



บทความวิชาการ

ปัญหาและความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์: การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้ประสบความสำเร็จ

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ^{1*} และอรุณ ชาญชัยเขาวีวัฒน์²

¹ภาควิชาชีววิทยา และหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

²สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600

*Email: somkiatp@g.swu.ac.th

รับบทความ: 20 ธันวาคม 2564 แก้ไขบทความ: 9 กุมภาพันธ์ 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 11 กุมภาพันธ์ 2565

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการปรับสมดุลใหม่ที่ผู้สอนและผู้เรียนต้องปรับตัวให้ทันสถานการณ์อยู่เสมอ โดยเฉพาะสถานการณ์โควิด-19 ซึ่งมีผลต่อการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ปัญหาสำคัญในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คือ เนื้อหาวิทยาศาสตร์มีทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม ส่วนที่เป็นนามธรรมไม่สามารถจัดการเรียนรู้โดยใช้การบรรยายแบบปกติได้ ต้องหาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยแสดงลักษณะที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าให้ออกมาเป็นสิ่งที่อธิบายได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ อย่างเข้าใจ นอกจากนี้สิ่งที่มีปัญหามากที่สุดในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์คือ “การทำปฏิบัติการ” การใช้เฉพาะปฏิบัติการที่อยู่บนออนไลน์หรือกิจกรรมที่ไม่ได้ทำการทดลอง ส่วนใหญ่ได้เพียงทำให้ผู้เรียนจดจำภาพที่เกิดขึ้นจากการสังเกตในสื่อวีดิทัศน์ ใช้กิจกรรมลงมือปฏิบัติแบบแห้ง (dry practical) หรือด้วยเทคนิคการจำลอง (simulation) ต่าง ๆ ก็อาจไม่เท่าเทียมกับการปฏิบัติการจริง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปัญหาของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบออนไลน์และสร้างความท้าทายในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้ได้ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของเนื้อหา นั้น โดยอธิบายเรื่องปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19 ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19 ในประเทศไทย และความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในยุคปกติใหม่

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์, การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์, ความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์, ปัญหาการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์

Academic Article

Issue and challenge of teaching science: Successful online-learning management

Somkiat Phornphisutthimas^{1,*} and Arun Chanchaichavivat²

¹*Department of Biology, and Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning,
Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand*

²*Program Study of Microbiology, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600, Thailand*

**Email: somkiatp@gs.wu.ac.th*

Received <20 December 2021>; Revised <9 February 2022>; Accepted <11 February 2022>

Abstract

Nowadays, there are new normal that teachers and learners have always brought up to date, particularly Covid-19 crisis, highly affecting the science learning management. The important issue of science learning management is scientific contexts that are both concrete and abstract. The abstract concepts cannot be taught using only the lecture; therefore, the learning management has been found to elucidate microscopic concepts to be understanding descriptions using various methods. In addition, the critical issue of science learning is “doing laboratory”. Either online practical or non-laboratory practical can assist learners to memorise figures that they have observed from video, dry practical or many simulation techniques. They cannot give knowledge as doing the experiments. This article aimed at investigating issues of online-learning management in science and challenging online learning to achieve the contextual learning objectives by starting from issues of learning management during Covid-19 crisis, issues of science learning management during Covid-19 crisis in Thailand, and Challenge of science learning management in new normal situation.

Keywords: Science Learning Management, Online-learning management, Challenge of Science Learning, Issues of online-learning management

บทนำ

ปัจจุบันการระบาดของโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโควิด-19 ทำให้ต้องปรับเปลี่ยนการจัดการเรียนรู้เข้าสู่ยุคปกติใหม่ (new normal) และมีผลกระทบต่อจัดการการเรียนรู้ในโรงเรียน วิทยาลัย และมหาวิทยาลัยเป็นอย่างมาก การจัดการเรียนรู้แบบเดิม ณ สถานที่ตั้ง (on site) ทำได้น้อยลง และมีการปรับเปลี่ยนบริบทมาเป็นการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ (online learning) มากขึ้น นอกจากนี้ผู้เรียนบางคนสามารถมาเรียน ณ สถานที่ตั้งได้ แต่บางคนไม่สามารถมาเรียน ณ สถานที่ตั้งได้ เนื่องจากอยู่ในบริเวณที่มีการแพร่ระบาดของโรค หรือต้องกักตัวเนื่องจากไปบริเวณพื้นที่เสี่ยง ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนการจัดการเรียนรู้ร่วมกันทั้งสองแบบ การจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบที่หลากหลาย เช่น มีการจัดการเรียนรู้แบบเผชิญหน้า (face-to-face learning) ทั้ง ณ สถานที่ตั้งร่วมกับการจัดการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนศึกษาเองแบบออนไลน์ เรียกว่า การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (blended learning) หรือการจัดการเรียนรู้แบบไฮบริด (hybrid learning) (Allen and Seaman, 2005; Bidarra and Rusman, 2017) โดยจะต้องมีการจัดการเรียนรู้ที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนอย่างน้อยร้อยละ 70 ส่วนที่เหลืออาจใช้สื่อหรือเว็บไซต์ช่วยจัดการเรียนรู้แบบไม่มีปฏิสัมพันธ์ (ไม่ควรเกินร้อยละ 30 ของเวลาจัดการเรียนรู้ทั้งหมด)

ปัญหาเรื่องการจัดการเรียนรู้ในภาวะสถานการณ์ที่ไม่คาดคิด เช่น การแพร่ระบาดของโรคซาร์ อีโบล่า โควิด-19 เป็นปัญหาไปทั่วทุกประเทศ (OECD, 2020; UNESCO, 2020) กระทบการเรียนการสอนทุกระดับ โดยเฉพาะรายวิชาวิทยาศาสตร์ และรายวิชาอื่นที่มีปฏิบัติการที่ผู้เรียนต้องลงมือทำเองเพื่อให้ได้รับทักษะตามผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ควรจะเป็น ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีวิธีการจัดการเรียนรู้ใดที่ดีที่สุดในการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนได้รับความรู้ได้ตามที่ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ จึงเป็นความท้าทายที่ผู้สอนต้องจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้รับความรู้ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้หรือผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังตามระบบการจัดการออกแบบการสอนโดยตรง (forward design) หรือการออกแบบการสอนแบบย้อนกลับ (backward design) นอกจากนี้ผู้สอนยังต้องสร้างทักษะต่าง ๆ ให้กับผู้เรียนตามทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้วย (Phornphisutthimas, 2014)

