

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

(Pedagogical Content Knowledge for Teaching Nature of Science)

ชาติรี ฝ้ายคำตา*

บทคัดย่อ

ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เป็นเป้าหมายหลักที่สำคัญของวิทยาศาสตร์ศึกษาในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย ดังนั้นครูวิทยาศาสตร์จึงต้องมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อย่างถ่องแท้ รวมทั้งสามารถถ่ายทอดความเข้าใจดังกล่าวเพื่อให้ นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ กล่าวคือมีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Pedagogical content knowledge for teaching nature of science, PCK for teaching NOS) ทั้งนี้เนื่องจาก PCK for teaching NOS มีบทบาทสำคัญและเป็นแนวคิดใหม่ในการผลิตและพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ ดังนั้นบทความนี้จึงขออธิบายและขยายความเกี่ยวกับแนวคิดนี้เพื่อให้ครูและนักการศึกษาวิทยาศาสตร์มีความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดนี้และสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในชั้นเรียนต่อไป

Abstract

Nature of science (NOS) has become a central goal of science education in many countries including Thailand. Science teachers should be provided with opportunities to develop not only their understanding of NOS, but also their ability to transform NOS understanding to be easily interpreted by students in a classroom context which is referred

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

to as pedagogical content knowledge for teaching NOS (PCK for teaching NOS). Since PCK for teaching NOS plays a crucial role and it is a very new conceptual framework in science teacher education, the objective of this article is therefore to clarify and explain PCK for teaching NOS as a conceptual model for both science teacher and science teacher educators which can help them apply in teaching NOS in classroom settings.

คำสำคัญ: ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์, ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอน, ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

Keywords: nature of science, pedagogical content knowledge for teaching nature of science

บทนำ

ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์หรือ Nature of Science (NOS) เป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจมากในวงการวิทยาศาสตร์ศึกษาทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy) หากนักเรียนมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แล้วก็จะช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ด้านอื่นๆ ตามด้วย เช่น นักเรียนจะมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น รวมทั้งมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และมีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ (McComas, Almazroa and Clough, 1998) ประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เริ่มได้รับความสนใจจากกลุ่มปรัชญาวิทยาศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์ศึกษาเมื่อประมาณหลายสิบปีที่ผ่านมา สำหรับในต่างประเทศนั้นนักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้มีความพยายามและใช้กลยุทธ์เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เช่น บรรจุธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เป้าหมายหลักลงไปเป็นหลักสูตร พัฒนากิจกรรมที่ส่งเสริมความเข้าใจธรรมชาติของนักเรียน รวมทั้งการทำวิจัยเพื่อศึกษาแนวคิดและความเข้าใจของครูและนักเรียน แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับประเทศไทย แม้ว่าประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์จะถูกบรรจุไว้ในเป้าหมายของหลักสูตรวิทยาศาสตร์มาหลายสิบปีเช่นเดียวกัน แต่ความชัดเจนและเห็นอย่างเป็นรูปธรรม เมื่อประเด็นดังกล่าวถูกบรรจุอยู่สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พุทธศักราช 2544 นับจากนั้นมาครูและนักเรียนเริ่มรู้จักคำว่าธรรมชาติของ

วิทยาศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่าในปัจจุบันนักเรียนยังมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับที่ยังไม่น่าพอใจมากนัก สาเหตุที่สำคัญเกิดจากการครูยังมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไม่ชัดเจนมาก เช่น เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์เป็นเพียงความรู้ทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีคือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์คือความจริงแท้และสามารถตอบคำถามได้ทุกคำถาม วิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นวิธีเดียวที่จะทำให้ได้มาซึ่งความรู้กฎอยู่เหนือทฤษฎี วิธีการทางวิทยาศาสตร์ต้องเป็นขั้นตอนตายตัว และวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสังคม ไม่มีความสัมพันธ์กัน (Abd-El-Khalick and BouJaoude 1997; Akerson and Donnelly, 2008; Buaraphan, 2009; Lalitanurak and Faikhanta, 2011; Lederman 1992) เป็นต้น

ในบางกรณีครูอาจมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี แต่किनันไม่ได้ว่านักเรียนจะมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่ดีด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการที่ครูจะสามารถจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ดังกล่าวได้ การเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อย่างเดียวกไม่เพียงพอ ดังนั้นคำถามที่ตามมาก็คือครูต้องมีความรู้อะไรบ้างที่จำเป็นต้องใช้ในการถ่ายทอดเนื้อหาธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน บทควมนี้จึงขอเสนอความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Pedagogical content knowledge for teaching nature of science) หรือ PCK for teaching NOS ซึ่งเป็นความรู้ที่สำคัญมากสำหรับครูวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ โดยผู้เขียนได้วิเคราะห์และสังเคราะห์บทความวิชาการ บทความวิจัย รวมทั้งประสบการณ์ของผู้เขียนที่สอนรายวิชาธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อเสนอแนวคิดเกี่ยวกับความหมายและความสำคัญของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยสังเขป และนำเสนอ PCK for teaching NOS โดยมีรายละเอียดดังนี้

ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

เมื่อกล่าวถึงธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ บางคนอาจคิดว่าเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อม และอาจคิดว่าเป็นวิทยาศาสตร์ที่เน้นการศึกษาสิ่ง

มีชีวิต ซึ่งถือว่าเป็นความเข้าใจคลาดเคลื่อน นักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้ให้ความหมายของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไว้หลายความหมาย เช่น McComas, Almazroa and Clough (1998) เสนอว่า ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ คือ การผสมผสานการศึกษาทางสังคมของวิทยาศาสตร์ในหลายด้าน เช่น ด้านประวัติการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ สังคมวิทยา และปรัชญาทางวิทยาศาสตร์ เพื่ออธิบายว่าวิทยาศาสตร์คืออะไร นักวิทยาศาสตร์มีกระบวนการทำงานอย่างไร นักวิทยาศาสตร์ทำงานเป็นกลุ่มสังคมได้อย่างไร และสังคมมีปฏิกริยาอย่างไรต่อวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ Johnston และ Southerland (2002) อธิบายว่าธรรมชาติของวิทยาศาสตร์คือ คำอธิบายที่ใช้ อธิบายเกี่ยวกับสาระของวิทยาศาสตร์ โดยสรุปแล้ว ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ วิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ได้มาซึ่งหาความรู้ การทำงานหรือสังคมของนักวิทยาศาสตร์ และคุณค่าของวิทยาศาสตร์ต่อสังคม จากนิยามนี้แสดงให้เห็นว่าธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไม่ได้ให้ความสำคัญในด้านองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพียงอย่างเดียว แต่ก็ให้ความสำคัญกับกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะที่ใช้ในการสืบเสาะหาความรู้ และความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์กับเทคโนโลยีและสังคม

หากเปรียบเทียบความหมายและประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์ศึกษาในระดับนานาชาติ (American Association for the Advancement of Science (AAAS), 1989; McComas, Almazroa and Clough, 1998) กับมาตรฐานการเรียนรู้ในสาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของประเทศไทย (Ministry of Education, 2008) จะพบว่ามาตรฐานการเรียนรู้ของประเทศไทยได้บรรจุประเด็นเกี่ยวกับองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสังคม โดยระบุรายละเอียดของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไว้ว่า

“ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้อข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน” (Ministry of Education, 2008: 5)

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (Ministry of Education, 2008) แล้วพบว่าตัวชี้วัดส่วนใหญ่จะเน้นเฉพาะกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น ยังขาดรายละเอียดเกี่ยวกับประเด็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสังคม ยกตัวอย่างเช่น

1. ตั้งคำถามเกี่ยวกับประเด็น หรือเรื่อง หรือสถานการณ์ ที่จะศึกษาตามที่กำหนดให้ และตามความสนใจ
2. วางแผนการสังเกต เสนอการสำรวจตรวจสอบ หรือศึกษาค้นคว้า คาดการณ์ สิ่งที่จะพบจากการสำรวจตรวจสอบ
3. เลือกอุปกรณ์และวิธีการสำรวจตรวจสอบที่ถูกต้องเหมาะสม ให้ได้ผลที่ครอบคลุมและเชื่อถือได้
4. บันทึกข้อมูลในเชิงปริมาณและคุณภาพ วิเคราะห์และตรวจสอบผลกับสิ่งที่คาดการณ์ไว้ นำเสนอผลและข้อสรุป
5. สร้างคำถามใหม่เพื่อการสำรวจตรวจสอบต่อไป
6. แสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ อธิบายลงความเห็นและสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้
7. บันทึกและอธิบายผลการสำรวจตามความเป็นจริง มีเหตุผลและมีประจักษ์พยานอ้างอิง
8. นำเสนอจัดแสดงผลงานโดยอธิบายด้วยวาจา และเขียนรายงานแสดงกระบวนการ และแสดงผลงานให้ผู้อื่นเข้าใจ

ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจเป็นสากลรวมทั้งเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย ผู้เขียนขอยกตัวอย่างและอธิบายประเด็น (aspects) ของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ซึ่งมีสำคัญกับครูวิทยาศาสตร์ โดยผู้เขียนได้สรุปใจความเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในบางประเด็นที่บรรรจุนิมาตฐานการเรียนรู้ของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Association for the Advancement of Science (AAAS), 1989) พร้อมกันนี้ได้ยกตัวอย่างและขยายความในประเด็นต่างๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจมากขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. โลกเป็นเรื่องที่สามารถเข้าใจได้

วิทยาศาสตร์คือการพยายามทำความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งของปรากฏการณ์ หรือเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในจักรวาล ซึ่งนักวิทยาศาสตร์พยายามสร้างแบบแผน (patterns) ของการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจในปรากฏการณ์นั้น วิทยาศาสตร์มีความเป็นสากลและเป็นระบบเดียวไม่ว่าอยู่ที่ใดในจักรวาล ดังนั้นปรากฏการณ์ใดๆ ที่เกิดขึ้นจะอยู่ภายใต้กฎพื้นฐานเดียวกัน ยกตัวอย่าง เช่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันที่กล่าวถึงแรงโน้มถ่วงซึ่งเป็นการอธิบายการเคลื่อนที่หรือ การตกลงของวัตถุ กฎนี้ถือเป็นแบบแผนที่นักวิทยาศาสตร์ก็ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของ วัตถุทั้งบนโลก บนดวงจันทร์หรือบนดาวเคราะห์อื่นๆ เหมือนกัน การใช้กฎหรือแบบแผน ที่เหมือนกันนี้ไม่ได้หมายความว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะเหมือนกัน เพียงแต่ใช้กฎ เดียวกันอธิบายปรากฏการณ์ เช่น ค่าแรงโน้มถ่วงบนโลกและดวงจันทร์จะแตกต่างกัน แต่ก็ใช้กฎเดียวกันอธิบายความสัมพันธ์ของแรงโน้มถ่วงกับมวลและความเร่ง ($F = mg$) เป็นต้น

2. ความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้

ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้มาจากเป็นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งอาศัยการสังเกตปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดรอบคอบ โดยความรู้ ดังกล่าวสามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ถือว่าไม่ใช่ ความจริงสัมบูรณ์ (Absolute truth) นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทราบได้ว่าความรู้ทาง วิทยาศาสตร์ที่ตนสร้างขึ้นนั้นเป็นความจริงแท้หรือไม่ ดังนั้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีความรู้ใหม่คัดค้านกับความรู้เดิม โดยความรู้ใหม่ นั้นสามารถอธิบายได้กว้างขวาง ครอบคลุมมากกว่า ในทางวิทยาศาสตร์แล้วจะมีการ ตรวจสอบและการพัฒนาทฤษฎีอยู่เสมอ บางครั้งอาจมีการเปลี่ยนแปลงทฤษฎีเก่า เป็นทฤษฎีใหม่ หรือการพัฒนาทฤษฎีใหม่โดยใช้พื้นฐานจากทฤษฎีเก่า ยกตัวอย่างเช่น ทฤษฎีอะตอม โดยเริ่มต้นจากทฤษฎีอะตอมของดอลตันที่กล่าวว่าอะตอมเป็นหน่วยที่ เล็กที่สุดแบ่งแยกไม่ได้แล้ว แต่เมื่อทอมสันได้ศึกษาและค้นพบหลักฐานเพิ่มขึ้นก็ได้สร้าง ทฤษฎีอะตอมของตนขึ้นและได้กล่าวว่าอะตอมประกอบด้วยประจุบวกและประจุลบ อีกตัวอย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ ในสมัยก่อนคนเชื่อว่าโลกแบน แต่เมื่อมีการค้นพบและมี หลักฐานมาอธิบายมากขึ้น แนวคิดดังกล่าวก็เปลี่ยนไปโดยเชื่อว่าโลกกลม เป็นต้น

3. กฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มีหน้าที่แตกต่างกัน

จากงานวิจัยพบว่านักเรียนและครูจะเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นกฎและทฤษฎีมาก โดยเข้าใจว่าทฤษฎีเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการตรวจสอบสมมติฐาน แล้วเมื่อทำการทดลองพิสูจน์แล้วทฤษฎีจะสามารถกลายเป็นกฎได้ และกฎเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้ ซึ่งความเป็นจริงแล้วกฎและทฤษฎีเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์เหมือนกัน แต่มีหน้าที่แตกต่างกัน และกฎทางวิทยาศาสตร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ หรือกฎก็ไม่จำเป็นต้องมาจากทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ศึกษาเสนอว่า กฎ (law) คือ หลักการอย่างหนึ่งที่เขียนอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ของระหว่างสิ่ง 2 สิ่งหรือมากกว่า โดยส่วนใหญ่เขียนในรูปของสมการ เช่น กฎของนิวตันข้อที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง คือเมื่อความเร่งมากก็จะมีแรงมาก เขียนเป็นสมการได้เป็น $F = ma$ อีกตัวอย่างหนึ่งคือ กฎของบอยล์ กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส คือ เมื่อปริมาตรของแก๊สมากขึ้น ความดันจะน้อยลง ($V = k (1/P)$) ซึ่งกฎได้จากการทดลองหรือทดสอบหลายๆ ครั้ง มีพยานหลักฐานเชิงประจักษ์แล้วอุปมานเป็นข้อสรุปที่แสดงความสัมพันธ์ของสิ่งที่ถูกทดสอบ โดยส่วนใหญ่ หลายคนจะเข้าใจคลาดเคลื่อนว่ากฎเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่อยู่ในระดับสูงสุด ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และได้มาจากการทฤษฎี ซึ่งในความเป็นจริงแล้วกฎสามารถเปลี่ยนแปลงได้และไม่ได้มาจากทฤษฎี แต่มีหน้าที่แตกต่างจากทฤษฎี ทฤษฎี (theory) เป็นคำอธิบายที่ใช้อธิบายกฎ หลักการหรือข้อเท็จจริง และใช้ทำนายปรากฏการณ์ต่างๆ โดยส่วนใหญ่ทฤษฎีจะเป็นคำอธิบายและตอบคำถามว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้น เช่น ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (kinetic theory) ใช้อธิบายกฎของแก๊ส (gas law) เมื่อปริมาตรของแก๊สมากขึ้น ความดันจะน้อยลง ($V = k (1/P)$) สามารถอธิบายโดยทฤษฎีของแก๊สว่าเหตุใดเมื่อปริมาตรมากขึ้น ความดันจึงน้อยลง ทฤษฎีการชนอธิบายว่า หากแก๊สมีปริมาตรมากขึ้นทำให้อนุภาคของแก๊สกระจายตัวห่างกัน ทำให้โอกาสการชนกันและการชนผนังน้อยลง จึงทำให้เกิดแรงชนน้อยลง ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างแรงกับพื้นที่น้อยลงและเป็นผลให้ความดันน้อยลงไปด้วย นอกจากนี้ทฤษฎีมีอำนาจในการทำนายปรากฏการณ์ เช่น หากให้ความร้อนกับแก๊ส X ในถังที่ปิดฝาสนิท จะเกิดอะไรขึ้น ก็จะสามารถทำนายได้โดยใช้ทฤษฎีการชนของแก๊ส เมื่อแก๊สได้รับความร้อน อนุภาคของแก๊สจะได้รับพลังงานมากขึ้น ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เร็วขึ้น ส่งผลให้แรง

