

Development of the Framework for Earth Science Teacher's Pedagogical Content Knowledge Framework

Sirawit Pathomchaiwal^{1*} Sara Samiphak²

Received: 07-07-2024, Revised: 23-10-2024, Accepted: 02-01-2025

Abstract

The purpose of this research is to develop a framework for Earth Science teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) in teaching Earth Science. The study followed a documentary research approach consisting of two phases. Phase 1 (Preliminary data analysis) focused on examining the foundational PCK and instructional practices of Earth science teachers. Phase 2 (Framework Development) involved creating the framework for Earth Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. Research tools included a document analysis form and an expert assessment form to evaluate the quality of the framework. Data analysis incorporated content analysis from the document review and a quality assessment of the framework.

The findings revealed that the framework for Earth Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge comprises four key components: knowledge of assessment for Earth Science instruction, knowledge of the curriculum for Earth Science instruction, knowledge of instructional strategies and representation in Earth Science, and knowledge of students' understanding in Earth Science instruction. These components align with the framework for Pedagogical Content Knowledge for Science teaching, as proposed by Magnusson et al. (1999), which also includes knowledge and beliefs about assessment in science, knowledge and beliefs about science curriculum, knowledge and beliefs about instructional strategies for teaching science, and knowledge and beliefs about students' understanding of specific science topics. However, the framework for Earth Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge differs in one component: orientations toward science teaching. This framework

¹ Independent Scholar

² Faculty of Education, Chulalongkorn University

* Corresponding Author, Email: sirawit.pathom@gmail.com

does not consider the teachers' affective domain as part of the components of Earth Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. Instead, the decision-making process can be inferred from the other components.

Keyword: Earth science teacher; Pedagogical content knowledge; The framework for earth science teacher's pedagogical content knowledge

การพัฒนากรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก

ศิริวิทย์ ปฐมชัยวาลย์^{1*} สลา สามิภักดิ์²

วันรับบทความ: 07-07-2024, วันแก้ไขบทความ: 23-10-2024, วันตอบรับบทความ: 02-01-2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนากรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก สำหรับการสอนเนื้อหาวิชาเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์โลก และดำเนินการวิจัยแบบการวิจัยเอกสารประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน เป็นการวิเคราะห์และศึกษาข้อมูลพื้นฐานของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน และการจัดการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก และขั้นตอนที่ 2 การพัฒนากรอบแนวคิด เป็นการสังเคราะห์และพัฒนากรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบวิเคราะห์เอกสาร และแบบประเมินคุณภาพของกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกสำหรับผู้เชี่ยวชาญ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์เนื้อหาจากแบบวิเคราะห์เอกสารและการวิเคราะห์เนื้อหาในการประเมินคุณภาพของกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก

ผลการวิจัยพบว่า กรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกมีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก และความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ซึ่งสอดคล้องกับกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ใน 4 องค์ประกอบโดย Magnusson et al. (1999) ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอ และความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียน แต่แตกต่างกันใน 1 องค์ประกอบ นั่นคือแนวทางการตัดสินใจในการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งไม่ได้พิจารณาคุณลักษณะทางจิตใจของครูเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบในความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก และแนวทางการตัดสินใจในการสอนวิทยาศาสตร์สามารถพิจารณาได้จากองค์ประกอบอื่น ๆ

¹ นักวิชาการอิสระ

² คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้ประสานงานบรรณกิจ, ติดต่อนี้เมล sirawit.pathom@gmail.com

คำสำคัญ: ครูวิทยาศาสตร์โลก; ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน; กรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน
ของครูวิทยาศาสตร์โลก

บทนำ

ในปัจจุบันเป็นที่รับรู้กันอย่างกว้างขวางในกลุ่มนักการศึกษาวิทยาศาสตร์ว่า แม้ครูจะมีความรู้ด้านเนื้อหาวิทยาศาสตร์ (Content Knowledge) มาก รวมถึงมีความรู้ด้านวิธีการสอน (Pedagogical Knowledge) หลังจากที่ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการจัดกระบวนการเรียนรู้และวิธีสอนอย่างหลากหลายแต่ครูก็ยังประสบปัญหาในการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียน สอดคล้องกับ The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2012) ที่ระบุว่า ครูมีปัญหาด้านการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเนื้อหาตามมาตรฐานของหลักสูตรจึงทำให้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

อนึ่ง Shulman ได้เสนอคำว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (Pedagogical Content Knowledge, PCK) ซึ่งเป็นความรู้ด้านเนื้อหาที่เกี่ยวข้องและบูรณาการกับวิธีการสอน รวมถึงวิธีการนำเสนอ และการกำหนดหัวข้อที่เอื้อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจขึ้นมาได้ (Mishra & Koehler, 2006) โดยการศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเริ่มต้นจาก ในปี 1986 Shulman ได้เป็นผู้ริเริ่มในการเสนอคำว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (Pedagogical content knowledge, PCK) โดยความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของความรู้ด้านเนื้อหาของครู (Content Knowledge) ซึ่งมีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ด้าน คือ ความรู้ในเนื้อหาสาระ (Subject matter content knowledge) ความรู้ด้านหลักสูตร (Curricular knowledge) และความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (Pedagogical content knowledge) ต่อมาในปี 1987 Shulman ได้เสนอความรู้พื้นฐานสำคัญสำหรับการสอน (Knowledge base for teaching) ประกอบด้วยความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเป็นส่วนหนึ่งของความรู้พื้นฐานสำคัญสำหรับการสอน (Shulman, 1987)

อย่างไรก็ตาม Shulman เห็นว่าความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนมีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นจากความรู้ประเภทอื่น ๆ เพราะความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนแสดงถึงความแตกต่างระหว่างครูกับนักวิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นความรู้ในสาระการเรียนรู้ในเชิงคุณภาพ หรือปริมาณ และในการจัดการและการใช้ความรู้นั้น ความรู้วิทยาศาสตร์ของครูวิทยาศาสตร์ที่มีประสบการณ์นั้นจะมีโครงสร้างจากมุมมองการสอน และใช้เป็นพื้นฐานในการช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่เฉพาะเจาะจง ในทางตรงกันข้ามความรู้ของนักวิทยาศาสตร์นั้นมีโครงสร้างจากมุมมองการวิจัย และใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการสร้างความรู้ใหม่ในสาขาวิชานั้น ๆ (Cochran et al., 1993; Shulman, 1987)

ทั้งนี้ Shulman (1987) เสนอความหมายของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่ชัดเจนขึ้นกว่าเดิมโดยระบุว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน หมายถึง การผสมผสานของความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้ด้านวิธีการสอนเข้าด้วยกันในส่วนที่เป็นความเข้าใจว่าควรทำอย่างไรในหัวข้อที่เฉพาะเจาะจง ปัญหา หรือประเด็นที่ถูกจัดระบบ ถูกนำเสนอ และปรับปรุงให้เข้ากับ ความสนใจและความสามารถที่ต่างกันของผู้เรียน รวมถึง

การนำเสนอสำหรับการเรียนการสอน ซึ่งความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่ (Shulman, 1987) นำเสนอนั้น เป็นความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนทั่วไป ต่อมา (Magnusson et al., 1999) ได้นำเสนอความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้และความเชื่อเกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ความรู้และความเชื่อเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนในหัวข้อที่เฉพาะเจาะจง ความรู้และความเชื่อเกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนวิทยาศาสตร์ และความรู้และความเชื่อเกี่ยวกับการวัดและประเมินผลในรายวิชาวิทยาศาสตร์

ในปัจจุบันแม้ว่าการศึกษากับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาขึ้นโดยบูรณาการความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนกับเทคโนโลยีเข้าด้วยกันเป็นความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยีเฉพาะสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (Thammaprateeep, 2016) แล้วก็ตามแต่ (Thammaprateeep, 2016) ระบุว่า การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยีของครูยังต้องเริ่มจากการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยี แล้วค่อยให้ครูได้เรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่สามารถจัดการเรียนรู้ได้ (Thammaprateeep, 2016) ประกอบกับการศึกษาของ (Phuaphan et al., 2020) พบว่าเทคโนโลยีไม่ใช่ทั้งหมดของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ แต่ก็เป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมเนื้อหาที่เป็นนามธรรม และอำนวยความสะดวกต่อการจัดการชั้นเรียนของนักศึกษาครู จากข้อค้นพบที่ว่าเทคโนโลยีไม่ใช่ทั้งหมดของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ นั้นเป็นเพราะหัวใจการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คือการมุ่งเน้นให้นักเรียนเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้ การสอนวิทยาศาสตร์อย่างที่ว่าวิทยาศาสตร์เป็น ให้นักเรียนได้เข้าใจลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ วิธีการได้มา ซึ่งความรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ครูผู้สอนหรือนักศึกษาครู ต้องมีความสามารถในการบูรณาการระหว่างความรู้ด้านเนื้อหา กับความรู้เกี่ยวกับวิธีสอน ซึ่งจะใช้ความรู้ด้านเทคโนโลยีมาช่วยส่งเสริมเนื้อหาบางเนื้อหา โดยเฉพาะเนื้อหาที่เป็นนามธรรม เข้าใจยาก เข้ามาบูรณาการเพิ่มเติมได้ ฉะนั้นรากฐานในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยีเฉพาะสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ของครูคือ ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะสาขาวิชาวิทยาศาสตร์

