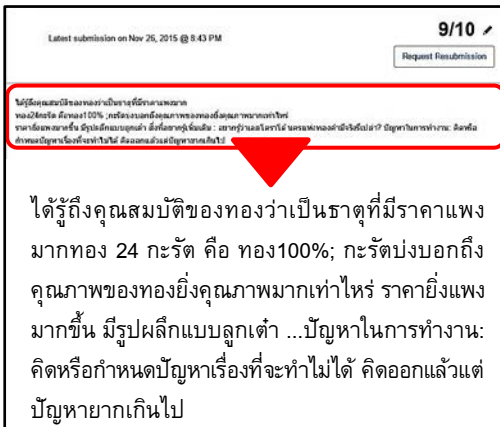
ผู้วิจัยให้คำแนะนำแก่นักเรียนเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างชิ้นงานที่นักเรียนสามารถเข้าใจเรื่องสารละลายได้ดียิ่งขึ้น ดังในภาพที่ 8 อีกทั้งท้ายชั่วโมงการจัดการเรียนรู้ นักเรียนได้เขียน exit ticket เพื่อสะท้อนในสิ่งที่ได้เรียนรู้ สิ่งที่ยากูรู้เพิ่มเติม และปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน ดังในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 ข้อเสนอแนะต่อแผนการจัดการโครงการของนักเรียน



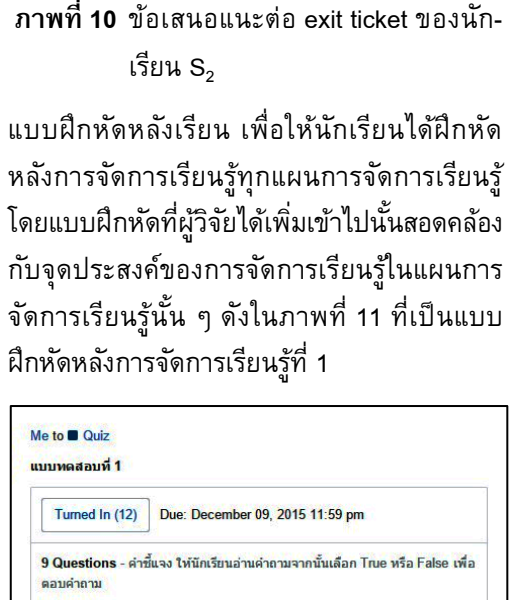
ภาพที่ 10 ข้อเสนอแนะต่อ exit ticket ของนักเรียน S₂



ภาพที่ 9 Exit ticket ของนักเรียน S₂

จาก Exit ticket จะเห็นได้ว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจเกี่ยวกับสารละลายที่ยังไม่ตรงกับจุดประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยจึงได้ให้ข้อเสนอแนะแก่นักเรียนเพื่อเป็นแนวทางในการหาความรู้เกี่ยวกับสารละลายและการสร้างชิ้นงาน ดังในภาพที่ 10

หลังจากการจัดการเรียนรู้ที่ 1 พบว่าอาจารย์นิเทศก์ในโรงเรียนได้ให้ข้อสังเกตว่า “หากไม่มีการให้นักเรียนฝึกหัดทำโจทย์ปัญหา จะทำให้นักเรียนไม่สามารถทำแบบทดสอบหลังเรียนได้ เนื่องจากนักเรียนไม่ได้ฝึกคิด และลงมือแก้ไข โจทย์ปัญหาภายในเวลาที่จำกัด” ผู้วิจัยจึงได้เพิ่ม



ภาพที่ 11 แบบฝึกหัดหลังการจัดการเรียนรู้ที่ 1

นักเรียนส่วนใหญ่สามารถทำแบบฝึกหัดหลังเรียนได้ 8 ใน 9 ข้อ แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจในจุดประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ และนักเรียนยังสามารถทำแบบฝึกหัดหลังการจัดการเรียนรู้ในครั้งถัดไปได้มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งสอดคล้องกับชิ้นงานของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องสารละลาย