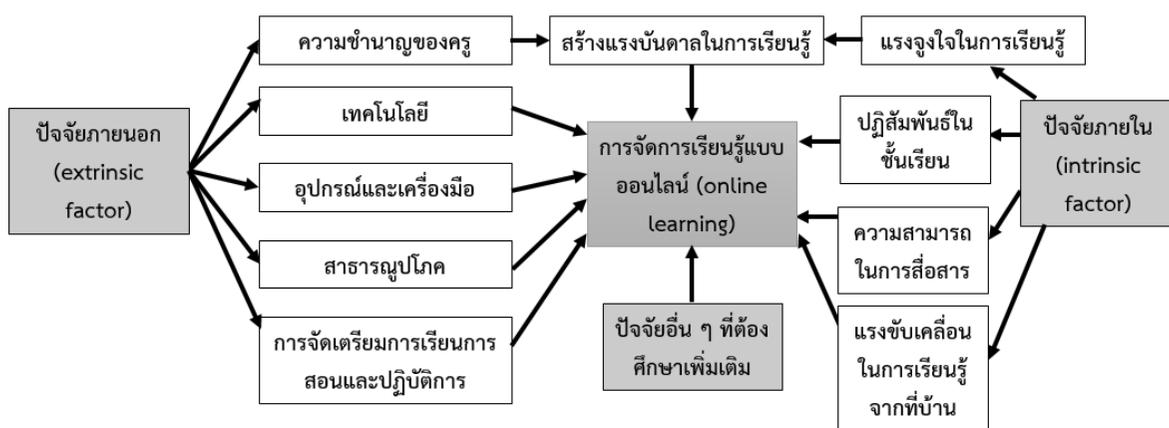
บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะแสดงปัญหาในการจัดการเรียนการสอนในภาวะการแพร่ระบาดของโควิด-19 และความท้าทายในการจัดการเรียนรู้ในภาวะดังกล่าว เพื่อทำให้การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ปกติจัดการเรียนรู้ ณ สถานที่ตั้ง ซึ่งบางหัวข้อยังต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ความรู้ที่ถี่ เนื่องจากเป็นหัวข้อที่เป็นนามธรรม มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า และทำปฏิบัติการได้ยาก รวมไปถึงการทดลองบางการทดลองต้องใช้งบประมาณในการเรียนรู้สูง จนต้องทำชุดปฏิบัติการขนาดเล็ก (small-scale practical) (Baiya and Phornphisutthimas, 2014; Halme *et al.*, 2006; Karayannis *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการระบาดของไวรัสโคโรนา (coronavirus) ที่มีการแพร่กระจายในอากาศ ติดเชื้อ แสดงอาการรุนแรงที่ปอด และทำให้เสียชีวิตได้ ที่เรียกว่า ไวรัสซาร์-โควิ-2 (SAR-CoV-2 virus) หรือโควิด-19 ในปี พ.ศ. 2563 การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ณ สถานที่ตั้งก็หยุดลงตามประกาศกระทรวงศึกษาธิการ และกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ทันทิ และให้มีการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์โดยทั้งผู้สอนสอนและผู้เรียนเรียนรู้ที่บ้าน โดยไม่ต้องเดินทางมาที่โรงเรียนและมหาวิทยาลัย โดยการประกาศให้เป็นไปตามหน่วยงานที่ทำการเรียนการสอนนั้น ซึ่งเกือบทั้งหมดไม่มีการเรียน ณ สถานที่ตั้ง ให้เรียนออนไลน์อยู่ที่บ้านทั้งหมด และประกาศให้ผู้สอนและเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่บ้าน (work from home: WFH)

จากการรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศไทย พบว่า หน่วยงานไม่เคยได้รับการเตรียมความพร้อมเพื่อให้อจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์มาก่อน จึงเกิดความวุ่นวายในการจัดการเรียนรู้ในปี พ.ศ. 2563 นอกจากนี้ยังไม่ได้มีการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อให้สามารถจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ด้วย เช่น ผู้เรียนบางคนไม่มีคอมพิวเตอร์ Wi-Fi ไม่มีหรือไม่มีดีพจะเรียนรู้ได้ตลอดเวลา บางบ้านไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึง ทำให้ผู้เรียนต้องไปเรียนรู้ที่บ้านเพื่อนที่อยู่ใกล้เคียง เหตุการณ์เหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะในประเทศไทยเท่านั้น ยังเกิดขึ้นในประเทศอื่นเช่นกัน เช่น ไนเซปรัส (Adedoyin and Soykan, 2020) ฟิลิปินส์ (Barrot, Llenares and del Rosario, 2021) อินโดนีเซีย (Efriana, 2021) อเมริกา (Garcia and Weiss, 2020) อังกฤษ (Stokes and Lewis, 2021) ปัญหาซึ่งเกิดจากความไม่พร้อมต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการฉลาดรู้ทางเทคโนโลยี (digital literacy) ความไม่พร้อมของอุปกรณ์และเครื่องมือ (facilities) จึงทำให้ความรู้ที่ผู้เรียนควรได้รับลดลงทันที ยกตัวอย่างในห้องเรียนชีวิตลิตีของผู้เขียน (2563) ซึ่งยังจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้งได้ร้อยละ 60 ของภาคการศึกษา แต่พอให้อจัดการเรียนการสอนและส่งการบ้านผ่าน Google Classroom ผู้เรียนบางคนยังใช้ไม่เป็น การตรวจการบ้านคืนทำได้ยาก ต้องใช้ Facebook group ในการตรวจการบ้าน แต่ผู้เรียนมักถามคำถามในเวลาเลยเวลาราชการ เช่น 21:00 น. ถึง 2:00 น. ของวันถัดไป ทำให้ผู้สอนต้องรับภาระในการตอบคำถามเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ครบถ้วน ในปี พ.ศ. 2564 มีการอนุญาตให้เข้าเรียนในสถานที่ตั้ง และประกาศปิดกะทันหัน ทำให้ผู้เรียนบางคนไม่ได้นำเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (laptop) กลับไปที่บ้าน ทำให้การจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลข้อมูลยุ่งยากมาก บางคนใช้รุ่นไม่ตรงกับผู้สอน บางคนมีแต่ iPad บางคนไม่มีโปรแกรม