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ พบว่างานวิจัยที่ผ่านมาจะทำการศึกษาค้นคว้าในเชิงคุณภาพกับครูวิทยาศาสตร์หลายด้าน ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์ทั่วไป ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ให้ข้อเสนอแนะในการทำการศึกษากการปฏิบัติในด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ให้ขยายไปสู่ด้านอื่น ๆ ของวิทยาศาสตร์ด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่า งานวิจัยที่ทำการศึกษากการปฏิบัติในด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ในบริบทของประเทศไทย ยังขาดการศึกษากการปฏิบัติในด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูผู้สอนวิทยาศาสตร์สำหรับการสอนเนื้อหาวิชาเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์โลก (Pedagogical Content Knowledge for teaching Earth Science, PCK for teaching Earth Science) (Chatmaneeerungcharoen, 2010;

Nuangchaleram, 2011; Chordnork & Yuenyong, 2014; Kaewkongpan, 2018; Neangjak-oun, 2020; Kaewkongpan, 2020; Vichaidit & Faikhamta, 2021; Cojorn, 2021) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจทำการศึกษาโดยการพัฒนารอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูผู้สอนวิทยาศาสตร์โลกสำหรับการสอนเนื้อหาวิชาเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์โลกต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนารอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกสำหรับการสอนเนื้อหาวิชาเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์โลก

การทบทวนวรรณกรรม

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน

Rivet (2017) ได้ระบุถึงความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก จากความหมายของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนตามที่ (Shulman, 1987) เสนอความหมายของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน หมายถึง การผสมผสานของความรู้ด้านเนื้อหาและความรู้ด้านวิธีการสอนเข้าด้วยกันในส่วนที่เป็นความเข้าใจว่าควรทำอย่างไรในหัวข้อที่เฉพาะเจาะจงปัญหา หรือประเด็นที่ถูกจัดระบบ ถูกนำเสนอ และปรับปรุงให้เข้ากับ ความสนใจและความสามารถที่ต่างกันของผู้เรียน รวมถึงการนำเสนอสำหรับการเรียนการสอน ทั้งนี้ (Rivet, 2017) ได้ขยายความหมายของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลกโดยเพิ่มเติมความหมายของ (Shulman, 1987) ต่อไปว่า รวมถึงการสำรวจแนวคิดที่มีอยู่ของนักเรียน การนำเสนอโดยใช้การอุปมาอุปลักณ์ และการใช้แบบจำลองเพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักเรียนในการคิดเกี่ยวกับแนวคิดที่เฉพาะเจาะจง การสาธิต การจัดกิจกรรม และการสืบค้นเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์โลกในหัวข้อต่าง ๆ และการตรวจสอบแหล่งข้อมูลที่จะใช้ในการสอนวิทยาศาสตร์โลก แต่ละด้านเหล่านี้ของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลกจะถูกตรวจสอบในบริบทของเนื้อหา และแนวคิด กระบวนการที่สำคัญในสาขาวิทยาศาสตร์โลก

ดังนั้น ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก หมายถึง การผสมผสานของเนื้อหาและวิธีการสอน เพื่อใช้ในการถ่ายทอดและนำเสนอโดยใช้การอุปมาอุปลักณ์ การใช้แบบจำลอง การสาธิต การจัดกิจกรรม และการสืบค้นเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาเฉพาะ หัวข้อที่เฉพาะเจาะจงกับวิทยาศาสตร์โลก รวมถึงการสำรวจมโนทัศน์ที่มีอยู่ของนักเรียน

องค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน

เนื่องจากความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนโดยทั่วไปมีความเฉพาะเจาะจงมากกว่าศาสตร์การสอน (Pedagogy) ซึ่งครูที่มีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนจะมีแนวคิดและกลยุทธ์ที่ใช้ในการสอนที่มีความ

เฉพาะเจาะจงกับสาขาวิชา ฉะนั้น (Veal & MaKinster, 1999) จึงได้ทำการจำแนกความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนผ่านการทบทวนวรรณกรรมวิทยาศาสตร์ศึกษาโดยใช้ความเฉพาะเจาะจงของเนื้อหาเป็นเกณฑ์ในการจำแนกความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะสาขาวิชา (Subject-specific PCK) เป็นความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่จำแนกตามสาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ ศิลปะ ประวัติศาสตร์ คณิตศาสตร์ และภาษาอังกฤษ เป็นต้น

2. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะด้านของสาขาวิชา (Domain-specific PCK) เป็นความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่ให้ความสำคัญกับเนื้อหาสาระ หรือเนื้อหาของสาขาวิชาในด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะ ตัวอย่างเช่น เคมีจัดเป็นเนื้อหาสาระที่เป็นด้านหนึ่ง (Domain-specific PCK) ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (Subject-specific PCK) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะด้านของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ด้านเคมี ด้านชีววิทยา ด้านฟิสิกส์ และด้านวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ

3. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะหัวข้อ (Topic-specific PCK) หมายถึง ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะหัวข้อ (Topic-specific PCK) ในด้านวิทยาศาสตร์โลก ได้แก่ โลกและการเปลี่ยนแปลง ธรณีประวัติ ธรณีปฏิบัติ ธรณีโครงสร้าง บรรยากาศ การพยากรณ์อากาศ การหมุนเวียนของระบบน้ำในมหาสมุทรและระบบลม เป็นต้น

ดังนั้นความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนทั้ง 3 ระดับ มีความสัมพันธ์กันในลักษณะหน่วยเล็กเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยใหญ่โดยความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะหัวข้อเป็นส่วนหนึ่งของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะด้านของสาขาวิชา และความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะด้านของสาขาวิชาเป็นส่วนหนึ่งของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเฉพาะสาขาวิชา

นอกจากการจำแนกความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนตามความเฉพาะเจาะจงของเนื้อหาแล้วในส่วน of ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนทั่วไปยังมีการจำแนกออกเป็นองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน ดังที่ (Grossman, 1989 อ้างถึงใน Faikhamta, 2012) ได้เสนอองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนไว้ 4 องค์ประกอบดังนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนและมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาที่สอน
2. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนและการนำเสนอเนื้อหาที่สอน
3. แนวคิดเกี่ยวกับจุดประสงค์การสอนเนื้อหาเฉพาะ
4. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรและวัสดุอุปกรณ์หรือแหล่งการเรียนรู้ในหลักสูตร

Smith and Neale (1989 อ้างถึงใน Nezvalová, 2011) ได้เสนอองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนไว้ 3 องค์ประกอบดังนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับหัวข้อที่นักเรียนมักผิดพลาด (knowledge of typical student errors)
2. ความรู้เกี่ยวกับกลวิธีสอนเฉพาะเจาะจง (knowledge of particular teaching strategies)

3. ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาอย่างละเอียดลออ (knowledge of content elaboration)

Tuan (1996) อ้างถึงใน Jang et al., 2009) ได้เสนอองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนไว้ 7 องค์ประกอบดังนี้

1. ความเข้าใจความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาสาระของครู
2. วิธีการสอนของครู
3. การนำเสนอเนื้อหาที่สอน
4. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร
5. การประเมินความรู้
6. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจในหัวข้อของนักเรียน
7. ความรู้เกี่ยวกับบริบทของสภาพแวดล้อมการเรียนรู้

Jang et al. (2009) ได้สรุปความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนจาก การทบทวนวรรณกรรมของ (Reynolds, 1992) ออกเป็น 6 องค์ประกอบดังนี้

1. การสอนนักเรียนผ่านทักษะและวิธีการที่แตกต่างกัน
2. การคิดเกี่ยวกับขอบเขตของเนื้อหาและการจัดเรียงลำดับเนื้อหาที่ต้องครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด
3. การทำความเข้าใจโมทัศน์ก่อนหน้า (Previous conceptions), ทักษะ, ความรู้ และความสนใจที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อเฉพาะ ของนักเรียน

4. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรและวัสดุอุปกรณ์หรือแหล่งการเรียนรู้ในหลักสูตร
5. ใช้การนำเสนอเนื้อหาที่สอนอย่างเหมาะสมเพื่อเข้าสู่ความรู้ในเนื้อหาสาระ
6. ใช้วิธีการประเมินที่เหมาะสมเพื่อประเมินความเข้าใจของความรู้ในเนื้อหาสาระของนักเรียน

Nezvalová (2011) ได้สรุปองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนจากการวิเคราะห์ความหมายของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนที่ (Cochran et al., 1993) ให้ไว้ว่าเป็นลักษณะที่ครูผู้สอนเชื่อมโยงวิธีการสอนของพวกเขาเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาตามบริบทของโรงเรียนเพื่อการสอนนักเรียนแบบเฉพาะเจาะจง (Nezvalová, 2011) ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 องค์ประกอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาสาระ (knowledge of subject matter)
2. ความรู้เกี่ยวกับบริบทแวดล้อม (knowledge of environmental contexts)
3. ความรู้เกี่ยวกับนักเรียน (knowledge of students)
4. ความรู้เกี่ยวกับวิธีการสอน (knowledge of pedagogy)