จากการประเมินตลอดเวลา (formative assessment) ทำให้เห็นว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจที่ไม่ตรงกับจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ อย่างไรก็ตาม ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถให้ข้อเสนอแนะแก่นักเรียนได้ อีกทั้งยังทำให้ผู้วิจัยมองเห็นปัญหาการจัดการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 คือนักเรียนยังไม่มีความเข้าใจเกี่ยวกับสารละลาย ดังนั้นในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ผู้วิจัยจึงได้ให้นักเรียนสร้างแผนผังความคิดเกี่ยวกับสารละลายในเรื่องที่นักเรียนเลือกในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจในเรื่องสารละลายที่มากและลึกซึ้งยิ่งขึ้น

อภิปรายผล

จากผลการวิจัย พบว่า แนวปฏิบัติที่ดีที่จะช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาแนวคิดและทักษะในศตวรรษที่ 21 คือ ครูควรสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT เนื่องจากนักเรียนได้รับการเปลี่ยนลำดับความสำคัญให้มีความสำคัญที่สุดในการเรียนรู้ เช่น นักเรียนจะได้รับผิดชอบกระบวนการเรียนรู้โดยสร้างชิ้นงาน วางแผนการทำงาน ปรับตัวอยู่ในบริบท ตามบทบาทหน้าที่ในกลุ่ม (CTE, 2012) ซึ่งการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการมีการนำเข้าสู่บทเรียนที่สามารถจูงใจนักเรียน (Grant, 2002) ให้เกิดความอยากรู้อยากเห็นเกี่ยวกับสิ่งที่เรียน ครูเป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็น โดยการใช้เหตุการณ์ คำถาม วีดีโอ หรือสร้างสถานการณ์จำลองขึ้นมาเพื่อให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจในการเรียนมากยิ่งขึ้น (BIE, 2015) แนวปฏิบัติต่อมาคือครูควรใช้คำถามขับเคลื่อนโครงการเพื่อสนับสนุนการวางแผนและการสร้างชิ้นงานของนักเรียน เนื่องจากคำถามที่ขับเคลื่อน

โครงการเป็นคำถามที่มีความน่าสนใจและเชื่อมโยงบทเรียนกับสิ่งที่นักเรียนอยากรู้อยากเห็นมากที่สุด (BIE, 2015) โดยเป็นคำถามที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่เรียน และสร้างขึ้นจากการกระตุ้นและสนับสนุนให้นักเรียนหาทางแก้ไขปัญหาย่างชาญฉลาด (Thomas, 2000) เป็นคำถามที่ทำให้ผู้เรียนมองเห็นแนวทางเพื่อหาคำตอบและเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะทำให้นักเรียนสามารถดำเนินโครงการดำเนินไปได้ด้วยตนเอง (Krajcik et al. 1999) นอกจากนั้นยังพบว่าครูควรให้ผลสะท้อนกลับเพื่อการกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ในชิ้นงานและการแก้ไขชิ้นงานของนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการ คือ ในระหว่างการเรียนรู้ นักเรียนมีการแสดงความคิดเห็นเพื่อวิจารณ์งานของกลุ่มตัวเอง ทำให้เกิดการแก้ไข (BIE, 2015) ซึ่งการที่นักเรียนได้รับผลสะท้อนกลับเป็นกระบวนการในการเรียนรู้ ทำให้เกิดการแก้ไข และทำให้งานของนักเรียนพัฒนามากยิ่งขึ้น (Edutopia, 2014) ซึ่งเป็นลักษณะการแนะนำและสร้างความรู้โดยการให้คำปรึกษาตามลักษณะที่สำคัญของ PBL (Grant, 2002) ช่วยให้นักเรียนสะท้อนประสบการณ์การเรียนรู้และกระบวนการได้อย่างมีวิจารณญาณ (CTE, 2012) ครูควรส่งเสริมให้นักเรียนเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการนั้นนักเรียนต้องเป็นผู้ดำเนินการในการหาคำตอบหรือร่างชิ้นงานด้วยตัวเอง เนื่องจากนักเรียนได้เรียนรู้ในเนื้อหาทั้งหมดผ่านกระบวนการทำงานกลุ่ม (Edutopia, 2014) ทำให้นักเรียนได้ฝึกคิดแก้ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยที่หลากหลาย ได้ฝึกการจัดการความต่อเนื่องของข้อมูลจากแหล่งที่หลากหลาย และใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการสร้างสื่อ (CTE, 2012)