ที่เกิดจากการชนมากขึ้นด้วย จึงทำให้ความดันของแก๊สมากขึ้น ดังนั้นความดันของแก๊ส X นี้จะมากขึ้น ในการสร้างทฤษฎี นักวิทยาศาสตร์ก็ต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือทดลองด้วย เพื่ออุปมาหรือสร้างจินตนาการขึ้นที่สามารถอธิบายผลการสังเกตหรือการทดลองนั้นๆ ให้ได้ อย่างไรก็ตามบางทฤษฎีก็เกิดขึ้นจากความคิดหรือจินตนาการของนักวิทยาศาสตร์เพียงอย่างเดียว เพียงแต่ได้รับการยอมรับ เนื่องจากสามารถอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้ครั้งนักวิทยาศาสตร์ก็ใช้ความคิดสร้างสรรค์ของตนสร้างทฤษฎีขึ้นมา

4. วิทยาศาสตร์ต้องการหลักฐาน

วิทยาศาสตร์แตกต่างจากศาสตร์อื่นเพราะวิทยาศาสตร์อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ บนพื้นฐานของหลักฐาน ใช้สมมติฐาน และมีทฤษฎีพื้นฐาน หลักการและเหตุผล ซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้อธิบายเหล่านั้นมีวิธีการได้มาจากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปนักวิทยาศาสตร์เริ่มต้นศึกษาหรือสืบเสาะหาความรู้จากการสังเกตปรากฏการณ์ แต่นักวิทยาศาสตร์อาจมีความเห็นที่แตกต่างกันในเรื่องราวของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ตลอดจนมีวิธีการศึกษาค้นคว้าที่แตกต่างกัน เช่น การสังเกต การทดลอง การสำรวจ เป็นต้น ดังนั้นการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไม่ได้อาศัยการสังเกตเพียงอย่างเดียว และไม่มีขั้นตอนวิธีการที่แน่นอนตายตัวและไม่สามารถยืนยันได้ว่าวิธีการต่างๆ จะถูกต้องเสมอไป ยกตัวอย่างเช่น นักวิทยาศาสตร์ศึกษาเกี่ยวกับการจำแนกสิ่งมีชีวิต นักวิทยาศาสตร์เหล่านั้นไม่ได้จัดกระทำกับตัวแปรหรือทำการทดลองหรือทดสอบ เพียงแต่สังเกตและจัดจำแนกสิ่งมีชีวิตแล้วสรุปเป็นความรู้ขึ้น ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ขึ้นอยู่กับ การอ้างอิงหลักฐานที่ได้จากการสังเกตปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ โดยหลักฐานอาจได้มาจากการสังเกต และการวัดซึ่งทำในสถานการณ์จริง เช่น ธรรมชาติในป่า ธรรมชาติใต้ทะเลหรือการสร้างสถานการณ์ที่เป็นธรรมชาติขึ้นในห้องปฏิบัติการ นักวิทยาศาสตร์จะใช้ประสาทสัมผัสในการสังเกต ได้แก่ ตา ลิ้น หู จมูก และกายสัมผัส แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลอาจไม่สามารถได้มาโดยตรงจากการสังเกตเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ นักวิทยาศาสตร์จึงพยายามพัฒนาเครื่องมือและเทคนิคที่ดีขึ้นมาใช้ในการสังเกต เช่น การใช้กล้องจุลทรรศน์ การใช้เทอร์มอมิเตอร์ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรับรู้ผ่านประสาทสัมผัสซึ่งช่วยขยายประสาทสัมผัส และเครื่องมือที่สามารถบันทึกคุณสมบัติของสิ่งต่างๆ

ที่แตกต่างจากสิ่งที่มีมนุษย์สามารถรับรู้ได้ เช่น สนามแม่เหล็ก การสังเกตปรากฏการณ์ ต้องอาศัยความอดทน และข้อค้นพบต่างๆ ของนักวิทยาศาสตร์จะต้องได้รับการตรวจสอบหลักฐานจากบุคคลอื่น และได้รับการยอมรับจากหลักฐานดังกล่าว ในบางครั้งนักวิทยาศาสตร์สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งหลักฐาน เช่น การควบคุมอุณหภูมิ ความดัน แสง แต่บางครั้งที่นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถควบคุมสถานการณ์หรือตัวแปรต่างๆ ได้ เช่น การศึกษาการโคจรของดวงดาว การศึกษาลักษณะของสิ่งมีชีวิต การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ ดังนั้นหลักฐานที่ได้มานั้นไม่จำเป็นต้องได้มาจากการทดลองเท่านั้น

5. วิทยาศาสตร์เป็นการผสมผสานระหว่างเหตุผลกับจินตนาการ

การตั้งสมมติฐานและทฤษฎีเป็นขั้นตอนเกิดขึ้นจากการใช้จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์มาผสมผสานกับความรู้ที่มาจากหลักการและเหตุผล ดังนั้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไม่ได้เกิดจากการที่นักวิทยาศาสตร์ไปหยิบความรู้ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ แต่เกิดจากการสร้างความรู้ที่เกิดขึ้นจากตัวนักวิทยาศาสตร์เอง โดยอาศัยเหตุผลและจินตนาการของนักวิทยาศาสตร์ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์บางคนอาจมีความคิดเห็นหรือเหตุผลต่อปรากฏการณ์ต่างๆ ที่ต่างกัน หรืออาจไม่เห็นด้วยเกี่ยวกับหลักฐานหรือข้อสรุปต่างๆ ที่สร้างขึ้นและบางครั้งข้อสรุปนั้นอาจไม่เป็นที่ยอมรับ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงต้องเชื่อถือและยอมรับในหลักการและเหตุผลที่เชื่อมโยงกับหลักฐานและข้อสรุปที่สร้างขึ้น เมื่อนักวิทยาศาสตร์พัฒนาทฤษฎีที่มีอยู่เดิมเพื่อนำไปใช้ให้มากขึ้นและให้เป็นที่ยอมรับ นักวิทยาศาสตร์ต้องใช้หลักการและเหตุผล และการตรวจสอบหลักฐานแต่อย่างไรก็ตามหลักฐานนั้นยังไม่เพียงพอ เพราะหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เพียงอย่างเดียวไม่ได้ทำให้เกิดความหมายใดๆ หากไม่มีจินตนาการของนักวิทยาศาสตร์ต่อสิ่งที่เกิดขึ้นในโลกและนำมาเขียนอธิบายเป็นผลงานอย่างสร้างสรรค์และสามารถตรวจสอบได้ จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์เป็นจึงสิ่งที่จำเป็นในการนำมาใช้ในการอธิบายหรือให้ความหมายสิ่งที่ค้นพบ

6. นักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะบ่งชี้และหลีกเลี่ยงอคติ

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต้องอาศัยจินตนาการและประสบการณ์เดิมของนักวิทยาศาสตร์ ดังนั้นเมื่อมีการอ้างอิงว่าบางอย่างว่าเป็นสิ่งที่ถูกต้อง นักวิทยาศาสตร์จะพิจารณาหลักฐานต่างๆ ที่มาสนับสนุน แต่การได้

มาซึ่งหลักฐานอาจมีอคติเกิดขึ้นในขั้นตอนของการเก็บข้อมูล การอธิบาย การรายงาน ผลการตีความ การเลือกพิจารณาข้อมูล เชื้อชาติเพศ อายุ คุณธรรมจริยธรรม การเมือง โดยความมีอคติอาจเกิดจากตัวบุคคลที่ทำการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การเลือกกลุ่ม ตัวอย่าง วิธีการ หรือเครื่องมือที่ใช้ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงต้องพยายามค้นหาสาเหตุของการเกิดอคติและพยายามที่จะหลีกเลี่ยงการมีอคติ ซึ่งการหลีกเลี่ยงการเกิดอคติ วิธีการหนึ่งทำได้โดยการสังเกต ทดสอบหรือทดลองหลายๆ ครั้ง และทำการศึกษาในเรื่องเดียวกันแต่มีกลุ่มผู้ที่ศึกษาหลายกลุ่ม

7. วิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมทางสังคมที่สลับซับซ้อน

วิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับการทำงานในหลายหลายสาขา วิธีการ เชื้อชาติ และเพศ โดยดำเนินงานภายใต้หลักการสากลที่เป็นที่ยอมรับ เช่น วิทยาศาสตร์ไม่ได้จำกัดเฉพาะผู้ชายหรือผู้หญิงโดยเฉพาะ แต่ทุกคนสามารถมีส่วนร่วมในวิทยาศาสตร์ ดังนั้นมนุษย์ทุกคนสามารถมีส่วนร่วมและสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ตลอดเวลา ซึ่งบุคคลที่นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ เช่น นักวิทยาศาสตร์ วิศวกรนักคณิตศาสตร์ นักฟิสิกส์ โดยการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ก็เพื่อประกอบการทำงานเฉพาะทาง วิทยาศาสตร์มีบทบาทในสังคมมากมาย เช่น นักวิทยาศาสตร์เข้ามทำงานใน มหาวิทยาลัย โรงพยาบาล วงการธุรกิจ และอุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐบาล องค์กรวิจัยอิสระ และสมาคมทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ นักวิทยาศาสตร์อาจทำงานตามลำพัง หรือกลุ่มเล็กๆ หรือเป็นสมาชิกในกลุ่มนักวิจัยขนาดใหญ่ โดยนักวิทยาศาสตร์อาจทำงานในห้องเรียน ห้องทำงาน ห้องปฏิบัติการทดลองและในภาคสนามตั้งแต่อวกาศจนถึงใต้สมุทร เมื่อนักวิทยาศาสตร์ศึกษาและได้ข้อมูลแล้วจะเผยแพร่ข้อมูลเพื่อเปิดโอกาสให้สังคม นักวิทยาศาสตร์หรือนักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ วิพากษ์วิจารณ์เพื่อจะได้มาซึ่งการพัฒนาความรู้ที่มีความน่าเชื่อถือต่อไป

8. วิทยาศาสตร์ได้ถูกจัดระบบอยู่ในเนื้อหาวิชาสาขาต่างๆ และมีการดำเนินการในสถาบันต่างๆ

วิทยาศาสตร์ถูกแบ่งออกเป็นสาขาวิชาต่างๆ เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ดาราศาสตร์ เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา แต่ในความเป็นจริงแล้ววิทยาศาสตร์ในสาขาต่างๆ มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันไม่สามารถแยกจากกันได้อย่างชัดเจน สาขาวิชาฟิสิกส์อาจจะเข้าไปเกี่ยวข้องกับสาขาเคมี สาขาดาราศาสตร์ และสาขาธรณีวิทยา

ในขณะที่สาขาเคมีอาจเข้าไปเกี่ยวข้องกับสาขาชีววิทยา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสาขาวิชาใหม่ๆ ทางวิทยาศาสตร์กำลังเกิดขึ้นหรือที่เกิดขึ้นใหม่ เช่น ฟิสิกส์ดาราศาสตร์ และชีววิทยาสังคม ซึ่งสาขาวิชาดังกล่าวมีขอบเขตวิชาต่อเนื่องกับสาขาวิชาอื่นๆ มากขึ้น และกำลังจะเจริญก้าวหน้าและแบ่งแยกออกเป็นวิชาย่อยๆ ที่ชัดเจนมากขึ้นและจะกลายเป็นสาขาวิชาหลัก

9. การดำเนินงานทางวิทยาศาสตร์ต้องมีจริยบรรณ

นักวิทยาศาสตร์ต้องทำงานโดยยึดหลักคุณธรรม จริยธรรม โดยเฉพาะในการเก็บรวบรวมข้อมูลหรือการบันทึกข้อมูล ความซื่อสัตย์ ความใจกว้าง การมีเจตนา ยอมรับการตรวจสอบการวิพากษ์วิจารณ์ของนักวิทยาศาสตร์ด้วยกัน แต่ในบางครั้งนักวิทยาศาสตร์ก็มีเรื่องของการแข่งขันเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การให้รางวัล การตีพิมพ์ การเมือง และสังคม นักวิทยาศาสตร์บางคนไม่เปิดเผยข้อมูลหรือและทำการบิดเบือนผลจากการค้นคว้าวิจัย การกระทำเช่นนี้เป็นการกระทำที่ขัดขวางความเจริญก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์ และจะถูกตำหนิอย่างรุนแรงจากสังคมนักวิทยาศาสตร์

10. นักวิทยาศาสตร์เข้าร่วมในกิจกรรมสาธารณะทั้งในฐานะที่เป็นผู้เชี่ยวชาญและเป็นพลเมือง

นักวิทยาศาสตร์มีบทบาททั้งเป็นผู้เชี่ยวชาญและพลเมือง เมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้นในสังคม นักวิทยาศาสตร์ สามารถนำเอาความรู้ความเข้าใจและทักษะในการวิเคราะห์มาใช้เป็นข้อมูลเพื่อการตัดสินใจหรือช่วยเหลือสังคมให้เข้าใจเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ เช่น ในประเด็นความขัดแย้งการสร้างท่อส่งแก๊สหรือโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ นักวิทยาศาสตร์จะให้ข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์ในฐานะผู้เชี่ยวชาญในการตัดสินใจสร้างโรงงานดังกล่าว นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ยังช่วยประเมินผลที่อาจเกิดขึ้นจากนโยบายที่รัฐบาลกำหนดขึ้น เช่น ผลจากการสร้างเขื่อนมีต่อระบบนิเวศอย่างไร นักวิทยาศาสตร์สามารถพิสูจน์และยืนยันความเป็นไปได้ในเรื่องราวต่างๆ และพยายามแยกข้อเท็จจริงออกจากข้อคิดเห็นอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถระบุหรือชี้ชัดสิ่งใดถูกหรือสิ่งใดผิด เนื่องจากว่าเหตุการณ์ในสังคมนั้นซับซ้อน นักวิทยาศาสตร์หรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นในการตัดสินใจ สำหรับอีกบทบาทหน้าที่ของนักวิทยาศาสตร์คือการเป็นพลเมืองของสังคม ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ก็เหมือนคนทั่วไปที่บางครั้งอาจมีอคติ มีความรู้สึกต่างๆ

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (PCK for teaching NOS)

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอน (Pedagogical Content Knowledge, PCK) ถูกนิยามขึ้นโดย Lee Shulman (1986) ซึ่งเขาอธิบายว่าความรู้ดังกล่าวเกิดจากการบูรณาการระหว่างความรู้ในเนื้อหา (Content knowledge) และความรู้เกี่ยวกับวิธีสอน (Pedagogy) เข้าด้วยกัน นั่นหมายความว่าสิ่งที่ครูจะสอนอะไรก็ตาม ความรู้ในเนื้อหาอย่างเดียวยังคงไม่เพียงพอ ยกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ เรามักจะเห็นอาจารย์หรือครูบางท่านที่เก่ง มีความรู้มาก แต่สอนแล้วนักเรียนไม่เข้าใจ ทำให้นักเรียนยิ่งเรียนแล้วยิ่งงงกว่าเดิม ทั้งนี้เพราะมีความรู้ในเนื้อหาแต่ไม่ได้บูรณาการกับวิธีสอน ในทางตรงข้าม อาจารย์หรือครูบางท่านก็มีวิธีสอนมีกิจกรรมให้นักเรียนทำมากมาย แต่กิจกรรมนั้นขาดความเข้มข้นของเนื้อหา นักเรียนไม่เข้าใจในเนื้อหาเช่นกัน ทั้งนี้เพราะครูมีความรู้ในวิธีสอนอย่างดี แต่ขาดความรู้ในเนื้อหา ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนมีความเฉพาะเจาะจงกับเนื้อหาที่สอนและวิธีสอนเนื้อหานั้น (Abell, 2008; Berry, Loughran and van Driel, 2008; Bucat, 2004; Nilsson and Loughran, 2011) ยกตัวอย่างเช่น ครูที่สอนวิชาวิทยาศาสตร์อาจใช้วิธีสอนแตกต่างจากการสอนวิชาพลศึกษา เพราะเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์แตกต่างจากเนื้อหาวิชาพลศึกษา และแม้ในวิชาวิทยาศาสตร์เองก็ตาม ครูที่สอนวิชาเคมีอาจใช้วิธีสอนที่แตกต่างจากการสอนวิชาชีววิทยา และในวิชาเคมี วิธีสอนที่ใช้สอนเรื่องโมเลกุลอาจแตกต่างจากวิธีสอนที่ใช้สอนเรื่องสมดุลเคมี เป็นต้น

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนไม่ได้จำกัดเพียงแค่พิจารณาว่าครูมีความรู้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และใช้วิธีสอนเหมาะสมกับเนื้อหาที่สอนเท่านั้น แต่ยังพิจารณาความรู้เกี่ยวกับหลักสูตร ความรู้เกี่ยวกับแนวคิดและความรู้ของนักเรียน ความรู้เกี่ยวกับวิธีสอน ความรู้เกี่ยวกับสื่อการเรียนรู้ และความรู้เกี่ยวกับการวัดและประเมินผล โดยคำถามที่สะท้อนความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนของครู ได้แก่คำถามต่อไปนี้