คอมพิวเตอร์ ผู้สอนต้องใช้ทุกวิถีในการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ได้วิธีการคิด เป้าหมายของการออกแบบการทดลอง และผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในงานวิจัยของผู้เรียนต่อไปในอนาคต และเมื่อจัดการเรียนรู้วิชาชีวสถิติในปีการศึกษา 2564 พบว่า ร้อยละ 56.25 ของผู้เรียนทั้งหมด ไม่มีคอมพิวเตอร์ จึงทำให้การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ไม่สามารถทำได้ ทำได้เพียงการสาธิตให้ผู้เรียนเท่านั้น นอกจากนี้ผู้สอนบางคนมีวิชาสอนหลายรายวิชา จึงทำให้การสอนสดผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ทุกวันทำได้ยาก โดยเฉพาะผู้สอนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน จึงจัดการเรียนรู้แบบไม่ประสานเวลา (asynchronous learning) โดยบันทึกวีดิทัศน์แล้วส่งให้ผู้เรียนเรียนรู้เอง จากนั้นส่งการบ้านให้ผู้เรียนส่ง และเป็นแบบนี้เกือบทุกรายวิชา ผู้สอนจะเหนื่อยในปีแรก เพราะการบันทึกและตัดต่อวีดิทัศน์ต้องใช้เวลาานาน เครื่องคอมพิวเตอร์ไม่สอดคล้องกับการทำงานหนัก จึงเกิดความเสียหาย ในด้านผู้เรียน เมื่อมีการบ้านเพิ่มมากขึ้น ก็ทำกันไม่ไหว ก็เลิกทำการบ้าน ไม่ส่ง และไม่สนใจคะแนนที่ครูจะให้ เกือบทุกโรงเรียนจึงสร้างไลน์กลุ่มผู้ปกครอง และตามการบ้านที่ผู้ปกครองแทน และกำชับให้ผู้ปกครองมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ของผู้เรียนด้วย ปัญหาที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์เมื่อวิเคราะห์ทั้งปัจจัยทั้งภายในและภายนอกแสดงดังภาพที่ 1 นอกจากนี้ยังต้องมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นปัญหาในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์



ภาพที่ 1 ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในที่ส่งผลกระทบต่อการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์

ปัญหาด้านการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ไม่ได้เป็นปัญหาเฉพาะการเรียนรู้เท่านั้น ยังประสบปัญหาไปถึงการประเมินผลการเรียนรู้ ในปี พ.ศ. 2563 ผู้สอนยังเตรียมตัวไม่ทัน เร่งออกข้อสอบ บางครั้งข้อสอบผิดไม่มีคำตอบ ผู้สอนที่ออกข้อสอบชุดเดียว ใช้ Google Forms ในการเตรียมข้อสอบ ก็เกิดปัญหาผู้เรียนลอกข้อสอบกันเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปี พ.ศ. 2564 ผู้สอนปรับตัวเริ่มมีการใช้โปรแกรมต่าง ๆ มาคุมการสอบ เช่น Safe Exam Browser มีการใช้โปรแกรมจับการคัดลอกข้อสอบ เช่น Plagiarism Checker (Kocdar *et al.*, 2018; Reedy *et al.*, 2021) รวมถึงการเปิดกล้องในขณะที่สอบ ทำให้ผู้เรียนที่มีกล้องเพียงตัวเดียว ไปยืม Smart phone จากผู้ปกครองมาเปิดร่วมด้วย บางคนไม่มีกล้องเลย ก็ต้องปรับแก้ไขการสอบให้เหมาะกับกลุ่มผู้เรียนกลุ่มนั้น ๆ จากการสำรวจปัญหาการเรียนรู้ออนไลน์ของผู้สอนและผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาของ Wisanti *et al.* (2020) พบว่า ปัญหาของการเรียนรู้แบบออนไลน์ในอินโดนีเซียเกิดจากผู้สอนร้อยละ 22 ผู้เรียนร้อยละ 36 และเทคโนโลยีร้อยละ 42 ผู้สอนส่วนใหญ่มีปัญหาในการควบคุมแอปพลิเคชัน การใช้แบบฝึกต่าง ๆ รวมถึงการฝึกงาน และไม่สามารถอธิบายเนื้อหาให้เข้าใจในเรื่องที่กำลังสอนให้ชัดเจนได้ ผู้สอนขาดแรงกระตุ้นให้ผู้เรียนเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ และไม่สามารถอธิบายเนื้อหาให้เข้าใจในขณะที่สอนออนไลน์ได้ สำหรับปัญหาของการเรียนรู้แบบออนไลน์จากผู้เรียน คือ การไม่มีเครื่องมือสื่อสารในการเรียนรู้ ขาดทักษะทางเทคโนโลยี ขาดแรงจูงใจในการเข้าถึงข้อมูล และไม่สามารถเข้าใจหลักการต่าง ๆ ได้ ในปี พ.ศ. 2564 ผู้สอนและผู้เรียนในประเทศไทยได้รับการอบรมให้เข้าใจถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ มากขึ้น ปัญหาเรื่องการเรียนรู้ผ่านแอปพลิเคชันจึงลดลง (Somsathan and Sanjaiprom, 2021) เช่นเดียวกับในประเทศอื่น ๆ (Dhawan, 2020; Zalatl, Hamed and Bolbol, 2021)

จากการศึกษาการเรียนรู้ของผู้เรียนทันตแพทย์ในสหรัฐอเมริกาของ Zheng *et al.* (2021) พบว่า ผู้เรียนทันตแพทย์ต้องการเรียนรู้เนื้อหาที่ต้องใช้ทักษะแบบเผชิญหน้ากับผู้สอนมากกว่าเรียนแบบออนไลน์ เช่น กายวิภาคศาสตร์และมิวซิววิทยา (anatomy and histology) การฝึกปฏิบัติทางคลินิก และต้องการการสนับสนุนข้อมูลทางออนไลน์ ส่วนเนื้อหาที่ไม่ได้เป็นการปฏิบัติ ผู้เรียนก็สนใจเรียนแบบออนไลน์มากกว่าแบบเผชิญหน้า เมื่อพิจารณาเรื่องการเรียนออนไลน์ พบว่า ผู้เรียนชอบเรียนร่วมกันแบบผสมผสานทั้งแบบประสานเวลาหรือผู้สอนสอนเองและมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนโดยตรง (synchronous learning) และแบบไม่ประสานเวลาหรือผู้เรียนไปเรียนจากวีดิทัศน์ที่ผู้สอนบันทึกไว้ก่อนเวลาที่สอน แต่มีกลุ่มผู้เรียนบางกลุ่มต้องการเรียน