ซึ่งนักเรียนจะได้มีอิสระในการเรียนรู้ของตนเอง (BIE, 2015) และแนวปฏิบัติที่ดีในข้อต่อมาคือครูควรจัดการเรียนรู้ให้เป็นไปตามกระบวนการของ PBL เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างชิ้นงานให้นักเรียนได้สำรวจตรวจสอบและขยายขอบเขตการเรียนรู้ของตนเองและโอกาสในการได้รับประสบการณ์ใหม่ที่เหนือกว่าหลักสูตร (CTE, 2012) และสอดคล้องกับลักษณะ PBL ที่สำคัญคือ ใช้กระบวนการในการสืบเสาะความรู้เพื่อตอบคำถาม ขับเคลื่อนโครงการ นักเรียนจะได้ทำงานร่วมกันระหว่างครูและนักเรียน และสะท้อนความคิดเพื่อสร้างความรู้ (Grant, 2002) และสุดท้ายครูควรเชื่อมโยงผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางของ PBL โดยใช้ ICT เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการครูต้องสร้างหรือปรับโครงการเพื่อบริบทของนักเรียนและเพื่อให้มั่นใจได้ว่านักเรียนได้เรียนรู้และเข้าใจหัวใจสำคัญของเรื่องที่เรียน (Larmer and Mergendoller, 2010) ซึ่งต้องมีการประเมินที่หลากหลาย (Edutopia, 2014) และสามารถประเมินได้ตลอดเวลา (Thomas, 2000)

สรุปผลการวิจัย

แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT เพื่อให้นักเรียนพัฒนาแนวคิดเรื่องสารละลาย และทักษะในศตวรรษที่ 21 คือ (1) ครูควรสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถดำเนินโครงการไปด้วยตนเองได้ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเรียนรู้เนื้อหาและทักษะสำคัญต่าง ๆ (2) ครูควรใช้คำถามขับเคลื่อนโครงการเพื่อสนับสนุนการวางแผนและการสร้างชิ้นงานของนักเรียน (3) ครูควรให้ผล

สะท้อนกลับเพื่อกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ในชิ้นงานและการแก้ไขชิ้นงานของนักเรียน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาทักษะการทำงานและทำให้ชิ้นงานของนักเรียนเกิดการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น (4) ครูควรส่งเสริมให้นักเรียนเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ เพื่อที่นักเรียนจะได้เรียนรู้สิ่งสำคัญต่าง ๆ ในกระบวนการสร้างชิ้นงาน (5) ครูควรจัดการเรียนรู้ให้เป็นไปตามกระบวนการของ PBL เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน โดยใช้กระบวนการสืบเสาะความรู้หาความรู้ที่มากกว่าในหลักสูตร และ (6) ครูควรจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ PBL โดยใช้ ICT เพื่อให้มั่นใจได้ว่านักเรียนได้เรียนรู้และเข้าใจหัวใจสำคัญของเรื่องที่เรียน และสามารถประเมินนักเรียนได้ตลอดเวลา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Afriana, J., Ismail M. S., and Rahman, A. Z. (2015). **Improving Scientific Literacy through Project-based Learning**. Retrieved from <https://goo.gl/xUodNO>, July 24, 2015.
- ALTEC. (2016). **What is a Rubric?** Retrieved from <http://rubistar.4teachers.org/index.php?screen=WhatIs>, March 21, 2016.
- Bodner G. M., and Heron, J. D. (2002). Problem-solving in chemistry. In Gilbert, J. K., de Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., and van Driel, J. H. (Eds.), **Chemical Educ-**