1. ครูมีความเชื่อเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียน บทบาทของนักเรียน การสอนของครู และบทบาทของครูอย่างไร สอดคล้องกับแนวคิดหรือทฤษฎีการเรียนรู้ใด
2. ครูวิเคราะห์เป้าหมายเรียนรู้วิทยาศาสตร์จากหลักสูตรแกนกลางและหลักสูตรสถานศึกษาหรือไม่ อย่างไร

3. ครูกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สอดคล้องกับเป้าหมายการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในหลักสูตรหรือไม่ อย่างไร
4. ครูเลือกสาระการเรียนรู้ที่จะสอนโดยพิจารณาจากสาระการเรียนรู้ที่นักเรียนมาแล้วและจะเรียนต่อไปหรือไม่ อย่างไร
5. ครูศึกษาและตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนก่อนเรียนหรือไม่ อย่างไร
6. ครูใช้วิธีสอนเหมาะสมกับเนื้อหาและพัฒนาการของนักเรียนหรือไม่ อย่างไร
7. ครูใช้สื่อการเรียนรู้เหมาะสมกับเนื้อหาที่สอน เวลา และกิจกรรมหรือไม่
8. ครูวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนเหมาะสมกับเนื้อหาที่สอนหรือไม่
9. ครูวัดและประเมินผลการเรียนรู้สอดคล้องจุดประสงค์การเรียนรู้หรือไม่

แนวคิดเกี่ยวกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนนี้ได้ถูกนำมาปรับใช้กับการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้มองว่าธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เปรียบเหมือนกับเนื้อหาเฉพาะ (subject-specific content) ซึ่งเทียบเคียงได้กับเนื้อหาเคมี ชีววิทยา หรือ ฟิสิกส์ เพราะมีแนวคิด หัวข้อ และศัพท์เฉพาะของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ดังนั้นการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์จึงถือว่าเป็นเรื่องเฉพาะเจาะจงเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น การที่จะสอนให้นักเรียนเข้าใจว่าวิทยาศาสตร์แตกต่างจากเทคโนโลยีอย่างไร ครูอาจมีวิธีสอนแตกต่างจากการสอนให้นักเรียนเข้าใจว่ากฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์แตกต่างกันอย่างไร โดยแนวคิดดังกล่าวเริ่มต้นจาก Abd-El-Khalick and Lederman (2000) ที่ได้เสนอในงานวิจัยว่าครูที่จะสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ควรมีความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อสอนธรรมชาติวิทยาศาสตร์ (Pedagogical content knowledge for teaching the nature of science) หรือ PCK for teaching NOS ต่อมานักวิทยาศาสตร์ศึกษาท่านอื่น เช่น Haunscin, Lee and Akerson (2011) และ Faikhamta and Clarke (2012) ก็ได้ศึกษาและวิจัยเพื่อขยายแนวคิดดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ในที่นี้ผู้เขียนขอเสนอรูปแบบ PCK for teaching NOS ซึ่งขยายรูปแบบดังกล่าวจาก Haunscin, Lee and Akerson (2011) และใช้รูปแบบ PCK for teaching science ของ Magnusson, Krajcik and Borko (1999) เป็นฐาน ซึ่งแสดงดังภาพและรายละเอียดดังนี้

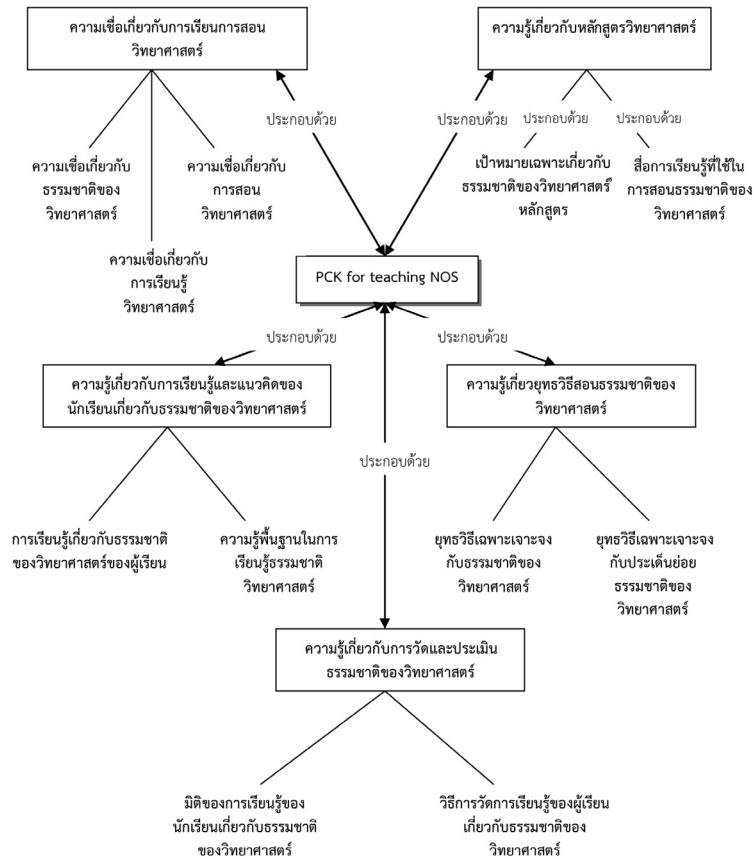


Figure 1 A Model of PCK for teaching NOS

1. ความเชื่อเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์ (Orientations to teaching science)

ความเชื่อเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์หมายถึงความเชื่อของครูเกี่ยวกับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน การสอนของครู และความเชื่อเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ความเชื่อเกี่ยวกับการสอนถือว่าเป็นเรื่องเฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละบุคคลว่ามีความเชื่อแบบใด เช่น การสอนแบบบรรยาย การสอนแบบเปลี่ยนแปลงมโน

มติ การสอนแบบค้นพบ การสอนโครงงาน การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้แบบกึ่งโครงสร้าง และความเชื่อดังกล่าวจะส่งผลและมีอิทธิต่อความรู้ องค์ประกอบอื่นของ PCK for teaching NOS ยกตัวอย่างเช่น หากครูมีความเชื่อเกี่ยวกับการสอนแบบบรรยาย ครูจะเชื่อว่านักเรียนเปรียบเสมือนผ้าขาว ที่ครูสามารถเติมความรู้ให้นักเรียนได้ ครูจึงมีบทบาทสำคัญในการถ่ายโอนความรู้ที่ครูมีอยู่ไปยังนักเรียนผ่านการอธิบาย ดังนั้นเมื่อครูสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ครูอาจใช้การอธิบายและการบอกนักเรียน โดยไม่ได้คำนึงถึงความรู้เดิมของนักเรียนว่าเข้าใจธรรมชาติอย่างไร นักเรียนไม่ได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรม และไม่มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ในทางตรงข้าม หากครูมีความเชื่อการสอนแบบเปลี่ยนแปลงมโนคติ ครูจะเชื่อว่านักเรียนมีความรู้เดิมมาก่อน ซึ่งความรู้เดิมนั้นอาจสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ศึกษา ครูมีบทบาทหน้าที่คอยจัดกิจกรรมและอำนวยความสะดวกเพื่อปรับเปลี่ยนแนวคิดเดิมของนักเรียนให้สอดคล้องกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ศึกษา ครูจึงเริ่มกิจกรรมโดยการหาความรู้เดิมของนักเรียน จัดกิจกรรมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติและอภิปรายประเด็นเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบความรู้เดิมและความรู้ใหม่ที่นักเรียนได้เรียนรู้ เป็นต้น

2. ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Knowledge of Science Curriculum related to the Nature of Science)

ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับสื่อและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และความรู้เกี่ยวกับจุดประสงค์การเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในหลักสูตร โดยองค์ประกอบแรกนั้นหมายถึงความรู้ความเข้าใจของครูเกี่ยวกับเนื้อหาสาระในหนังสือหลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่บรรจุประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไว้ รวมทั้งหลักสูตรแกนกลางหรือหลักสูตรสถานศึกษา คู่มือครู หนังสือเรียน คู่มือการปฏิบัติการ สื่อการเรียนรู้ อื่นๆ ซึ่งความรู้ดังกล่าวถือว่าเป็นความรู้ที่สำคัญในการใช้เพื่อวางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพราะครูต้องทราบว่ามีสื่อหรืออุปกรณ์ใดบ้างที่สามารถใช้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ได้ ยกตัวอย่างเช่น หากครูทราบว่าในหนังสือเรียนมีประเด็นนักวิทยาศาสตร์บรรจุเป็นเนื้อหาสาระไว้ ครูจะสามารถหยิบยกและใช้ประเด็นดังกล่าวเพื่อให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับประเด็นนักวิทยาศาสตร์ซึ่งอาจนำไปสู่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานและลักษณะของนักวิทยาศาสตร์ได้