แบบเผชิญหน้ากับผู้สอนร่วมกับออนไลน์แบบไม่ประสานเวลา และบางเนื้อหา ผู้เรียนต้องการให้ผู้สอนอธิบาย ไม่ต้องการวิธีทัศนให้ไปศึกษาเอง เช่น เกสซ์คลินิกและพยาธิคลินิก ทันตรัังสีวิทยา และเมื่อนำเกรดที่ผู้เรียนได้รับในแต่ละรายวิชามาเปรียบเทียบกับระหว่างการสอนออนไลน์แบบประสานเวลา ไม่ประสานเวลา และแบบเผชิญหน้ากับผู้สอน พบว่า เนื้อหาที่มีปฏิบัติการที่ต้องใช้ทักษะ การสอนแบบประสานเวลาและแบบเผชิญหน้ากับผู้สอนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าการสอนแบบไม่ประสานเวลา ($p < 0.01$)

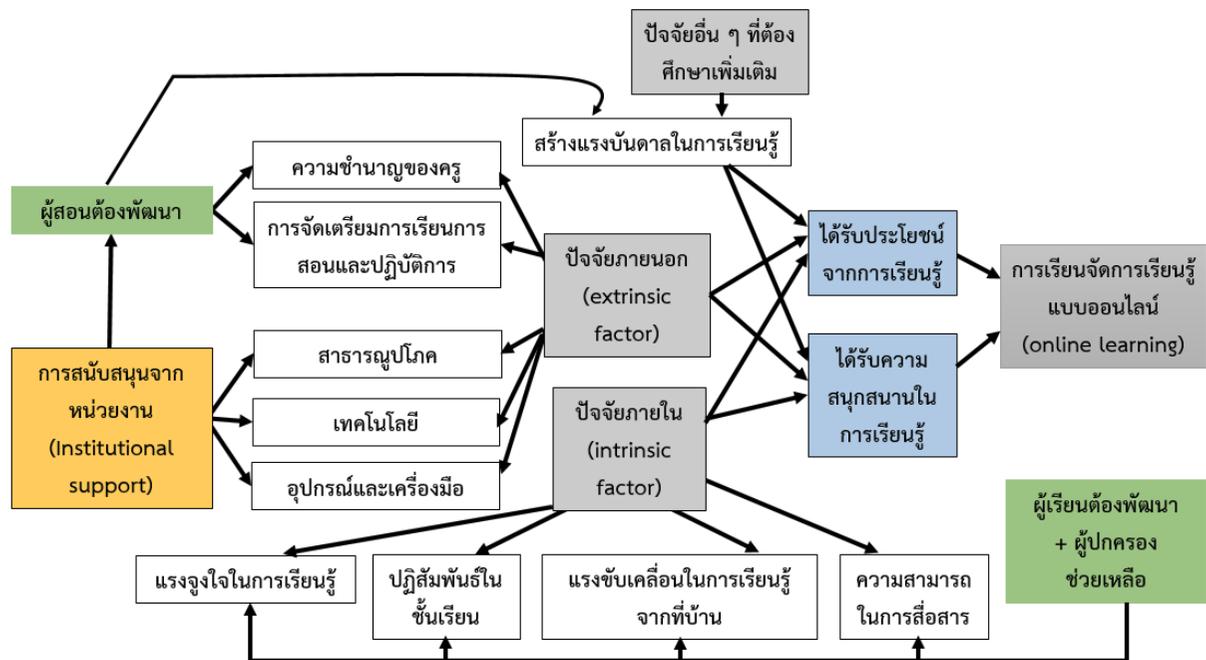
ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19 ในประเทศไทย

จากปัญหาการเรียนรู้ออนไลน์ที่เริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบกับจัดการเรียนรู้ในประเทศไทย จะพบว่า ผู้สอนหลายโรงเรียนยังคงสอนแบบเผชิญหน้ากับผู้เรียน แต่ผู้สอนหลายคนนิยมสอนแบบไม่ประสานเวลาโดยให้ผู้เรียนไปศึกษาความรู้จากบทเรียนที่ผู้สอนบันทึกไว้ให้แล้ว จากการสัมภาษณ์ผู้สอนและผู้เรียนทั้งในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานและอุดมศึกษาอย่างไม่เป็นทางการ และการนิเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูของนิสิตครูในการจัดการเรียนรู้ที่โรงเรียน ในช่วงที่มีการเรียนการสอนแบบออนไลน์ในปีการศึกษา 2563–2564 กับทั้งผู้สอนและผู้เรียน พบว่า ทั้งผู้สอนและผู้เรียนต้องการให้จัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้งมากกว่าการเรียนแบบออนไลน์ ผู้เรียนส่วนใหญ่ไม่ต้องการเรียนแบบไม่ประสานเวลา ไม่ต้องการให้ครูบันทึกวิธีทัศนการสอนไปเรียนเอง หากเป็นการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ผู้เรียนชอบให้ครูสอนแบบประสานเวลามากกว่า ผู้สอนชอบให้ผู้เรียนเปิดกล่องขณะเรียน ส่วนผู้เรียนแจ้งว่าบางครั้งไม่สะดวกเปิดกล่อง อย่างไรก็ตาม การประเมินผลมีความสำคัญและช่วยให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียนจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ด้วย ผู้เรียนต้องการให้ผู้สอนประเมินผลระหว่างทาง (formative assessment) เกือบจะแน่นมากกว่าการประเมินผลปลายทาง (summative assessment) เฉพาะกลางภาคเรียนและปลายภาคเรียนเท่านั้น (Phomphisutthimas, 2014) จากการสอบถามผู้เรียนเรื่องงานที่ผู้สอนกำหนดไว้ พบว่า ผู้เรียนไม่ต้องการให้ครูสั่งการบ้านจำนวนมาก (Sangkasuth and Trimek, 2021) เนื่องจากต้องเรียนรายวิชาจำนวนมาก ทุกรายวิชาสั่งการบ้านทุกวัน ซึ่งก่อนการระบาดของโควิด-19 วิชาเดียวกันนี้เมื่อจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง ไม่มีการสั่งการบ้าน มีเฉพาะรายงานรายภาคการศึกษา (term paper) เมื่อผู้เรียนทำไม่ทัน จึงตัดสินใจไม่ทำส่งทุกรายวิชา หรือเลือกเฉพาะรายวิชาที่ตนเองสนใจเพื่อทำการบ้านส่งเท่านั้น เมื่อผู้เขียนไปนิเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู นิสิตครูและครูประจำการให้ข้อมูลว่า ผู้เรียนไม่ส่งการบ้าน ไม่เปิดกล่องระหว่างเรียน และบางคนมาเรียนแต่ไม่ทำแบบทดสอบในระหว่างเรียน สิ่งที่ยังควบคุมไม่ได้ระหว่างการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ คือ สมาธิในการเรียน การรบกวนโดยภาวะแวดล้อมในขณะที่เรียน และรู้สึกเบื่อ (Sangkasuth and Trimek, 2021)