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2558) ได้เสนอองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนว่าประกอบไปด้วยความรู้ความเข้าใจและความเชื่อของการสอนในวิชาหรือเนื้อหาที่สอนความรู้เกี่ยวกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของเนื้อหา นั้น ความรู้เกี่ยวกับผู้เรียนหลักสูตรบริบททางการศึกษา กลยุทธ์ และ

วิธีการจัดการเรียนการสอนการจัดประสบการณ์ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนแสวงหาความรู้ และการใช้สื่อและเทคโนโลยีเพื่อการเรียนรู้รวมถึง การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

สรุปได้ว่า องค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน จะประกอบด้วย 2 องค์ประกอบเสมอคือ ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียน และความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนและการนำเสนอ สอดคล้องกับที่ (Chan and Hume, 2019) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของนักวิจัยหลายท่านแล้วพบว่าองค์ประกอบทั้งความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียน และความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนและการนำเสนอจะพบในองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนเสมอ

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยทางเอกสาร (Documentary research) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน เป็นการวิเคราะห์และศึกษาข้อมูลพื้นฐานของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน และการจัดการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก และขั้นตอนที่ 2 การพัฒนารอบแนวคิด เป็นการสังเคราะห์และพัฒนารอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดของการเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน เป็นการวิเคราะห์และศึกษาข้อมูลพื้นฐานของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน และการจัดการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก

1.1 เครื่องที่ใช้ในการวิจัย

แบบวิเคราะห์เอกสาร โดยกำหนดประเด็นการวิเคราะห์เอกสาร ได้แก่ ชื่อผู้แต่ง ชื่อเอกสาร และปีที่พิมพ์ สถานที่พิมพ์ ประเด็นที่ศึกษา และสรุปสาระสำคัญ

1.2 การดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์เอกสารที่ใช้ในการวิเคราะห์แนวคิดที่ได้จากเอกสาร หนังสือ และงานวิจัยเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน และการจัดการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก

2. ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนารอบแนวคิด เป็นการสังเคราะห์และพัฒนารอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก

2.1 เครื่องที่ใช้ในการวิจัย

แบบประเมินคุณภาพของกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก สำหรับผู้เชี่ยวชาญ มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

2.2 การดำเนินการวิจัย

2.2.1 ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน เป็นการวิเคราะห์และศึกษาข้อมูลพื้นฐานของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน และการจัดการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการสังเคราะห์และพัฒนาเป็นกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก (ฉบับร่าง)

2.2.2 นำกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก (ฉบับร่าง) ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 4 คน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โลก 1 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านความรู้วิทยาศาสตร์โลก 2 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน 1 คน ตรวจสอบภาษาที่ใช้ และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมต่อกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

2.2.3 ผู้วิจัยแก้ไขปรับปรุงตามที่ผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะ ทำให้ได้กรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก (ฉบับสมบูรณ์)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์เนื้อหาได้มาจากแบบวิเคราะห์เอกสาร และแบบประเมินคุณภาพของกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

ผลการศึกษา

ผลการศึกษากรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก (ฉบับสมบูรณ์) พบว่าความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก จึงประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ประกอบด้วย

1.1 ความรู้ของครูเกี่ยวกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์สำหรับการสอนนักเรียน เป็นการกำหนดให้สอดคล้องกับตัวชี้วัดตามหลักสูตร

1.2 ความรู้เกี่ยวกับสื่อการสอนและแหล่งเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสอน โดยสื่อการสอนและแหล่งเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ได้แก่ 1) แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model) (Deus et al., 2011) ได้ระบุถึงแบบจำลองที่นำเสนอปรากฏการณ์พลวัตของโลกโดยเรียกว่า แบบจำลองเชิงเปรียบเทียบ (Analogue Model) ซึ่งนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติจริง แบบจำลองเชิงเปรียบเทียบถูกนำเสนอในลักษณะแบบจำลองทางกายภาพที่เกิดขึ้นร่วมกับการอุปมาอุปลักซ์รูปภาพ และการทดลอง 2) ตัวแทนทางความคิดที่ใช้ข้อมูลสารสนเทศเป็นฐาน (Information Technology (IT)-based representations) ได้แก่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS)

การแสดงผลของข้อมูลที่ซับซ้อน (Visualization of Complex Data) โปรแกรม Google Earth โปรแกรม ArcGIS เป็นต้น (Sell et al., 2006)

1.3 ความรู้ของครูเกี่ยวกับความสำคัญของหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรทั้งหมดซึ่งช่วยให้ครูสามารถระบุโมทัศน์หลักและแนวคิดหลักและการปรับปรุงเนื้อหาโดยการตัดข้อเท็จจริงบางเรื่องเพียงเล็กน้อย

2. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ประกอบด้วย

2.1 ความรู้ของครูเกี่ยวกับโมทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

2.2 ความรู้ของครูเกี่ยวกับสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียน ครูควรมีความรู้เกี่ยวกับประเภทของสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียนทั้ง 3 ประเภท (Magnusson et al., 1999) ได้แก่ ประเภทที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับหัวข้อที่ยากต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลก เนื่องจากหัวข้อหรือโมทัศน์เป็นนามธรรมมาก และไม่เชื่อมโยงกับประสบการณ์ทั่ว ๆ ไปของนักเรียน (Herbert, 2006) ได้ระบุถึงสิ่งที่ยากทางปัญญา (Cognitive difficulties) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการสร้างแนวคิดสิ่งแวดล้อมโลกในทางธรรมชาติอย่างเป็นระบบ ความเข้าใจเกี่ยวกับความซับซ้อนของลักษณะเฉพาะของระบบเหล่านั้น การประยุกต์ใช้เกี่ยวกับแบบจำลองเชิงโมทัศน์ของระบบโลกที่ซับซ้อนในการสนับสนุนการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม และ (Black, 2005) พบว่านักเรียนมักแสดงพฤติกรรมการเรียนรู้ต่อหัวข้อที่ยากในการตีความแผนที่ภูมิประเทศ ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา ภาพ 2 มิติต่าง ๆ และการนำเสนอปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปแบบ 3 มิติ และพบว่านักเรียนมีหัวข้อที่ยากต่อการเรียนรู้ส่วนใหญ่เป็นเนื้อหาโดยเฉพาะธรณีวิทยา และอุตุนิยมวิทยา รวมถึงเนื้อหาดาราศาสตร์ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ (King, 2012) ระบุถึงหัวข้อที่ยากต่อการเรียนรู้ เช่น แร่วิทยาและผลึกศาสตร์ การอ่านและการตีความแผนที่รวมถึงภาพตัดขวาง ธรณีวิทยาโครงสร้าง การลำดับชั้นหินและความสัมพันธ์ระหว่างสเปกกับเวลาของการก่อก้อน ธรณีเคมี การหลอมละลายบางส่วน (Partial Melting) สารละลายของแข็ง (Solid Solutions) การแปรสภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรม 6 ประเภท เช่น การจำและระบบคำศัพท์เฉพาะทาง การรู้เชิงปริภูมิ (รวมถึงการสร้างภาพใน 3 มิติ และการแปลงจาก 2 มิติ มาเป็น 3 มิติ) ปัญหาเกี่ยวกับคณิตศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ โมทัศน์ที่เป็นนามธรรมและการนึกภาพของสิ่งที่มองไม่เห็น ปัญหาเกี่ยวกับครูหรือผู้เรียน (นักเรียนบางคนรู้สึกว่าคุณสอนขัดขวางการเรียนรู้) ความยาวนานของธรณีกาล (โดยเฉพาะเกี่ยวกับการดำรงอยู่ของมนุษย์ที่ค่อนข้างสั้น) ประเภทที่ 2 ความรู้ของครูเกี่ยวกับข้อผิดพลาดที่นักเรียนมักจะกระทำและประสบการณ์บนโลกแห่งความจริงที่นักเรียนต้องการเพื่อทำความเข้าใจกับปัญหาใหม่สิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียนประเภทนี้มักเกิดขึ้นกับการเรียนการสอนที่เน้นการแก้ปัญหาเป็นศูนย์กลางประเภทที่ 3 โมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกิดจากความรู้เดิมของนักเรียนไม่ตรงกับโมทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งแสดงโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2019) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและมโนทัศน์ที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับในหัวข้อที่เฉพาะเจาะจงใน
วิทยาศาสตร์โลก