- ation: Towards Research-based Practice** (pp. 235 – 266). Dordrecht: Kluwer.
- Buck Institute for Education [BIE]. (2015). **Gold Standard PBL: Essential Project Design Elements**. Retrieved from http://bie.org/object/document/goldstandard_pbl_essential_project_design_elements., July 14, 2006.
- Bunpeng, S. (2015). **Developing Grade 11th Students' Conceptions about Rate of Chemical Reaction Using Multiple Representations and Inquiry Learning Activities**. Master of Education Thesis (Science Education). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Career and Technical Education. [CTE]. (2012). **21st Century Skill Standards Rubrics**. Retrieved from <http://goo.gl/KaZntQ>, November 3, 2015.
- Chanlinn, L. J. (2008). Technology integration applied to project-based learning in science. **Innovation in Education and Teaching International** 45: 55–65.
- Edutopia. (2014). **5 Keys to Rigorous Project-based Learning**. Retrieved from <http://www.edutopia.org/video/5-keys-rigorous-project-based-learning>, November 3, 2015.
- Edutopia. (2015). **Project-Based Learning**. Retrieved from <http://www.edutopia.org/project-based-learning>, November 3, 2015.
- Grant, M. (2002). Getting a grip on project-based learning: Theory, cases and recommendations. **Meridian: A middle School Computer Technologies Journal**. Retrieved from <http://www.ncsu.edu/meridian/win2002/514/project-based.pdf>, November 3, 2015.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST]. (2014). **PISA 2012 Results in Mathematics, Reading, and Science: What do students know? and What can students do?** Bangkok: Aroon Printing. (in Thai)
- Intel Teach to Future. (2007). **Designing Effective Projects: Designing Projects and Benefits of Learning Projects**. Retrieved from <https://goo.gl/rwqIXQ>, September 15, 2015. (in Thai)
- Kay, K. (2011). **21st Century Education and PBL**. Retrieved from http://bie.org/blog/21st_century_education_and_pbl, October 15, 2015.
- Krajcik, J., Charlene, M.C. and Carl, F. B. (1999). **Teaching Science in Elementary and Middle School Classrooms: A Project-Based Approach**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Larmer, J., and Mergendoller, J. R. (2010). Seven essentials for project-based learning. **Educational Leadership** 68(1): 34–37.
- Ministry of Education. (2014). **21st Century Learning**. Retrieved from <http://goo.gl/sbJHkJ>, October 13, 2015. (in Thai)
- Mioduser, D., and Betzer, N. (2007). The con-

- tribution of project-based-learning to high-achievers' acquisition of technological knowledge and skills. **International Journal of Technology and Design Education** 18(1): 59–77.
- Organization for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2013). **PISA 2015 Draft Science Framework**. Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>, September 21, 2015.
- Papert, S., and Harel, I. (1991). **Situating Constructionism**. Retrieved from http://web.media.mit.edu/~calla/web_comunidad/Reading-En/situating_constructionism.pdf, November 3, 2015.
- Partnership for 21st Century Learning. (2015). **Framework for 21st Century Learning**. Retrieved from <http://www.p21.org/our-work/p21-framework>, September 21, 2015.
- Ministry of Education. (2008). **Indicators and Learning Standards in Learning Area of Science: The Basic Education Core Curriculum B.E. 2551**. Bangkok: The Agricultural Cooperative Federation of Thailand. (in Thai)
- Thomas, J. (2000). **A review of research on project-based learning**. Retrieved from http://www.ri.net/middletown/mef/linksresources/documents/researchreviewPBL_070226.pdf, November 3, 2015.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D. and Mamiala, L. T. (2003). The role of sub-microscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education** 25(11): 1353–1368.