องค์ประกอบที่สองคือความเข้าใจของครูเกี่ยวกับเป้าหมายและจุดประสงค์การสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏอยู่ในหลักสูตรในแต่ละระดับชั้นที่สอน ทั้งนี้ครูต้องพิจารณาทั้งหลักสูตรในแนวนอนและแนวตั้ง หากพิจารณาจุดประสงค์การสอนเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแนวนอน ครูจะต้องพิจารณาว่าลักษณะของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (NOS aspect) ในปีการศึกษาที่สอนนั้นมีอะไรบ้างที่นักเรียนต้องเรียนรู้ และหากพิจารณาหลักสูตรในแนวตั้ง ครูจะต้องพิจารณาว่าในปีที่ผ่านมาหรือภาคการศึกษาที่ผ่านมา ลักษณะของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มีอะไรบ้างที่นักเรียนต้องเรียนรู้ และในปีต่อไปนักเรียนต้องเรียนรู้อะไรบ้าง การพิจารณาเป้าหมายและจุดประสงค์ในหลักสูตรก็เพื่อพิจารณาว่าอะไรเป็นประเด็นที่สำคัญหรือประเด็นเด่นที่ควรนำมาสอนนักเรียน การเข้าใจประเด็นเหล่านี้จะช่วยให้ครูสามารถทราบล่วงหน้าหรือวางแผนล่วงหน้าว่าจะใช้เวลาอย่างน้อยเพียงใดในการสอนในแต่ละลักษณะของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ จะสอนในประเด็นนั้นสักมากน้อยเพียงใด และจะเลือกสอนกี่ประเด็นจากหลักสูตร นอกจากนี้ยังช่วยให้ครูไม่ต้องเสียเวลาสอนประเด็นที่ซ้ำซ้อน และทำให้รู้ว่าตนเองสอนประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ได้ครอบคลุมหรือไม่ และมากน้อยเพียงใด

3. ความรู้เกี่ยวกับแนวคิดและการเรียนรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Knowledge of Student Conceptions and Learning in Nature of Science)

ความรู้เกี่ยวกับแนวคิดและการเรียนรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับแนวคิดก่อนเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และความรู้เกี่ยวกับการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียน สำหรับองค์ประกอบแรกหมายถึงความเข้าใจของครูเกี่ยวกับความรู้เดิมของนักเรียนว่าเป็นอย่างไร สอดคล้องกับแนวคิดธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์หรือไม่ อย่างไร ซึ่งการที่ครูมีความเข้าใจดังกล่าวจะสามารถช่วยให้ครูทราบพื้นฐานของนักเรียนและสามารถช่วยให้สามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับนักเรียนต่อไปได้ ซึ่งจากงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาทั้งในและต่างประเทศ (เช่น Abd-El-Khalick and Lederman, 2000; Chamrat, Yutakom and Chaiso, 2009; Kijkuakul, Yutakom and Engkagul, 2005; Sangthong, Faikhamta and Yutakom, 2010) พบว่าผู้เรียน

มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มาก ซึ่งจะขอยกตัวอย่างความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนที่พบบ่อยดังต่อไปนี้

1. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีคือสิ่งเดียวกัน
2. วิทยาศาสตร์สามารถตอบคำถามได้ทุกคำถาม
3. วิทยาศาสตร์คือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเท่านั้นไม่เกี่ยวข้องกับวิถีได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์
4. ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีอยู่แล้วในธรรมชาติ นักวิทยาศาสตร์เพียงแค่ค้นคว้าหรือดึงความรู้นั้นมา
5. ความรู้วิทยาศาสตร์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
6. กฎได้มาจากทฤษฎีที่ได้รับการพิสูจน์มาแล้ว
7. กฎเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้
8. การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไม่ต้องอาศัยจินตนาการหรือความรู้เดิมของนักวิทยาศาสตร์
9. ความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการไม่ใช่ส่วนหนึ่งของการสร้างองค์ความรู้วิทยาศาสตร์อย่างไร
10. กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (scientific process) ที่ใช้ในการได้มาซึ่งความรู้มีเพียงวิธีเดียวคือวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific methods)
11. วิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นวิธีที่มีขั้นตอนตายตัว คือ สังเกต กำหนดตั้งสมมติฐาน ทดลอง สรุปผลการทดลอง ตามลำดับ
12. นักวิทยาศาสตร์สามารถทำการศึกษาได้อย่างอิสระโดยสังคมไม่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจศึกษาสิ่งนั้น

ดังนั้นหากครูเข้าใจและทราบว่านักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเช่นนี้ก็จะสามารถหาวิธีหรือกลยุทธ์เพื่อปรับแนวคิดของนักเรียนให้เข้าใจประเด็นนั้นมากขึ้น สำหรับองค์ประกอบที่สองคือความรู้เกี่ยวกับการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียน หมายถึงความเข้าใจของครูเกี่ยวกับความแตกต่างเกี่ยวกับความสามารถและการเรียนรู้ของผู้เรียนเมื่อเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ โดยครูต้องมีความเข้าใจว่านักเรียนแต่ละคนมีวิธีการเรียนรู้ธรรมชาติที่แตกต่างกัน บางคนสามารถเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์จากการลงมือสืบเสาะหาความรู้แล้วอภิปรายเกี่ยวกับประเด็นธรรมชาติ

ของวิทยาศาสตร์ แต่บางคนอาจจะชอบและเรียนรู้ได้ดีหากได้อ่านและศึกษาประวัติของนักวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ดังนั้นหากครูทราบความสามารถและการเรียนรู้ของนักเรียนแล้วก็จะสามารถหากกลยุทธ์การสอนที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์ได้ ดังจะกล่าวไปหัวข้อถัดไป

4. ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน (Knowledge of Teaching Strategies)

ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนสำหรับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ (subject-specific) และความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแต่ละประเด็นที่เฉพาะเจาะจง (Topic or aspect-specific) ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนสำหรับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะหมายถึงความรู้ของครูเกี่ยวกับกระบวนการหรือลำดับขั้นตอนทั้งหมดในการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ครูควรมีความสามารถบรรยายและแสดงกลยุทธ์การสอนเพื่อถ่ายทอดแนวคิดเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกลยุทธ์การสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มากขึ้นจะสอดคล้องกับการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivist-based learning) ซึ่งได้แก่วิธีสืบเสาะหาความรู้ผนวกกับการสะท้อนความคิดอย่างชัดเจน (Reflective and explicit inquiry) โดยนักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้ทำวิจัยและยืนยันว่าวิธีดังกล่าวสามารถช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจธรรมชาติได้ดี (Akerson, Abd-El-Khalick, and Lederman, 2000) และเชื่อว่าหากสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยการผ่านกระบวนการสืบเสาะเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอ บางครั้งครูอาจคิดว่าการให้นักเรียนได้สืบเสาะหาความรู้จะทำให้นักเรียนได้เรียนรู้การทำงานของนักวิทยาศาสตร์และเข้าใจกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปอย่างอัตโนมัติ ดังนั้นจึงจัดกิจกรรมให้นักเรียนทำโครงการวิทยาศาสตร์พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือลงมือสืบสวนสอบสวน แต่ขาดการสะท้อนความคิดอย่างชัดเจนในประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้เรียกว่าการสืบเสาะแบบเป็นนัย (Implicit inquiry) ตัวอย่างของวิธีสืบเสาะหาความรู้ผนวกกับการสะท้อนความคิดอย่างชัดเจน เช่น หากครูต้องการให้นักเรียนมีความเข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ต้องการหลักฐาน ครูอาจนำประเด็นดังกล่าวไปบูรณาการกับการสอน