หัวข้อที่เฉพาะเจาะจง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ
โครงสร้างโลก	เนื้อโลกเป็นของเหลว	เนื้อโลกมีสถานะเป็นของแข็งที่มีสภาพพลาสติก
การแปรสัณฐานของแผ่นธรณี	รูปร่างและตำแหน่งของทวีปไม่เปลี่ยนแปลง	ทวีปต่าง ๆ ของโลกมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและตำแหน่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอย่างช้า ๆ
	ทวีปลอยอยู่บนน้ำ	ทวีป คือ ส่วนหนึ่งของธรณีภาคที่แตกออกเป็นแผ่น ๆ หลายแผ่น หรือที่เรียกว่า แผ่นธรณี โดยที่ในแผ่นธรณี 1 แผ่นนั้นอาจรองรับทั้งส่วนที่เป็นแผ่นดินและส่วนที่เป็นมหาสมุทร และเกิดการเคลื่อนที่ได้เนื่องจากวางตัวอยู่บนฐานธรณีภาคที่เคลื่อนที่เนื่องจากการพาความร้อนจากภายในโลก
ธรณีพิบัติภัย	ภูเขาไฟต้องมีลักษณะเป็นภูเขา	ภูเขาไฟมีรูปร่างหลากหลายและไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเป็นภูเขาเสมอไปในบางบริเวณอาจเป็นเพียงรอยแยกที่ลาวาปะทุขึ้นมา
	เมื่อเกิดแผ่นดินไหวใต้ทะเลทุกครั้งจะต้องเกิดสึนามิ	การเกิดแผ่นดินไหวใต้ทะเลก่อให้เกิดสึนามิได้ในบางครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนตัวของแผ่นธรณี ระดับความลึกของจุดศูนย์เกิดแผ่นดินไหว
การเกิดลมฟ้าอากาศและภูมิอากาศ	พื้นผิวโลกบริเวณศูนย์สูตรมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มากกว่าบริเวณอื่นเสมอ	พื้นผิวโลกบริเวณที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุดเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์
	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในรอบปี ณ ตำแหน่งใด ๆ บนโลกมีค่าเท่าเดิมเสมอ	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใด ๆ บนโลกมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในรอบปี

หัวข้อที่เฉพาะเจาะจง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ
	รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลก บริเวณต่าง ๆ ด้วยมุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากแกนโลกเอียง	รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลก บริเวณต่าง ๆ ด้วยมุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากโลกเป็นทรงกลม
	รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลก บริเวณต่าง ๆ ด้วยมุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์เดินทางไม่เป็น เส้นขนาน	รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลก บริเวณต่าง ๆ ด้วยมุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากโลกเป็นทรงกลม
	รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลก บริเวณต่าง ๆ ด้วยมุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์เดินทางไม่เป็น เส้นขนาน	รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลก บริเวณต่าง ๆ ด้วยมุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากโลกเป็นทรงกลม
	รังสีดวงอาทิตย์ไม่สามารถตกกระทบ พื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก	รังสีดวงอาทิตย์สามารถตกกระทบ พื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก
	แกนหมุนของโลกชี้ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์	แกนหมุนของโลกชี้ไปยังตำแหน่งเดิม เสมอในขณะที่โลกโคจรรอบดวง อาทิตย์ ส่งผลให้ซีกโลกเหนือหันเข้า หาดวงอาทิตย์ในบางช่วงของปีเท่านั้น
	อากาศชั้นมีความหนาแน่นมากกว่า อากาศแห้ง	อากาศชั้นมีความหนาแน่นน้อยกว่า อากาศแห้ง
	การหมุนเวียนอากาศและน้ำใน มหาสมุทรไม่สามารถถ่ายโอนความ ร้อนไปยังบริเวณต่าง ๆ บนโลกได้	การหมุนเวียนอากาศและน้ำใน มหาสมุทรช่วยให้เกิดการถ่ายโอนความ ร้อนไปยังบริเวณต่าง ๆ บนโลก
	กระแสน้ำในมหาสมุทรไม่ส่งผลต่อ อุณหภูมิอากาศ	กระแสน้ำในมหาสมุทรส่งผลต่อ อุณหภูมิอากาศ เนื่องจากการถ่าย โอนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ
	ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาส่งผล เสียต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมเท่านั้น	ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาส่งผล ดีในบางพื้นที่ เช่น ทำให้อากาศในฤดู หนาวไม่หนาวเย็นจนเกินไป และในฤดู ร้อนมีอากาศร้อนน้อยลง ลดความถี่ใน การเกิดพายุเฮอริเคน ทำให้บางพื้นที่

หัวข้อที่เฉพาะเจาะจง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	มโนทัศน์ที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ
		ชุ่มชื้นขึ้นส่งผลให้มีผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้น
	ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญามีความสัมพันธ์กับภาวะโลกร้อน	ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาเป็นเพียงส่วนหนึ่งของภูมิอากาศโลก
ข้อมูลสารสนเทศทางอุตุนิยมวิทยากับการใช้ประโยชน์	สัญลักษณ์บนแผนที่อากาศผิวพื้น H หมายถึง อากาศร้อน (Hot) และ L หมายถึง อากาศเย็น (Cool)	สัญลักษณ์บนแผนที่อากาศผิวพื้น H หมายถึง บริเวณความกดอากาศสูง และ L หมายถึง หย่อมความกดอากาศต่ำ

ที่มา: The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2019)

นอกจากนี้ Guffey and Slater (2020) ได้รวบรวมมโนทัศน์หลัก และสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์โลกเฉพาะด้านธรณีวิทยา จากเอกสารปฏิรูปการศึกษาระดับชาติในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ NSES (National Research Council, 1996) Benchmarks for Scientific Literacy (American Association for the Advancement of Science, 1993) (Earth Science Literacy Principles, 2010) (NGSS, 2013) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มโนทัศน์หลัก และสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์โลกเฉพาะด้านธรณีวิทยา

มโนทัศน์หลัก	สิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียน
เปลือกโลกและเนื้อโลกชั้นบนสุดแบ่งออกเป็นแผ่นธรณีหลายแผ่น ซึ่งเคลื่อนที่กันอย่างช้า ๆ อย่างสัมพันธ์กัน โดยการเคลื่อนที่เกิดจากกระแสการพาความร้อนในชั้นเนื้อโลก	- นักเรียนมักสับสนระหว่างสันเขากลางสมุทร (spreading ridges) กับจุดร้อน (hot spot) - นักเรียนไม่สามารถระบุทิศทางการเคลื่อนที่บริเวณขอบแผ่นธรณีได้หากไม่มีลูกศรชี้ทาง
อะตอมของธาตุต่าง ๆ รวมกันทำให้เกิดเป็นแร่ ซึ่งแร่เหล่านี้จะรวมกันอีกเป็นหิน หินและแร่จำแนกประเภทตามสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ	- นักเรียนมักใช้ลักษณะภายนอกที่ผิวเผินในการจำแนกหินและแร่ - นักเรียนขาดกรอบแนวคิดที่เพียงพอในการพยากรณ์ตำแหน่งของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์
วัสดุโลกมีรูปแบบที่หลากหลาย ในขณะที่วัสดุโลกหมุนเวียนในธรณีภาค หินจะเกิดจากการเย็นตัวของหินหนืด การสะสมตัวและการบีบอัด	- นักเรียนมีความเข้าใจเพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับความพรุน (porosity) ในวัตถุของแข็ง - นักเรียนมักเชื่อมโยงสภาพอากาศกับกระบวนการเกิด

มโนทัศน์หลัก	สิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียน
ของตะกอน และการเปลี่ยนแปลงของหินที่แตกต่างกว่าโดยความร้อน ความดัน และของไหล กระบวนการทั้งสามนี้ก่อให้เกิดเป็นหินอัคนี หินตะกอน และหินแปร	ของหินทุกประเภท นักเรียนมองว่า วัฏจักรหิน เป็นการจัดประเภทของหินมากกว่าการเข้าใจกระบวนการเกิดของหิน
หินภายในโลกช่วยให้เราสามารถทราบประวัติศาสตร์ของโลกอีกรอบได้ โดยอาศัยการหาอายุสัมพัทธ์และอายุสัมบูรณ์	- นักเรียนไม่ทราบอายุของโลก - นักเรียนประเมินระยะเวลาทางธรณีวิทยาต่ำเกินไป และเชื่อว่าการเกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิตและการกำเนิดโลกเกิดขึ้นพร้อมกัน - นักเรียนเข้าใจผิดว่า การสลายตัวหรือครึ่งชีวิตของกัมมันตรังสีเป็นการสลายตัวอย่างสมบูรณ์
ซากดึกดำบรรพ์บ่งชี้หลักฐานเกี่ยวกับประเภทของสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีพในอดีต และลักษณะของสภาพแวดล้อมในอดีต	- นักเรียนมักเข้าใจว่า ซากดึกดำบรรพ์เพียงแค่เป็นซากของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น - นักเรียนมักคิดว่า ไดโนเสาร์และมนุษย์มีชีวิตร่วมกัน - นักเรียนคิดว่าซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุแก่กว่ามักมีความซับซ้อนน้อยกว่าซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุอ่อนกว่า
แผ่นดินไหว การเกิดภูเขา การปะทุของภูเขาไฟ และลักษณะพื้นทะเลเกิดขึ้นที่ขอบแผ่นธรณี เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี	- แผ่นดินไหวและภูเขาไฟมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นที่ชายฝั่งทวีปและในเขตร้อนที่อบอุ่น - นักเรียนมักเชื่อมโยงภูเขาไฟและแผ่นดินไหวกับเทคนิกส์ของแผ่นเปลือกโลกได้ไม่บ่อยนัก
โครงสร้างของโลกมีลักษณะเป็นชั้น ๆ โดยมีแก่นโลกที่มีความหนาแน่นจากโลหะ ชั้นเนื้อโลกที่ร้อนและมีการพาความร้อน และเปลือกโลกที่เปราะบาง	- นักเรียนมักมีปัญหาในการเข้าใจความหนาของชั้นต่าง ๆ ของโครงสร้างโลก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและความหนาแน่นตามระดับความลึกของโลก
โครงสร้างภายในโลกได้รับความร้อนหลักจากการสลายตัวของกัมมันตรังสีและพลังงานจากแรงโน้มถ่วง	- นักเรียนเชื่อว่าสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างภายในโลกมีความร้อนสูง เป็นผลมาจากการไม่สามารถทำให้เย็นตัวได้อย่างเพียงพอ แทนที่จะเป็นพลังงานจากการสลายตัวของกัมมันตรังสี
หินสลายทางเคมีและทางกายภาพเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กซึ่งถูกพัดพา หรือถูกกัดเซาะ โดยแรงโน้มถ่วง น้ำ น้ำแข็ง และลม	- นักเรียนมักใช้คำว่า ผุพัง (weathering) และการกัดเซาะ (erosion) สลับกัน และมักใช้คำว่า การกัดเซาะในความหมายเดียวกันกับการเคลื่อนย้ายมวล