จากการสัมภาษณ์ผู้สอนต่อการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ในภาวะการระบาดของโควิด-19 พบว่า ผู้สอนขาดทักษะการใช้อุปกรณ์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงส่งผลกระทบต่อถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียน เมื่อผู้สอนได้รับการอบรมแล้ว มักจะสอนมุ่งเน้นเนื้อหาบรรยายมากกว่าการปฏิบัติ ผู้สอนส่วนใหญ่ขาดการออกแบบกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหา เช่น การเชื่อมโยงเรื่องราวที่เรียนเข้าสู่ชีวิตประจำวัน การใช้สื่อวิธีทัศนในการจัดการเรียนรู้ การมีปฏิสัมพันธ์ของผู้สอนกับผู้เรียนยังมีน้อย และขาดสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ออนไลน์ เช่น อินเทอร์เน็ต คอมพิวเตอร์ (Fakngern and Kijkuakul, 2021)

จากข้อมูลการสัมภาษณ์และภาพข่าว รวมถึงสื่อสังคมออนไลน์ จะเห็นว่า ปัญหาการเรียนรู้ออนไลน์ในภาวะการระบาดของไวรัสโคโรนา ส่วนใหญ่แล้ว ไม่แตกต่างจากในต่างประเทศ โดยเฉพาะในประเทศภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ด้วยกัน เช่น ฟิลิปปินส์ (Barrot *et al.*, 2021) อินโดนีเซีย (Malelak *et al.*, 2021) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศแถบยุโรปและอเมริกา พบว่า ประเทศในกลุ่มนี้พยายามออกแบบการจัดการเรียนรู้ออนไลน์เพื่อให้ผู้เรียนได้รับเนื้อหาจากการเรียนรู้ออนไลน์มากที่สุด (Katic *et al.*, 2021; Zheng *et al.*, 2021) จากปัญหาการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ในภาวะโควิด-19 ในประเทศไทย ต้องแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชนเพื่อทำให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากความรู้และมีความสนุกสนานใกล้เคียงกับการจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง (Boca, 2021; Maheshwari, 2021; Pham, Le and Do, 2021) ดังในภาพที่ 2 ผู้สอนต้องได้รับการอบรมเรื่องการจัดการเรียนรู้ออนไลน์และการประเมินผลการเรียนรู้ออนไลน์ ต้องเรียนรู้การใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเรียนจัดการเรียนรู้ รวมถึงการใช้จักรวาลนฤมิต (metaverse) เพื่อเตรียมการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ที่ผู้เรียนไม่ต้องการเปิดหน้ากล่อง แต่ใช้ส่วนของใบหน้าเข้าไปสร้างอวตาร (avatar) เพื่อเข้าไปเรียนรู้ออนไลน์ได้หลากหลายรูปแบบ โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานทั้งในระดับกระทรวง โรงเรียน และมหาวิทยาลัย เพื่อให้ได้รับเทคโนโลยี อุปกรณ์ เครื่องมือ และสาธารณูปโภค เช่น อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ค่าไฟฟ้าที่ราคาถูกลง ผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้สร้างแรงบันดาลใจ เป็นผู้อำนวยความสะดวกทางการศึกษา ในขณะที่ทั้งผู้สอน ผู้ปกครอง และผู้เรียนเอง ต้องสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ออนไลน์ มีปฏิสัมพันธ์กับผู้สอนและเพื่อนร่วมชั้นเรียน สร้างแรงขับเคลื่อนในการเรียนรู้ออนไลน์จากบริเวณที่ไม่ใช่โรงเรียนหรือมหาวิทยาลัย และต้องพยายามสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจความรู้ที่ผู้เรียนได้รับไป อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ที่ขาดทักษะที่สำคัญที่ไม่สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ในการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ยังคงจำเป็นต้องเข้ามาเรียนรู้ออนไลน์ ณ สถานที่ตั้ง การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ด้วยกลยุทธ์ต่าง ๆ ยังนำมาใช้ในการจัดการ

เรียนรู้แบบออนไลน์ได้ด้วย เช่น การให้ผู้เรียนศึกษาคลิปวิดีโอหรือเอกสารก่อนเรียน แล้วจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทาง (flipped classroom) โดยผู้สอนต้องจัดประสบการณ์เรียนรู้ที่เกิดจากการศึกษาคลิปวิดีโอหรือเอกสารที่ศึกษามาก่อนนั้น และให้ผู้เรียนทำแบบฝึกต่าง ๆ ในห้องเรียน ก็จะทำให้การบ้านลดลง (Tang *et al.*, 2020) และทำให้ผู้เรียนสนุกสนานกับกิจกรรมในห้องเรียนได้เช่นเดียวกับการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง การจัดคลินิกการเรียนรู้ (learning clinic) ให้กับผู้เรียนที่ยังไม่เข้าใจเนื้อหาที่เรียนรู้หรือมีคำถามเชิงประยุกต์ก็สำคัญ อาจช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจความรู้ต่าง ๆ ได้ครบถ้วนมากขึ้น



ภาพที่ 2 การแก้ปัญหาการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์และความสนุกสนานในการเรียนรู้

ความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในยุคปกติใหม่

ในปัจจุบัน ผู้สอนพยายามแก้ไขปัญหาการจัดการเรียนการสอนในภาวะการแพร่กระจายของไวรัสโคโรนา ก่อนที่ผู้เรียนจะได้รับวัคซีน 2 เข็ม โรงเรียนในพื้นที่สีแดงเข้ม (พื้นที่ที่มีผู้ติดเชื้อไวรัสโคโรนาจำนวนมาก) การจัดการเรียนรู้เป็นแบบออนไลน์ทั้งหมด การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งมีหลายเนื้อหาเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า อธิบายได้จากการทำปฏิบัติการ และการจัดการเรียนรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์บางเรื่องจำเป็นต้องทำการทดลองจึงจะเข้าใจได้ เช่น การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของสัตว์ สัตว์วิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของพืช เทคนิคต่าง ๆ ที่ต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ วิธีการจัดการเรียนรู้ที่น่าจะช่วยให้ผู้เรียนได้ความรู้ในเชิงปฏิบัติการมากที่สุดโดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการจริง คือ การสาธิต (demonstration) แต่ผู้สอนสามารถช่วยให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการอย่างง่ายได้ โดยให้ผู้เรียนใช้ของที่มีในครัวเรือนเพื่อทำปฏิบัติการ หรือส่งอุปกรณ์วิทยาศาสตร์พร้อมน้ำยาต่าง ๆ แบ่งใส่หลอดทดลองพลาสติกแล้ว ส่งไปให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการไปพร้อมผู้สอน สำหรับการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาที่ต้องมีการผ่าตัดเครื่องในสัตว์อาจให้ผู้เรียนหาตัวอย่างจากท้องตลาด แล้วใช้มีดทำครัว ผ่าตัดไปพร้อมกันระหว่างที่ผู้สอนสาธิตให้ดูผ่านช่องทางออนไลน์ แต่การประเมินผลทักษะด้วยข้อสอบไม่สามารถทำให้ผู้เรียนมีทักษะในการทำการทดลองดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง นอกจากการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสาธิตแล้ว ยังมีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างห้องปฏิบัติการเสมือน (virtual classroom) ที่ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้เรียนได้ทดสอบก่อนเรียน ใช้ในการเรียนรู้ หรือใช้ทบทวนหลังจากฝึกปฏิบัติแล้ว (Wisanti *et al.*, 2020) เช่น บทปฏิบัติการเสมือนการทำโปรตีนให้บริสุทธิ์ (protein purification, URL: http://www.agbooth.com/pp_ajax/; Phornphisutthimas *et al.*, 2007) ห้องปฏิบัติการบนชิป (lab-on-a-chip; Wietsma *et al.*, 2018)

ความท้าทายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบออนไลน์นอกจากการทำปฏิบัติการที่ต้องทำให้ผู้เรียนเข้าใจแล้ว ยังมีการอธิบายโมโนทัศน์ (concept) ของเนื้อหาภายในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ซึ่งปกติผู้สอนมักใช้การสนทนาออนไลน์ การวิจารณ์ออนไลน์ ใช้วีดิทัศน์ และการนำเสนอด้วย PowerPoint จากรายงานของ Wisanti *et al.* (2020) พบว่า การสนทนาออนไลน์และการวิจารณ์ออนไลน์ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจโมโนทัศน์เรื่องที่เรียนได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม สิ่งที่สำคัญคือ การออกแบบการเรียนรู้แบบออนไลน์อย่างไร จึงทำให้ผู้เรียนเข้าใจโมโนทัศน์ดังกล่าว

ในปี พ.ศ. 2564 เมื่อผู้สอนและผู้เรียนได้รับวัคซีนโควิด-19 อย่างน้อย 2 เข็ม ร่วมกับต้องตรวจและแสดงผล ATK ตามกำหนด ก็สามารถเข้าทำการจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้งได้ อย่างไรก็ตาม กระทรวงศึกษาธิการและกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ให้ทางเลือกกับผู้เรียนในการเลือกเรียนรู้แบบผสมผสานได้ ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานมีลักษณะสำคัญ 5 ประการ ได้แก่ 1) ต้องจัดการเรียนรู้แบบประสานเวลา (synchronous learning) เป็นหลัก ทำให้ผู้เรียนและผู้สอนเรียนรู้และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน ทั้งในห้องเรียนจริงและห้องเรียนเสมือน (virtual classroom) 2) ต้องมีการเรียนรู้ด้วยตนเอง (self-paced learning) เพื่อสร้างประสบการณ์เรียนรู้ที่สมบูรณ์ในเวลาที่ยากัดจากการปฏิสัมพันธ์และการเรียนรู้จากอินเทอร์เน็ต 3) ผู้เรียนต้องสามารถสื่อสารกับผู้เรียนคนอื่นและผู้สอนได้ หรือมีการเรียนรู้แบบร่วมมือ (collaboration) เช่น มีห้องสนทนาแบบออนไลน์ ใช้แอปพลิเคชันต่าง ๆ โดยกำหนดเวลาให้เข้าเรียนรู้พร้อมกัน 4) ต้องมีการประเมินผลทั้งก่อนและหลังเรียน เพื่อตรวจสอบความรู้เดิม (prior knowledge) และความรู้ใหม่ที่ได้รับ ตามลำดับ และ 5) ต้องมีสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ (support materials) เช่น แหล่งอ้างอิงเพื่อใช้ศึกษาเพิ่มเติม เนื้อหาสรุป (Carman, 2002) การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานไม่ได้หมายถึงการจัดการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง และแบบออนไลน์ แต่ยังหมายถึงการจัดการเรียนการสอนหลากหลายรูปแบบหรือวิธีการเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุสมรรถนะ (competency) ที่ต้องได้รับหลังจากการเรียนรู้ที่เสร็จสิ้นแล้ว

อย่างไรก็ตาม การเรียนรู้ด้านทักษะยังคงต้องเรียน ณ สถานที่ตั้ง เป็นหลัก แต่ต้องมีการควบคุมให้มีการจัดระบบระบายอากาศ ล้างมือด้วยเจลแอลกอฮอล์ และจัดให้มีระยะห่างระหว่างผู้เรียนด้วยตนเอง และระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน เพื่อป้องกันการระบาดของไวรัสโควิด-19 ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ จึงเป็นความท้าทายอย่างยิ่ง หากมีผู้วิจัยที่สามารถทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ทักษะปฏิบัติโดยไม่ต้องเข้ามา ณ สถานที่ตั้งได้ การจัดการเรียนรู้ปัจจุบันมีจุดประสงค์สำคัญดังนี้ 1) ต้องจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนเรียนรู้จากที่โรงเรียนเพื่อให้เข้าใจอาชีพที่ผู้เรียนอยากทำงานในอนาคต 2) ต้องจัดประสบการณ์เรียนรู้ให้เข้ากับชุมชนรอบโรงเรียน 3) ต้องมีแรงกระตุ้นเพื่อให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการเรียนรู้ 4) ต้องจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง และ 5) ความพึงพอใจของผู้เรียนต้องได้มาจากการเรียนรู้และการอ่าน เพื่อให้สามารถค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองได้ง่ายขึ้น (OECD, 2020)