เนื้อหาวิทยาศาสตร์เนื้อหาใดเนื้อหาหนึ่ง เช่น การตรวจสอบคุณภาพของน้ำ แล้วให้นักเรียนสืบเสาะหาความรู้เพื่อได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำ แล้วครูอาจถามคำถามเพื่อกระตุ้นให้เกิดการสะท้อนความคิดในประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ให้ชัดเจน เช่น นักเรียนมีวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างไร นักเรียนคิดว่าวิธีการที่นักเรียนใช้มีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด นักเรียนมีหลักฐานใดบ้าง นักเรียนได้ทำอะไรบ้างเหมือนนักวิทยาศาสตร์ นักเรียนคิดว่านักวิทยาศาสตร์ใช้วิธีใดบ้างเพื่อคนอื่นเชื่อในผลการสืบเสาะของเขา เป็นต้น นอกจากนี้การสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สามารถทำได้โดยการสอนผ่านประวัติการค้นพบความรู้วิทยาศาสตร์ (Historical approach) (Lin and Chen, 2002) ซึ่งเป็นการใช้เรื่องราวของนักวิทยาศาสตร์ ชีวประวัติของนักวิทยาศาสตร์ หรือการค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้เป็นตัวขับเคลื่อนและใช้สอนร่วมกับเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจลักษณะการทำงานและการค้นพบความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ ได้เห็นว่าความรู้วิทยาศาสตร์สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปได้เมื่อมีการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมและมีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่น่าเชื่อถือ เป็นต้น วิธีการสอนนี้ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีมุมมองเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเฉพาะประเด็นการค้นหาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ยกตัวอย่าง เช่น ในกรณีที่สอนเนื้อหาเรื่องโครงสร้างอะตอมซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโครงสร้างต่างๆ ได้ถูกพัฒนาจากทฤษฎีและแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยนักเคมีหลายท่าน ดังนั้น ครูสามารถใช้ประวัติของนักวิทยาศาสตร์แต่ละท่านและกระบวนการสืบเสาะและสร้างทฤษฎีดังกล่าวมาอภิปรายและสะท้อนความคิดในห้องเรียน สิ่งสำคัญคือครูต้องเตรียมคำถามเพื่อให้ นักเรียนได้สะท้อนความคิดเกี่ยวกับประเด็นธรรมชาติจากประวัติของนักวิทยาศาสตร์ สำหรับองค์ประกอบที่สองคือความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแต่ละประเด็นที่เฉพาะเจาะจงหมายถึงความสามารถของครูในการนำเสนอประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแต่ละประเด็น (aspect) เช่น ประเด็นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์กับสังคม ประเด็นเกี่ยวกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ประเด็นเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างทฤษฎีกับทฤษฎี เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละประเด็นก็มีแตกต่างกัน แม้ว่าจะอยู่ภายใต้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ก็ตาม ดังนั้นครูก็ย่อมต้องมีความรู้ในการนำเสนอที่แตกต่างกัน ครูอาจใช้วิธีการนำเสนอแตกต่างกันไป เช่น การยกตัวอย่าง การอุปมาอุปมัย การสาธิต การใช้แบบจำลอง การทดลอง การใช้ตัวอย่าง

ชีวิตประจำวันนักวิทยาศาสตร์ การแสดงละครวิทยาศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น ในการนำเสนอ หรือถ่ายทอดความรู้ให้กับนักเรียนในประเด็นเกี่ยวกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ครูอาจใช้ การสอนโดยผ่านการแสดงละครสะท้อนชีวิตประจำวันของนักวิทยาศาสตร์ แต่สำหรับการกร สอนประเด็นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์และสังคม ครูอาจใช้วิธียกตัวอย่าง ก็ได้เหตุการณ์การสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก็ได้แล้วอภิปรายร่วมกับนักเรียนเพื่อเชื่อมโยง ให้เห็นว่าวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์กับสังคมอย่างไร

5. ความรู้เกี่ยวกับการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์ (Knowledge of Assessment in Nature of Science)

ความรู้เกี่ยวกับการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับมิติของการเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์ และวิธีวัดและประเมินการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียน องค์ประกอบแรกหมายถึงความเข้าใจของครูว่าในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์นักเรียน ต้องเข้าใจหรือเรียนรู้มีอะไรบ้างในระดับชั้นที่ตนสอนอยู่ เพราะประเด็นธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์มีหลายประเด็น แต่ละประเด็นอาจมีความเหมือนและความแตกต่างกัน การวัดและประเมินผลก็อาจจะแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ในตัวชี้วัดที่ 8 ของสาระการ เรียนรู้ในสาระที่ 8 ระดับชั้น ม. 1 – 3 ระบุว่า

“บันทึกและอธิบายผลการสังเกต การสำรวจตรวจสอบค้นคว้าเพิ่มเติม จากแหล่งความรู้ต่างๆ ให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้และยอมรับการเปลี่ยนแปลงความรู้ที่ ค้นพบ เมื่อมีข้อมูลและประจักษ์พยานใหม่เพิ่มขึ้นหรือโต้แย้งเพิ่มขึ้น” (Institute for Teaching Science and Technology, 2003)

ดังนั้นสิ่งที่ครูจะต้องพิจารณาก็คือต้องวิเคราะห์ตัวชี้วัดนี้ว่ามีประเด็น ธรรมชาติอะไรบ้าง มีกี่ประเด็นที่นักเรียนต้องเรียนรู้ ซึ่งหากวิเคราะห์จากตัวอย่างแล้ว พบว่ามีหนึ่งประเด็นคือ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เปลี่ยนแปลงได้ เป็นต้น ความรู้เกี่ยวกับ มิติของการเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มีความคล้ายคลึงกับความรู้เกี่ยวกับ เป้าหมายและจุดประสงค์การสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มาก แต่สิ่งที่แตกต่างกัน คือครูต้องพยายามเชื่อมโยงความรู้เกี่ยวกับมิติของการเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์กับความรู้เกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับวิธีวัดและประเมินการเรียนรู้ธรรมชาติ ของวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจดังกล่าวจะช่วยให้ครูสามารถตัดสินใจกำหนดจุดประสงค์

การเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ และทราบว่าวัดและประเมินความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอย่างไร และสอดคล้องกับองค์ประกอบย่อยที่สองที่ครูต้องทราบว่าวิธีวัดและประเมินการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มีอะไรบ้างและวัดอย่างไร

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้พยายามพัฒนาวิธีวัดและประเมินการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันมีเครื่องมือหลายชนิดที่นำมาใช้วัดความเข้าใจลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เช่น Paper and Pencil Test ซึ่งมีหลายรูปแบบเช่น การเลือกคำตอบ ถูก ผิด เห็นด้วยไม่เห็นด้วย หรือเป็นแบบที่มีตัวเลือกให้เลือกมากกว่า 2 ตัวเลือก แต่ไม่มีการแสดงผลประกอบการเลือกตอบ หรืออาจเป็น Paper and Pencil Test ที่มีลักษณะเป็นข้อคำถามปลายเปิด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและเป็นข้อมูลในเชิงลึกว่านักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อย่างไร นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือที่เป็นประเภทปลายเปิด (Open-ended) ที่เรียกว่า View of Nature of Science Questionnaire (V-NOS) (Lederman, 2002) ที่มีลักษณะเป็นข้อความปลายเปิดและให้ผู้ตอบคำถามเป็นต้น อย่างไรก็ตาม เครื่องมือแต่ละชนิดนี้ก็มีทั้งจุดเด่นและจุดด้อย แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการวัดและประเมินการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก็คือการวัดและประเมินผลนักเรียนด้านความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไม่ควรเป็นลักษณะของข้อสอบแบบตัวเลือกที่เป็นความคิดรวบยอดหลักตรงตัว เนื่องจากจะทำให้นักเรียนเรียนรู้โดยการท่องจำ แต่ควรประเมินผลโดยการขยายแนวคิดโดยการให้ตัวอย่างใหม่เพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน และการวัดและประเมินต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ มิติของการเรียนรู้ รวมทั้งเหมาะสมกับวัยของนักเรียนด้วย

การนำความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สู่การปฏิบัติ (PCK for teaching NOS in Practice)

รูปแบบของความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนเพื่อสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่นำเสนอไปแล้วใน Figure 1 และรายละเอียดในหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นว่าความรู้ดังกล่าวประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ซึ่งหากสังเกตจะเห็นลูกศรเชื่อมโยงแต่ละองค์ประกอบนั้นหมายถึงความรู้แต่ละองค์ประกอบไม่ได้แยกออกจากกัน ในทางตรงกันข้ามแต่ละ