มโนทัศน์หลัก	สิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียน
	(displacement of mass)
ดินเกิดจากหินที่ผุพังและอินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยสลาย	- นักเรียนไม่เห็นว่าการเคลื่อนที่ของดินขึ้นถึงชั้นหินต้นกำเนิด และไม่สามารถระบุอินทรีย์วัตถุได้เมื่อคิดถึงสิ่งที่ประกอบขึ้นเป็นดิน - นักเรียนเชื่อว่าดินเกิดขึ้นตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการกำเนิดโลก มีความลึกมาก และไม่เปลี่ยนแปลงหรือมีพัฒนาการไปตามเวลา
ภูมิลักษณะเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการสร้างเปลือกโลก เช่น การเคลื่อนที่ของแผ่นธรณี การยกตัวของเปลือกโลก และการเกิดหินตะกอน กับกระบวนการทำลายเปลือกโลก เช่น การผุพัง และการกัดเซาะ การมีปฏิสัมพันธ์เหล่านี้เกิดขึ้นในหลากหลายช่วงเวลา	- นักเรียนมีปัญหาเกี่ยวกับคำศัพท์เนื่องจากความแตกต่างทางวัฒนธรรมและภูมิศาสตร์ในภาษาพูดทั่วไป - นักเรียนเชื่อว่า น้ำในแม่น้ำจะไหลจากเหนือไปใต้หรือตะวันตกไปตะวันออก แทนที่จะไหลลงตามความลาดชัน - ภูมิประเทศเกิดจากการหดตัวและการแตกของโลกลเมื่อโลกเย็นตัวลง

ที่มา: Guffey and Slater (2020)

นอกจากนี้ Skamp and Green (2022) ยังพบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์โลก เช่น ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่ไม่เหมาะสมหรือไม่มีในวัฏจักรของน้ำ การไม่สามารถเข้าใจการมีอยู่ของไอน้ำ การไม่สามารถเชื่อมโยงแหล่งน้ำกับกระบวนการของวัฏจักรน้ำ และการไม่เข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับสารเคมีจึงไม่สามารถติดตามสารต่าง ๆ ในระบบได้

2.3 ความรู้ของครูเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการสำหรับการเรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะเป็นความรู้ของครูเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการในการเรียนรู้เนื้อหาใหม่สำหรับนักเรียนที่เรียนมโนทัศน์ที่เฉพาะเจาะจง ประกอบด้วยความรู้ที่จำเป็นต้องมีก่อนสำหรับการเรียนรู้ในหัวข้อที่เฉพาะเจาะจง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความรู้ที่จำเป็นต้องมีก่อนสำหรับการเรียนรู้ในหัวข้อที่เฉพาะเจาะจงในวิทยาศาสตร์โลก

หัวข้อที่เฉพาะเจาะจง	ความรู้ที่จำเป็นต้องมีก่อนสำหรับการเรียนรู้
โครงสร้างโลก	การเคลื่อนที่ของคลื่นในตัวกลาง การสะท้อนและการหักเหของคลื่น สมบัติของธาตุและสารประกอบบางชนิด ทฤษฎีกำเนิดระบบสุริยะ
การแปรสัณฐานของแผ่น	โครงสร้างโลกตามองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกล ชากดึกดำบรรพ์

หัวข้อที่เฉพาะเจาะจง	ความรู้ที่จำเป็นต้องมีก่อนสำหรับการเรียนรู้
ธรณี	การพาความร้อน
ธรณีพิบัติภัย	สาเหตุ รูปแบบ และผลจากการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีตามทฤษฎีการแปรสัณฐานของแผ่นธรณี โครงสร้างทางธรณีคลื่นไหวสะเทือน
การเกิดลมฟ้าอากาศและภูมิอากาศ	สัณฐานโลก การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบลมฟ้าอากาศต่าง ๆ การถ่ายโอนความร้อน ภัยธรรมชาติและธรณีพิบัติภัย
การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ	แก๊สองค์ประกอบบรรยากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ข้อมูลสารสนเทศทางอุทุนิยมวิทยากับการใช้ประโยชน์	องค์ประกอบลมฟ้าอากาศ การหมุนเวียนอากาศบนโลก การเกิดเมฆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2019)

นอกจากนี้ความรู้ที่จำเป็นต้องมีก่อนสำหรับการเรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะยังรวมถึงความรู้ของครูเกี่ยวกับความสามารถและทักษะที่นักเรียนอาจจะต้องการสำหรับการเรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ (Magnusson et al., 1999)

2.4 ความแตกต่างของแนวทางการเรียนรู้ของนักเรียนเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการพัฒนาความรู้ภายในหัวข้อวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจง ประกอบด้วยความรู้ความแตกต่างของวิธีการเรียนรู้ของนักเรียนในแต่ละบุคคล ตลอดจนความแตกต่างของแนวคิดของนักเรียนในการเรียนรู้เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการพัฒนาความรู้ภายในหัวข้อวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจง (Magnusson et al., 1999)

3. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก เป็นความรู้ของครูเกี่ยวกับกลยุทธ์โดยเฉพาะ ซึ่งประกอบไปด้วย

3.1 วิธีการนำเสนอเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจในหัวข้อวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การอุปมาอุปลักษณ์ การแสดงให้เห็นภาพ การอธิบาย และการสาธิต (Shulman, 1986b)

3.2 การจัดกิจกรรมที่เหมาะสมกับวิทยาศาสตร์โลกนั้นคือ กิจกรรมของการสืบสอบ (Orion, 2019) ซึ่ง Kim et al. (2005) ได้จำแนกวิธีการสืบสอบที่เหมาะสมสำหรับวิทยาศาสตร์โลกอย่างเป็นระบบออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการอนุมานเชิงตรรกะ (Logical inference method) ประกอบด้วย (1.1) วิธีการแบบอุปนัย (Inductive method) (1.2) วิธีการแบบนิรนัย (Deductive method) (1.3) วิธีการแบบสมมติฐาน (Abductive method) 2) วิธีการตีความ (Hermeneutic method) ประกอบด้วย (2.1) การให้เหตุผลแบบวงกลม (Circular reasoning) (2.2) การทำความเข้าใจโดยอาศัยโครงสร้างที่มีมาก่อนหน้า (Forestructures of understanding) (2.3) การทำความเข้าใจของมนุษย์ตามธรรมชาติทางประวัติศาสตร์ (Historical nature

of human understanding) 3) วิธีการทางประวัติศาสตร์ (Historical method) ประกอบด้วย (3.1) การยึดมั่นในหลักการสมัยใหม่เกี่ยวกับแนวคิดเอกรูปนิยม (Adhering to the modern principle of uniformitarianism) (3.2) การแทนที่ตำแหน่งตามช่วงเวลาในลำดับที่เกิดขึ้นในทางทฤษฎี (Place substituting for time in stage theorizing) (3.3) การตีความวัตถุที่หลงเหลือจากอดีต (Relic interpretation) (3.4) การสร้างอนุกรมวิธาน (Constructing proper taxonomies) (3.5) การประเมินระหว่างการศึกษาสำหรับการบรรจบกัน (Evaluating independent lines of inquiry for convergence) และ (Park et al., 2009) ได้นำเสนอตัวอย่างกิจกรรมที่ใช้วิธีการสืบสอบของ (Kim et al., 2005) ในวิทยาศาสตร์โลกที่พบในหนังสือแบบเรียนวิทยาศาสตร์โลกของประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศเกาหลี ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างกิจกรรมที่ใช้วิธีการสืบสอบสำหรับวิทยาศาสตร์โลก