แม้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงข้อมูลและเรียนรู้ร่วมกับผู้สอนและผู้เรียนคนอื่น ๆ ได้ แต่ก็ยังประสบปัญหาการจัดการเรียนรู้ที่ยังไม่ทำให้ผู้เรียนบรรลุตามจุดประสงค์เท่าที่ควร และกระทรวงศึกษาธิการยังมีประกาศให้ลดเวลาในคาบเรียน ยกเลิกการสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ปลายทาง และลดปริมาณการบ้านที่นักเรียนต้องทำลง และให้ตัดสินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการบ้านหรือแบบฝึกหัดที่ผู้สอนจัดให้กับผู้เรียนตลอดทั้งภาคการศึกษา ยิ่งทำให้ความเข้าใจในเนื้อหาลดลงเรื่อย ๆ ปัจจุบันผู้สอนและผู้เรียนมีประสบการณ์เรื่องการใช้แอปพลิเคชันในการจัดการเรียนรู้ออนไลน์มากขึ้น แต่การออกแบบการจัดการเรียนรู้ก็ยังมีผลสำคัญ เนื่องจากหากจัดการเรียนรู้แบบเดิมตลอดเวลา จะทำให้ผู้เรียนรู้สึกเบื่อหน่าย และหากผู้เรียนไม่เข้าใจเนื้อหาที่กำลังเรียนก็จะไม่ประสบความสำเร็จในการเรียนรู้ตามสมรรถนะที่ผู้เรียนควรได้รับ นอกจากนี้ จะทำอย่างไรให้ผู้เรียนถึงความซื่อสัตย์ไม่ลอกข้อสอบระหว่างการสอบ

การออกแบบการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียนออนไลน์ได้ คือ การบูรณาการวิทยาศาสตร์เข้าด้วยกัน เรียนเป็นแบบธีม (theme-based education) เป็นการให้เรื่องสำคัญที่ผู้เรียนต้องเรียนรู้โดยใช้ศาสตร์ของฟิสิกส์ ชีววิทยา และเคมี รวมถึงคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาเรื่องเดียวกัน และเรื่องที่กำหนดให้ควรเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียนเอง (Haatainen and Aksela, 2021; Pursitasari, Nuryanti and Rede, 2015) อาจใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (STEM education) โดยเน้นกระบวนการได้มาของความรู้เป็นหลัก หรือใช้วิธีจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทาง และผู้สอนจัดประสบการณ์ร่วมในห้องเรียนเพื่อให้เกิดการสนทนาและวิพากษ์มนทัศน์นั้นแบบออนไลน์ จะช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ตามสมรรถนะที่คาดหวัง (Bidarra and Rusman, 2017) สิ่งที่เป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ คือ ผู้เรียนได้รับสมรรถนะตามที่คาดหวังไว้ และสามารถแก้ไขสถานการณ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเรื่องที่ได้อ่านไปแล้ว นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้ที่มีไปเลือกศึกษาความรู้จากแหล่งเรียนรู้จากอินเทอร์เน็ตได้อย่างถูกต้อง และนำไปพัฒนาตนเองเพื่อประกอบอาชีพได้ในอนาคต ตัวชี้วัดในระยะสั้นคือ สมรรถนะตามที่คาดหวังไว้ แต่ตัวชี้วัดระยะยาว เริ่มจากสามารถเลือกความรู้ได้อย่างถูกต้อง พัฒนาตนเองไปประกอบอาชีพได้ และต้องเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองได้ตลอดชีวิต (Pham et al., 2021)

สรุป

จากภาวะการระบาดของไวรัสโคโรนาที่แพร่ระบาดไปทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยด้วย ทำให้ผู้เรียนและผู้สอนไม่อาจเรียนรู้ ณ สถานที่ตั้งได้ ดังนั้นทางเลือกที่สำคัญในช่วงการระบาดของไวรัสคือการเรียนการสอนแบบออนไลน์ ในช่วงแรกมีปัญหาทั้งผู้เรียนและผู้สอนทั้งในเรื่องของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจัดการเรียนรู้ ความฉลาดรู้เรื่อง

เทคโนโลยี รวมถึงสาขารูปโภคต่าง ๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าอินเทอร์เน็ต การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตของผู้เรียนแต่ละคน ล้วนเป็นอุปสรรคในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบออนไลน์ที่สำคัญที่สุดคือ การอธิบายโมเดลที่ ต้องการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนเข้าใจ รวมถึงการจัดประสบการณ์เรียนรู้ในการทำการทดลองให้กับผู้เรียน ซึ่งแม้ปัจจุบันจะมีการเตรียมตัวเพื่อเข้าสอน ณ สถานที่ตั้ง แต่กระทรวงฯ ก็แนะนำให้มีการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน คือ ทั้งแบบ ณ สถานที่ตั้ง และแบบออนไลน์ร่วมกัน ผลสำเร็จของการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ คือ การวัดสมรรถนะที่คาดหวังไว้ (ในระยะสั้น) และสามารถเลือกความรู้ได้อย่างถูกต้อง พัฒนาตนเองเพื่อประกอบอาชีพได้ และเรียนรู้ตลอดชีวิตได้ (ในระยะยาว) สิ่งที่เป็นความท้าทายของครูวิทยาศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์คือ ต้องออกแบบการจัดการเรียนรู้โดยเน้นเนื้อหาและลักษณะของผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างเป็นประโยชน์ การจัดการเรียนรู้ต้องง่ายต่อความเข้าใจ เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนโดยตรง และทำให้เกิดความสนุกสนานในการเรียนรู้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Adedoyin, O. B. and Soykan, E. (2020). Covid-19 pandemic and online learning: The challenges and opportunities. **Interactive Learning Environments**, DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1813180>
- Allen, I. E. and Seaman, J. (2005). **Growing by Degrees: Online Education in the United States, 2005**. USA: The Sloan Consortium.
- Baiya, S. and Phornphisutthimas, S. (2014). The construction of a hands-on laboratory practical on “cellular respiration” for undergraduate learners (in Thai). **Proceeding of the 1st National Conference on Science Education to Inspire Innovation** (pp.244-248). Phetchaburi: Rajabhat Phetchaburi University.
- Barrot, J. S., Llenares, I. I. and del Rosario, L. S. (2021). Student’s online learning challenges during the pandemic and how they cope with them: The case of the Philippines. **Education and Information Technologies**, 26, 7321-7338.
- Bidarra, J. and Rusman, E. (2017). Towards a pedagogical model for science education: Bridging educational contexts through a blended learning approach. **Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning**, 32(1), 6-20.
- Boca, G. D. (2021). Factors influencing students’ behavior and attitude towards online education during COVID-19. **Sustainability**, 13, 7469. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13137469>
- Dhawan, S. (2020). Online learning: A panacea in the time of COVID-19 crisis. **Journal of Educational Technology**, 49(1), 5-22.
- Efrian, L. (2021). Problem of online learning during Covid-19 pandemic in EFL classroom and the solution. **Journal of English Language Teaching and Literature**, 2(1), 38-47.
- Fakngern, S. and Kijkuakul, S. (2021). Online science learning management during the Covid-19 pandemic: A case study of a large school in the lower northern region of Thailand. **Journal of Education, Mahasarakham University**, 15(3), 223-235.
- García, E. and Weiss, E. (2020). **Covid-19 and Student Performance, Equity, and U.S. Education Policy: Lessons from Pre-Pandemic Research to Inform Relief, Recovery, and Rebuilding**. U.S.: Economics Policy Institute.
- Haatainen, O. and Aksela, M. (2021). Project-based learning in integrated science education: Active teachers’ perceptions and practices. **International Journal of Math, Science and Technology Education**, 9(21), 149-173.
- Halme, D. G., Khodor, J., Mitchell, R. and Walker, G. C. (2006). A small-scale concept-based laboratory component: The best of both worlds. **Cell-Life Science Education**, 5, 41-51.
- Karayannis, P., Petrakli, F., Gkika, A. and Koumoulos, E. P. (2019). 3D-printed lab-on-a-chip diagnostic systems-developing a safe-by-design manufacturing approach. **Micromachines**, 10, 825. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi10120825>