เนื้อหาของวิทยาศาสตร์โลก	ตัวอย่างหัวข้อกิจกรรมที่ใช้วิธีการสืบสอบ	วิธีการสืบสอบ
ธรณีวิทยา	คุณเรียงลำดับชั้นหินอย่างไร - ชั้นหิน (Layer) ที่มีอายุแก่ที่สุดคือชั้นใดในแท่งลำดับชั้นหิน (Column) ของคุณ - ชั้นหิน (Layer) ที่มีอายุน้อยที่สุดคือชั้นใดในแท่งลำดับชั้นหิน (Column) ของคุณ - คุณรู้ได้เป็นอย่างไร	วิธีการแบบนิรนัย (Deductive method) การตัดสินใจในการลำดับเหตุการณ์ตามธรณีกาลโดยใช้ หลักการลำดับชั้น (Principle of superposition) ในการลำดับชั้นหินของแท่งลำดับชั้นหิน
		การให้เหตุผลแบบวงกลม (Circular reasoning) การตัดสินใจในการลำดับเหตุการณ์ตามธรณีกาลโดยใช้การเปรียบเทียบกันระหว่างหินโผล่เดียวกับหินโผล่ทั้งหมด
		การทำความเข้าใจโดยอาศัยโครงสร้างที่มีมาก่อนหน้า (Forestructures of understanding) เมื่อเข้าใจวัตถุที่สืบสอบไข่มโนทัศน์ที่มีอยู่เกี่ยวกับหลักการลำดับชั้น (Principle of superposition)
		การยึดมั่นในหลักการสมัยใหม่เกี่ยวกับแนวคิดเอกรูปนิยม (Adhering to the modern principle of uniformitarianism) การอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ของโลกในอดีตบนพื้นฐานของปรากฏการณ์ของโลกในปัจจุบัน

เนื้อหาของ วิทยาศาสตร์โลก	ตัวอย่างหัวข้อกิจกรรมที่ใช้ วิธีการสืบสอบ	วิธีการสืบสอบ
		การแทนที่ตำแหน่งตามช่วงเวลาในลำดับที่เกิดขึ้น ในทางทฤษฎี (Place substituting for time in stage theorizing) การหาลำดับเวลาของสิ่งที่เกิดขึ้นในอดีตโดยสำรวจ การสะสมตัวของตะกอนในปัจจุบันของสถานที่ต่าง ๆ
	การแจกแจงอายุของเปลือกโลก มหาสมุทร - หินที่เก่าแก่ที่สุดในเปลือกโลก มหาสมุทรมีอายุเท่าไร - การแจกแจงอายุของเปลือกโลก มหาสมุทรมีรูปแบบที่ซึ่งแสดง ทิศทางอย่างเป็นระบบหรือไม่ ถ้า มีรูปแบบนั้นเป็นอย่างไร	การทำความเข้าใจโดยอาศัยโครงสร้างที่มีมาก่อน หน้า (Forestructures of understanding) ทักษะที่จำเป็นต้องมีการอ่านแผนที่ซึ่งเป็น ตัวแทนทางความคิดของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์โลก
		การแทนที่ตำแหน่งตามช่วงเวลาในลำดับที่เกิดขึ้น ในทางทฤษฎี (Place substituting for time in stage theorizing)
		การแทนที่ตำแหน่งตามช่วงเวลาในลำดับที่เกิดขึ้น ในทางทฤษฎี (Place substituting for time in stage theorizing)
		การแทนที่ตำแหน่งตามช่วงเวลาโดยเข้าใจอายุของ เปลือกโลกมหาสมุทรและการแผ่กระจายของ เปลือกโลกมหาสมุทร
		วิธีการแบบอุปนัย (Inductive method) การค้นพบรูปแบบผ่านการตีความข้อมูล
		การให้เหตุผลแบบวงกลม (Circular reasoning) การค้นหารูปแบบเกี่ยวกับวัตถุในความสัมพันธ์ ระหว่างส่วนใดส่วนหนึ่งกับทั้งหมดทุกส่วน
อุตุนิยมวิทยา	ภายใต้ความกดอากาศ - อธิบายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ	การตีความวัตถุที่หลงเหลือจากอดีต (Relic interpretation) การให้เหตุผลกระบวนการเกิดหลังจากสังเกตวัตถุที่ หลงเหลือของเปลือกโลกมหาสมุทร
		วิธีการแบบสมมติฐาน (Abductive method) การอธิบายสาเหตุของปรากฏการณ์บนพื้นฐานของ

เนื้อหาของ วิทยาศาสตร์โลก	ตัวอย่างหัวข้อกิจกรรมที่ใช้ วิธีการสืบสอบ	วิธีการสืบสอบ
	บรรยากาศที่ซึ่งมีผลต่อวิธีการ ทำงานของบารอมิเตอร์ของคุณ	ประสบการณ์ที่มีอยู่
		การทำความเข้าใจโดยอาศัยโครงสร้างที่มีมาก่อน หน้า (Forestructures of understanding) การแก้ไขปัญหาด้วยมโนทัศน์ที่มีอยู่เกี่ยวกับ ความสัมพันธ์ระหว่างความกดอากาศและปัจจัย ขององค์ประกอบเกี่ยวข้องกับบรรยากาศ
	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำและอุณหภูมิในบรรยากาศ - ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และปริมาณไอน้ำที่อยู่ในที่ ปริมาณของอากาศกำหนดเป็น อย่างไร	วิธีการแบบอุปนัย (Inductive method) การสร้างข้อสรุปทั่วไปจากความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณไอน้ำและอุณหภูมิตั้งพื้นฐานจากการ สังเกตเป็นสำคัญ
สมุทรศาสตร์	การไหลเวียนของกระแสน้ำ - คุณสามารถให้เหตุผลอะไรบ้าง ที่อธิบายได้ว่า ทำไมบางส่วนของ มหาสมุทรจึงไม่พลิกกลับขึ้นมาใน ขณะที่บางส่วนเป็นแบบนั้น	วิธีการแบบสมมติฐาน (Abductive method) การอธิบายสาเหตุว่าทำไมบางส่วนของมหาสมุทรไม่ พลิกกลับขึ้นมาโดยทำการทดลองกับแบบจำลอง
		การยึดมั่นในหลักการสมัยใหม่เกี่ยวกับแนวคิดเอก รูปนิยม (Adhering to the modern principle of uniformitarianism) การอธิบายสาเหตุของสมมุติฐานว่ากระบวนการ ของการทดลองคล้ายกับปรากฏการณ์จริงทาง ธรรมชาติ
		การทำความเข้าใจโดยอาศัยโครงสร้างที่มีมาก่อนหน้า (Forestructures of understanding) ต้องการใช้มโนทัศน์ที่มีอยู่ เช่น ความหนาแน่น ความเค็ม และทักษะการตีความ
		การสร้างอนุกรมวิธาน (Constructing proper taxonomies) การอธิบายสาเหตุของปรากฏการณ์โดยใช้มโนทัศน์ของ

เนื้อหาของ วิทยาศาสตร์โลก	ตัวอย่างหัวข้อกิจกรรมที่ใช้ วิธีการสืบสอบ	วิธีการสืบสอบ
	การแจกแจงอุณหภูมิพื้นผิวบน มหาสมุทร - อุณหภูมิพื้นผิวบนมหาสมุทร แตกต่างกันตามตำแหน่งละติจูด หรือไม่ อย่างไร	ความหนาแน่น และค่าศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ของโลก
		วิธีการแบบอุปนัย (Inductive method) การค้นพบแนวโน้มผ่านการตีความข้อมูล
		การให้เหตุผลแบบวงกลม (Circular reasoning) การอนุมานความสัมพันธ์ระหว่างบางส่วนกับ ทั้งหมดในการแจกแจงของอุณหภูมิเพื่อค้นหา แนวโน้มของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกับละติจูด
สิ่งแวดล้อม	มือสะอาด (Clean Up Your Act) - วิธีการรณรงค์กำจัดอนุภาค ทั้งหมดออกจากน้ำที่ปนเปื้อนทำ ได้หรือไม่ อย่างไร	วิธีการแบบอุปนัย (Inductive method) การสร้างข้อสรุปจากการสังเกตผลลัพธ์
		วิธีการแบบสมมติฐาน (Abductive method) การอธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิโลก
		การยึดมั่นในหลักการสมัยใหม่เกี่ยวกับแนวคิดเอก รูปนิยม (Adhering to the modern principle of uniformitarianism) การให้ความสำคัญกับการค้นพบรูปแบบการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปัจจุบัน นักเรียนสามารถ ทำนายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอนาคต

ที่มา: Park et al. (2009)

อย่างไรก็ตาม ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลกที่ครูวิทยาศาสตร์โลกควรเริ่มต้นบทเรียนจากโน้ตที่มืออยู่ของนักเรียนการรู้ถึงความเข้าใจคลาดเคลื่อนจะช่วยให้อุณหภูมิการดำเนินการจัดการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โลกที่สำคัญคือ การเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ควรมุ่งเน้นที่การสร้างแบบจำลองของนักเรียน และสิ่งที่ควรพิจารณาในระหว่างการเรียนการสอนคือ การสร้างความตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลอง เช่น รูปภาพ แบบจำลองทางกายภาพ หรือแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ กับ

ความเป็นจริงเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร นอกจากนี้ครูควรจัดการเรียนการสอนโดยใช้ประเด็นทางสังคม (Socioscientific issues) หรือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตจริงในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โลก เช่น เราควรดำเนินการอย่างไรเพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรน้ำของเรา สิ่งเหล่านี้จะช่วยทำให้นักเรียนสนใจเรียนในหัวข้อเฉพาะของวิทยาศาสตร์โลกมากขึ้น (Skamp & Green, 2022)

4. ความรู้เกี่ยวกับการประเมินสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ประกอบด้วย

4.1 ความรู้ของครูเกี่ยวกับมิติของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีความสำคัญในการประเมินการเรียนรู้ทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านพุทธิพิสัย ด้านทักษะพิสัย และด้านจิตพิสัย ตลอดจนการคำนึงถึงสิ่งที่ต้องประเมินให้สอดคล้องกับสิ่งที่กำหนดเป็นวัตถุประสงค์การเรียนรู้

4.2 ความรู้ของครูเกี่ยวกับวิธีการประเมินการเรียนรู้ โดยมียุทธวิธีการประเมินที่เหมาะสมสิ่งที่ต้องประเมิน ตัวอย่างเช่น วิธีการประเมินความรู้ทางวิทยาศาสตร์โลกของนักเรียนสำหรับการติดตามและให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียน สามารถทำได้โดย 1) ชุดคำถามแบบเลือกตอบ (Concept Test) ทางอิเล็กทรอนิกส์ 2) ภาพเวน (Venn Diagram) 3) การวิเคราะห์รูปภาพ (Image Analysis) เป็นการให้นักเรียนสังเกตภาพนิ่งและตีความรูปภาพนั้น 4) แผนผังมโนทัศน์ (Concept Map) 5) คำถามปลายเปิด 6) เกณฑ์การประเมินแบบรูบริก (Evaluation Rubric) โดยให้นักเรียนสร้างเกณฑ์การประเมินแบบรูบริกของตนเองเพื่อใช้ในการประเมิน หรือคาดการณ์สถานการณ์ เหตุการณ์ทางธรณีวิทยาโดยเฉพาะ (McConnell, Steer, & Owens, 2003) และการประเมินความรู้ทางวิทยาศาสตร์โลกโดยการออกภาคสนามสามารถประเมินได้จาก 1) หนังสือแบบฝึกหัดของนักเรียน (Daily Workbook) 2) อนุทินของนักเรียน (Nightly Journal) 3) อนุทินของครู (Teacher Journal) 4) แบบวัดมโนทัศน์ (Concept Test) 5) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ (Essay Test) 6) แบบสำรวจเจตคติ (Attitude Survey) (Ruckert, 2009)

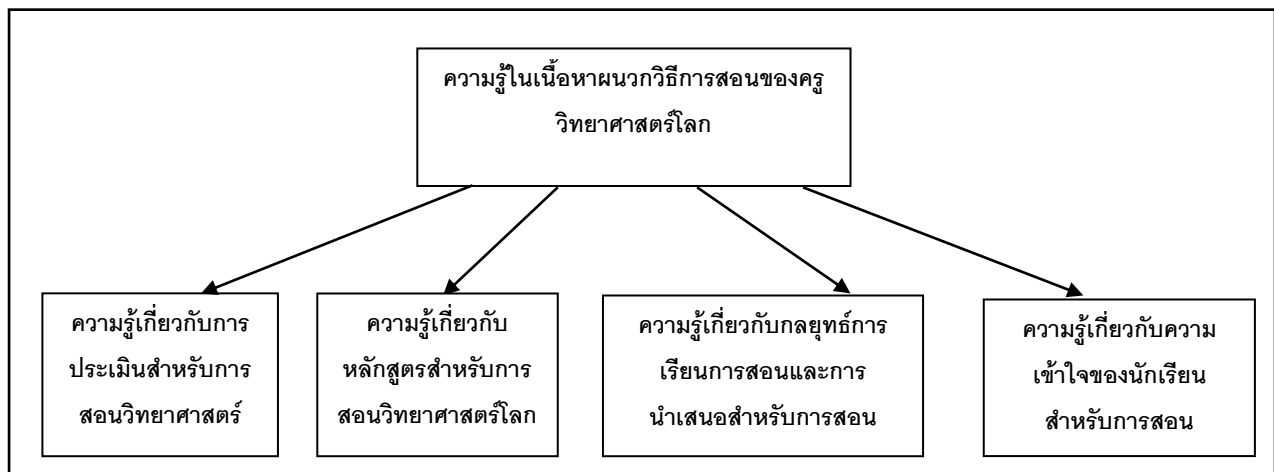
อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก มีตัวชี้วัดเป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก

องค์ประกอบของความรู้เนื้อหา ผนวกวิธีการสอนของครู วิทยาศาสตร์โลก	ตัวชี้วัด
1. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก	1.1 ความรู้ของครูเกี่ยวกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์สำหรับการสอนนักเรียน
	1.2 ความรู้เกี่ยวกับสื่อการสอนและแหล่งเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสอน
	1.3 ความรู้ของครูเกี่ยวกับความสำคัญของหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับ

องค์ประกอบของความรู้เนื้อหา ผนวกวิธีการสอนของครู วิทยาศาสตร์โลก	ตัวชี้วัด
	หลักสูตรทั้งหมดซึ่งช่วยให้ครูสามารถระบุโมเดลหลักและแนวคิดหลักและการปรับปรุงเนื้อหาโดยการตัดข้อเท็จจริงบางเรื่องเพียงเล็กน้อย
2. ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจ ของนักเรียนสำหรับการสอน วิทยาศาสตร์โลก	2.1 ความรู้ของครูเกี่ยวกับโมเดลทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน
	2.2 ความรู้ของครูเกี่ยวกับสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียน
	2.3 ความรู้ของครูเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการสำหรับการเรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ
	2.4 ความแตกต่างของแนวทางการเรียนรู้ของนักเรียนเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการพัฒนาความรู้ภายในหัวข้อวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจง
3. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียน การสอนและการนำเสนอสำหรับ การสอนวิทยาศาสตร์โลก	3.1 วิธีการนำเสนอเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจในหัวข้อวิทยาศาสตร์
	3.2 การจัดกิจกรรมที่เหมาะสมกับวิทยาศาสตร์โลก
4. ความรู้เกี่ยวกับการประเมิน สำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก	4.1 ความรู้ของครูเกี่ยวกับมิติของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
	4.2 ความรู้ของครูเกี่ยวกับวิธีการประเมินการเรียนรู้

ทั้งนี้กรอบความรู้ในเนื้อหาแผนกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบเป็นไปตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปแบบของความรู้ในเนื้อหาแผนกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก

สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

ความรู้ในเนื้อหาแผนกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการประเมินสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก และความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก อย่างไรก็ตาม กรอบความรู้ในเนื้อหาแผนกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาแผนกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก และใช้ในการพัฒนาหลักสูตรระดับรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับครูวิทยาศาสตร์โลกของนิสิตในสถาบันการผลิตครู หรือครูก่อนประจำการ ตลอดจนนำไปใช้พัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมครูวิทยาศาสตร์โลกของครูประจำการต่อไป

อภิปรายผลการวิจัย

1. กรอบความรู้ในเนื้อหาแผนกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความรู้เกี่ยวกับการประเมินสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก 2) ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก 3) ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก และ 4) ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์โลก ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นไปตามกรอบความรู้ในเนื้อหาแผนกวิธีการสอนจากองค์ประกอบของ (Magnusson et al.,

1999) ทั้ง 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความรู้เกี่ยวกับการประเมิน คือความรู้ของครูเกี่ยวกับมิติของการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ที่มีความสำคัญในการประเมิน (ตัวอย่างเช่น สิ่งที่ต้องประเมิน) และวิธีการประเมินการเรียนรู้ (เช่นวิธีการประเมิน) 2) ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร คือความรู้ของครูเกี่ยวกับเป้าหมายและวัตถุประสงค์สำหรับการสอนนักเรียน รวมถึงสื่อการสอนและแหล่งเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสอน ตลอดจนความรู้ของครูเกี่ยวกับหลักสูตรแนวดิ่ง และหลักสูตรแนวนอน (Horizontal and vertical curricula) และความรู้ของครูเกี่ยวกับความสำคัญของหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรทั้งหมดซึ่งช่วยให้ครูสามารถระบุโน้ตหลักและแนวคิดหลัก และกำจัดข้อเท็จจริงเล็กน้อย 3) ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอ คือความรู้ของครูเกี่ยวกับกลยุทธ์โดยเฉพาะ รวมถึงการจัดกิจกรรมและวิธีการนำเสนอเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจในหัวข้อ วิทยาศาสตร์ 4) ความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียน คือความรู้ของครูเกี่ยวกับหัวข้อ หรือมีโน้ตเส้นทาง วิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่นักเรียนพบว่าเป็นสิ่งที่ยากต่อการเรียนรู้ของนักเรียน และสิ่งที่ต้องการสำหรับการ เรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ รวมถึงความแตกต่างของแนวทางการเรียนรู้ของนักเรียนเนื่องจาก เกี่ยวข้องกับการพัฒนาความรู้ภายในหัวข้อวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจง สอดคล้องกับที่ (Chan and Hume, 2019) ได้รวบรวมจากความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของนักวิจัยหลายท่าน โดยปรับแก้แต่ละองค์ประกอบ ของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนจากองค์ประกอบของ (Magnusson et al., 1999) ซึ่งอาจใช้คำศัพท์ที่ แตกต่างไปบ้างแต่ยังคงแนวคิดเดิมไว้ อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนจาก องค์ประกอบของ (Magnusson et al., 1999) มีอีก 1 องค์ประกอบคือ แนวทางการตัดสินใจในการสอน วิทยาศาสตร์ คือความเชื่อที่ครอบคลุม 1) เป้าหมายของครูและวัตถุประสงค์ของการสอนวิทยาศาสตร์ 2) มุมมองของครูเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ 3) ความเชื่อของครูเกี่ยวกับการสอนและการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