- Katić, S., Ferraro, F. V., Ambra, F. I., Iavarone, M. L. (2021). Distance learning during the COVID-19 pandemic. A comparison between European countries. **Educational Science**, 11, 595. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci11100595>
- Kocdar, S., Kardeniz, A., Peytcheva-Forsyth, R. and Stoeva, V. (2018). Cheating and plagiarism in e-assessment: Students' perspectives. **Open Praxis**, 10(3), 221-235.
- Maheshwari, G. (2021). Factor affecting students' intentions to undertake online learning: An empirical study in Vietnam. **Education and Information Technologies**, 26, 6629–6649.
- Malelak, E. O., Taneo, J. and Ufi, D. T. (2021). Problems of online learning during the covid-19 pandemic in generation Z. **Paedagogia: Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan**, 12(1), 115-121.
- OECD. (2020). Strengthening online learning when schools are closed: The role of families and teachers in supporting students during the Covid-19 crisis. Retrieved 20 December 2021, from https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=136_136615-o13x4bkowa&title=Strengthening-online-learning-when-schools-are-closed
- Pham, T. T. T., Le, H. A. and Do, D. T. (2021). The factors affecting students' online learning outcomes during the Covid-19 Pandemic: A Bayesian exploratory factor analysis. **Education Research International**, Article ID 2669098, 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/2669098>
- Phornphisutthimas, S. (2014). How do learning assessments assist learners to effectively learn science in the 21st century? (in Thai) **RMUTSB Academic Journal**, 2(1), 81-90.
- Phornphisutthimas, S. (2014). Learning Management of Science in 21st Century (in Thai). **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**, 4(1), 55-63.
- Phornphisutthimas, S., Panijpan, B., Wood, E. J. and Booth, A. G. (2007). Improving Thai students' understanding of concepts in protein purification by using Thai and English versions of a simulation program. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, 35(5), 316-321.
- Pursitasari, N. D., Nuryanti, S. and Rede, A. (2015). Promoting of thematic-based integrated science learning on the junior high school. **Journal of Education and Practice**, 6(20), 97-102.
- Reedy, A., Pfitzner, D., Rook, L. and Ellis, L. (2021). Responding to COVID-19 emergency: Student and academic staff perceptions of academic integrity in the transition to online exams at three Australian universities. **International Journal for Educational Integrity**, 17, 9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40979-021-00075-9>
- Sangkasuth, S. and Trimek, J. (2021). Students' satisfaction towards appropriate online teaching and learning models in the epidemic of COVID-19 of Rangsit University (in Thai). In **Proceedings of RSU Research Conference**. Retrieved 20 December 2021, from https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/nationalsoc2021/1807_20210511144007.pdf
- Somsathan, P. and Sanjaiprom, S. (2021). Learning online preparedness during COVID-19 pandemic in Thailand. **Journal of MCU Peace Studies**, 9(3), 884-894.
- Stokes, J. and Lewis, J. (2021). **Remote Schooling through the Coronavirus (COVID-19) pandemic, England: April 2020 to 2021**. UK: Office of National Statistics.
- Tang, T., Abuhmaid, A. M., Olaimat, M., Oudat, D. M., Aldhaeabi, M. and Bamanger, E. (2020). Efficiency of flipped classroom with online-based teaching under COVID-19. **Interactive Learning Environments**, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1817761>
- UNESCO. (2020). Covid-19: A global crisis for teaching and learning. ED/ESC/TED/2020/01 Rev.2. Retrieved 20 December 2021, from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373233>
- Wietsma, J. J., van der Veen, J. T., Buesink, W., van den Berg, A. and Odijk, M. (2018). Lab-on-a-chip: Frontier science in the classroom. **Journal of Chemical Education**, 95(2), 267-275.
- Wisanti, Ambawati, R., Putri, E. K. and Rahayu, D. A. and Khaleyra, F. (2020). Science online learning during the covid-19 pandemic: Difficulties and challenges. **Journal of Physics: Conference Series**, 1747, 012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1747/1/012007>

Zalatld, M. M., Hamed, M. S. and Bolbol, S. A. (2021). The experiences, challenges, and acceptance of e-learning as a tool for teaching during the COVID-19 pandemic among university medical staff. **PLOS ONE**, 16(3), e0248758. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248758>

Zheng, M., Bender, D. and Lyon, C. (2021). Online learning during COVID-19 produced equivalent or better student course performance as compared with pre-pandemic: Empirical evidence from a school-wide comparative study. **BMC Medical Education**, 21, 495. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-021-0290>

Online-First Version