2. จากข้อแตกต่างระหว่างกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก และ กรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนจากองค์ประกอบของ (Magnusson et al., 1999) ใน 1 องค์ประกอบ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าองค์ประกอบที่เหลือคือ แนวทางการตัดสินใจในการสอนวิทยาศาสตร์ไม่ได้รับการพิจารณา ให้เป็นส่วนหนึ่งของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนจากการประชุมสุดยอดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน ครั้งแรกประกอบกับ (Chan and Hume, 2019) พบว่าการศึกษาส่วนใหญ่ไม่พิจารณาคุณลักษณะทางจิตใจ ของครูเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบในความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน และแนวทางการตัดสินใจในการ สอนวิทยาศาสตร์สามารถพิจารณาได้จากองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการประเมิน ความรู้ เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การเรียนการสอนและการนำเสนอ และความรู้เกี่ยวกับความเข้าใจ ของนักเรียน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับนำผลวิจัยไปใช้

1. ควรนำกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก
2. ควรนำกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกไปใช้ในการพัฒนาหลักสูตรระดับรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับครูวิทยาศาสตร์โลกของนิสิตในสถาบันการผลิตครู หรือครูก่อนประจำการ
3. ควรนำกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกไปใช้ในการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมครูวิทยาศาสตร์โลกของครูประจำการ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรพัฒนานวัตกรรมทางด้านหลักสูตรและการสอนเพื่อส่งเสริมความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกตามกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก
2. ควรพัฒนาเครื่องมือการวัดและประเมินผลของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกตามแนวคิดกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลก
3. ควรพัฒนากรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูในรายวิชาอื่น ๆ เพิ่มเติม
4. ควรพัฒนาต่อยอดจากกรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนของครูวิทยาศาสตร์โลกไปสู่กรอบความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยี (Technological Pedagogical Content Knowledge, TPCK) ของครูวิทยาศาสตร์โลก

References

- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Science for all Americans* (pp. 142). Oxford University Press.
- Black, P. (2005). *Formative assessment: Improving learning in the classroom* (p. 139). Routledge.
- Chan, K. K. H., & Hume, A. (2019). Towards a consensus model: Literature review of how science teachers' pedagogical content knowledge is investigated in empirical studies. In *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 3-76). Springer.
- Chatmaneeerungcharoen, S., Yutakom, N., Phanwichien, K., & Erickson, G. (2010). Grounded Theory of Highly Regarded High Elementary Science Teachers' PCK by Interpretive Case Study. *KKU Research Journal*, 15(10), 998-1014.

- Chordnork, B., & Yuenyong, C. (2014). Constructing CoRe as a methodological for capturing pedagogical content knowledge: A case study of Thailand teachers teaching global warming. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 421-425.
- Cochran, K. F., DeRuiter, J. A., & King, R. A. (1993). Pedagogical content knowing: An integrative model for teacher preparation. *Journal of teacher Education*, 44(4), 263-272.
- Cojorn, K. (2021). The effect of lesson study guidelines on pedagogical content knowledge of pre-service teachers. *NRRU Community Research Journal*, 15(1), 42-55.
- Deus, H. M., Bolacha, E., Vasconcelos, C., & Fonseca, P. E. (2011). *Analogue modelling to understand geological phenomena*. https://www.researchgate.net/profile/Edite-Bolacha2/publication/266375082_Analogue_modelling_to_understand_geological_phenomena/links/542db51b0cf27e39fa9479d8/Analogue-modelling-to-understand-geological-phenomena.pdf
- Earth Science Literacy Initiative. (2010). *Earth science literacy principles: The big ideas and supporting concepts of Earth science* (p. 142). <https://www.earthscienceliteracy.org>
- Faikhamta, C. (2012). Pedagogical Content Knowledge for Teaching Science Teachers: Current Issues for Science Teacher Educators. *Journal of Education Prince of Songkla University*, 23(2), 1-19.
- Guffey, S. K., & Slater, T. F. (2020). Geology misconceptions targeted by an overlapping consensus of US national standards and frameworks. *International Journal of Science Education*, 42(3), 469-492.
- Grossman, P. L. (1989). *A study in contrast: Sources of pedagogical content knowledge for secondary English*. National Center for Research on Teacher Education, Michigan State University.
- Herbert, B. E. (2006). Student understanding of complex earth systems. In C. A. Manduca & D. W. Mogk (Eds.), *Earth and Mind: How Geologists Think and Learn about the Earth*. *Geological Society of America*, 413, 95-104. [https://doi.org/10.1130/2006.2413\(07\)](https://doi.org/10.1130/2006.2413(07))
- Jang, S.-J., Guan, S.-Y., & Hsieh, H.-F. (2009). Developing an instrument for assessing college students' perceptions of teachers' pedagogical content knowledge. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 596-606.

- Kaewkongpan, D. (2018). The Development of Pedagogical Content Knowledge in Teaching Methods for Pre-Service Science Teacher for Preparing before Practice to Professional Teacher. *Journal of Educational Studies*, 12(2), 115-132.
- Kaewkongpan, D. (2020). The Development Of Science Pedagogical Content Knowledge obtained with Micro Teaching for Pre-Service Science Teacher Lampang Rajabhat University. *Journal of Education Mahasarakham University*, 14(2), 55-73.
- Kim, C.-J., Park, I.-S., An, H.-S., Oh, P.-S., Kim, D.-Y., & Park, Y.-S. (2005). Development of an inquiry analysis framework based on the features of earth science inquiry methodology and the analysis of inquiry activities in the 8th grade'Earth History and Diastrophism'unit. *Journal of the Korean earth science society*, 26(8), 751-758.
- King, H. (2012). Student difficulties in learning geoscience. *Planet*, 25(1), 40-47.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Springer.
- McConnell, D. A., Steer, D. N., & Owens, K. D. (2003). Assessment and active learning strategies for introductory geology courses. *Journal of Geoscience Education*, 51(2), 205-216.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, 108(6), 1017-1054.
- National Research Council. (1996). *National science education standards* (p. 142). National Academy Press.
<https://www.nap.edu/catalog/4962/national-science-education-standards>
- Neangjak-oun, P., Faikhamta, C., Pongsophon, P., & Verapaspong, T. (2020). Case Studies of Student Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge in Rajabhat University. *Journal of Education Mahasarakham University*, 14(1), 154-165.
- Nezvalová, D. (2011). Researching science teacher pedagogical content knowledge. *Problems of Education in the 21st Century*, 35, 104-118.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states* (Vol. 1, p. 142). The National Academies Press. <https://www.nextgenscience.org>
- Nuangchalerm, P. (2011). In-service science teachers' pedagogical content knowledge. *Studies in Sociology of Science*, 2(2), 33-37.

- Orion, N. (2019). The future challenge of Earth science education research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-8.
- Park, M., Park, D.-Y., & Lee, R. E. (2009). A comparative analysis of earth science curriculum using inquiry methodology between Korean and the US textbooks. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 5(4), 395-411.
- Phuaphan, N., Kijkuakul, S., & Chanunan, S. (2020). Development of an innovative methods course supporting pre-service science teachers' technological pedagogical and content knowledge: a critical participatory action research. *Journal of Education and Innovation*, 24(2), 159–169.
- Reynolds, M. C. (1992). *Knowledge base for the beginning teacher* (p. 136). Pergamon Press.
- Rivet, A. E. (2017). Teaching methods for Earth Science. In *Designing and Teaching the Secondary Science Methods Course* (pp. 207-221). Springer.
- Ruckert, E. M. (2009). *Assessment of a high school geological field course* [Master, Michigan Technological University].
- Sell, K. S., Herbert, B. E., Stuessy, C. L., & Schielack, J. (2006). Supporting student conceptual model development of complex Earth systems through the use of multiple representations and inquiry. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 396-407.
- Shulman, L. S. (1986b). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard educational review*, 57(1), 1-23.
- Skamp, K., & Green, J. (2022). Earth system science education and the Australian curriculum the way forward to sustainability part III: Pedagogical recommendations. *Teaching Science*, 68(3), 48-53.
- Smith, D. C., & Neale, D. C. (1989). The construction of subject-matter knowledge in primary science teaching. In M. Reynolds (Ed.), *Knowledge base for the beginning teacher* (pp. 123–147). Pergamon Press.
- Royal Institute. (2015). *Thai language standards and usage* (p. 137). Royal Institute.
- Thammaprateep, J. (2016). Developing Technological Pedagogical Content Knowledge in Science Teaching. *Journal of Research and Curriculum Development*, 6(2), 1-13.

- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). *Professional science teachers: Guidelines for effective teaching and learning*. Inter Education Supplies.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2019). *Teacher's guide for basic science courses: Earth and space science, Grade 12*.
<https://www.scimath.org/ebook-earthscience/item/10328-6>
- Tuan, H.-L. (1996). Science learning and the role of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 18(2), 139–147. <https://doi.org/10.1080/0950069960180205>
- Veal, W. R., & MaKinster, J. G. (1999). Pedagogical content knowledge taxonomies. *Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 3(4).
- Vichaidit, C., & Faikhamta, C. (2021). Science teachers' perceptions on pedagogical content knowledge for stem. *Journal of Education Naresuan University*, 23(2), 152-168.