องค์ประกอบมีความเชื่อมโยงกัน เพราะรูปแบบดังกล่าวเป็นรูปแบบ Transformative model คือทุกองค์ประกอบต้องสัมพันธ์กันทั้งหมดในองค์รวม ต้องบูรณาการกันทั้งหมดแล้วเป็นอันหนึ่งอันเดียวแล้วนำมาใช้ในการสอนหรือการปฏิบัติจริง โดยการบูรณาการดังกล่าวจะนำไปสู่คำถามที่สามารถเป็นแนวทางให้ครูสามารถดำเนินการสอนอย่างเป็นรูปธรรมตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบความเข้าใจของตนเองเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหมายและลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ให้ถ่องแท้ก่อนจะสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ โดยประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เปรียบเหมือนความรู้ในเนื้อหา (content knowledge) ที่จะต้องทำความเข้าใจ หากครูผู้สอนไม่เข้าใจลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แล้วก็จะส่งผลทำให้ไม่สามารถออกแบบกิจกรรมเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ การทำความเข้าใจดังกล่าวสามารถทำได้โดยศึกษาจากบทความนี้ที่แสดงด้านบน หรือบทความอื่น งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา เป็นต้น

2. ทบทวนความเชื่อของตนเองว่าตนเองมีความเชื่อเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์อย่างไร ตนเองเชื่อว่านักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างไร สอดคล้องกับแนวคิดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันหรือไม่ อย่างไร

3. ศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตรว่า ลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่บรรจุอยู่ในสาระการเรียนรู้หรือตัวชี้วัดในระดับชั้นที่ตนจะต้องสอนมีอะไรบ้าง นักเรียนเรียนรู้ลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อะไรบ้างก่อนที่จะเรียนรู้ในระดับชั้นที่ตนสอน และหลังจากนั้นนักเรียนจะเรียนรู้ลักษณะธรรมชาติอะไรบ้าง

4. วิเคราะห์และตั้งสาระการเรียนรู้ในข้อ 3 มากำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ พิจารณาว่าลักษณะธรรมชาติวิทยาศาสตร์อะไรบ้างที่ต้องสอน พิจารณาความเชื่อมโยงลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับเนื้อหาในบทเรียนวิทยาศาสตร์ นั้นหมายถึงการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ควรบูรณาการกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ แม้ว่างานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Khishfe and Abd-El-Khalick, 2006) พบว่าผลการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบบูรณาการกับเนื้อหาและไม่บูรณาการกับเนื้อหาไม่แตกต่างกัน แต่ผู้เขียนขอเสนอว่าหากบูรณาการกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์น่าจะช่วยให้เนื้อหาวิทยาศาสตร์มีความสมบูรณ์ขึ้นและยังช่วยให้ครูไม่ต้องเพิ่มภาระงานจากการเตรียมบทเรียนเพิ่ม

5. ตรวจสอบความรู้อื่นของผู้เรียนเกี่ยวกับลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่ต้องการสอนหรือที่ระบุในจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยการตรวจสอบความรู้อื่นนี้สามารถทำได้หลากหลาย เช่น การถามตอบ การอภิปราย การใช้แบบทดสอบ การใช้แบบสอบถาม การสังเกตจากการทำกิจกรรม เป็นต้น

6. เลือกกลยุทธ์การสอนหรือการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเนื้อหาสาระของวิทยาศาสตร์และลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เช่น การสืบเสาะหาความรู้ การปรับเปลี่ยนมโนคติ การสืบสวนสอบสวน เป็นต้น ทั้งนี้ควรเป็นกิจกรรมที่หลากหลาย และเน้นการให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้

7. เลือกสื่อการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับเนื้อหาสาระของวิทยาศาสตร์และลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ควรเป็นกิจกรรมที่หลากหลาย สอดคล้องกับความสามารถและการเรียนรู้ของนักเรียน

8. เชื่อมโยงลักษณะธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยจัดกิจกรรมให้นักเรียนได้สะท้อนความคิดอย่างชัดเจน (Explicit and reflective approach) (Buaraphan, 2011; Khishfe and Abd-El-Khalick, 2002) เวลาในการอภิปรายประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เพื่อให้นักเรียนได้พิจารณาธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ผ่านบทสนทนา และแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ครูอาจใช้คำถามนำเพื่อให้เกิดการสะท้อนความคิด เช่น นักเรียนได้เรียนรู้อะไร นักเรียนได้ปฏิบัติอะไรบ้างเหมือนนักวิทยาศาสตร์ นักเรียนยืนยันได้อย่างไรว่า ผลการทดลองของนักเรียนถูกต้อง หลักฐานใดที่จำเป็น วันนี้นักเรียนได้เรียนรู้อะไรบ้างเกี่ยวกับลักษณะของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

9. วัดและประเมินผลการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ดังกล่าวต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ และสอดคล้องกับวัยและความสามารถของนักเรียน นอกจากนี้การวัดและประเมินผลต้องมีความหลากหลาย ครูอาจใช้การถามตอบ การอภิปราย การใช้แบบสอบถาม การสังเกตจากการทำกิจกรรม การเขียนอนุทิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนควรเกิดขึ้นตลอดเวลา ไม่จำเป็นต้องทำในชั้นตอนสุดท้าย ครูสามารถวัดและประเมินการเรียนรู้ที่นักเรียนได้ระหว่างเรียนได้ตลอดเวลา

บทสรุป

ก่อนเขียนบทความนี้ ผู้เขียนได้ตระหนักว่าหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยยังไม่ได้บรรจุรายละเอียดหรือเนื้อหาเชิงลึกเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เพื่อให้ครูใช้ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์วิธีสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่เป็นสาระการเรียนรู้และมาตรฐานการเรียนรู้เท่านั้น อีกทั้งในสาระการเรียนรู้ดังกล่าวไม่ครอบคลุมประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ดังที่หลักสูตรในต่างประเทศหรือนักวิทยาศาสตร์ศึกษาอเมริกัน เพราะหากวิเคราะห์จริงๆ แล้วจะเห็นว่าในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยในปัจจุบันมุ่งเน้นประเด็นการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (science as an inquiry) เท่านั้น ผู้เขียนจึงเริ่มต้นด้วยการเขียนบทความนี้ขึ้นมา เพื่ออธิบายความหมายและลักษณะของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และความรู้ที่จำเป็นต้องใช้สอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งก็คือความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีสอนสำหรับการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (PCK for teaching NOS) ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ ความเชื่อเกี่ยวกับการสอนวิทยาศาสตร์ ความรู้เกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ความรู้เกี่ยวกับแนวคิดและการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การสอน ความรู้เกี่ยวกับการวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยองค์ประกอบทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันและต้องบูรณาการเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันเพื่อใช้ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติวิทยาศาสตร์ให้นักเรียน บทความนี้อาจช่วยให้ครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้แนวคิดบางส่วนเพื่อไปใช้พัฒนาความเข้าใจและการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของครู และผลสุดท้ายคือพัฒนาความเข้าใจนักเรียนต่อไปอย่างไรก็ตาม ยังมีประเด็นอีกมากมายที่ต้องการให้นักวิทยาศาสตร์ศึกษาและนักพัฒนาหลักสูตรวิทยาศาสตร์พิจารณาและพัฒนาขึ้นมาคือ คู่มือหรือตัวอย่างกิจกรรมที่สะท้อนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่เป็นรูปธรรม ซึ่งคู่มือและตัวอย่างกิจกรรมดังกล่าวนี้ควรจะอยู่บนพื้นฐานของผลการวิจัย ผลการวิจัยดังกล่าวจะสามารถส่งเสริม PCK for teaching NOS ของครูได้ นอกจากนี้สถาบันผลิตครูควรจะบรรจุประเด็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ลงในหลักสูตรการสอนวิทยาศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา รวมทั้งอาจารย์ผู้สอนควรพัฒนาให้นิสิตนักศึกษาที่จะจบออกไปเป็นครูวิทยาศาสตร์ในอนาคตมี PCK for teaching NOS ทั้งนี้จะนำไปสู่การพัฒนาให้นักเรียนให้เกิดความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และสุดท้ายจะนำไปสู่เป้าหมายสำคัญของการศึกษาวิทยาศาสตร์คือทำให้นักเรียนเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1989). **Project 2061: Science for All Americans**. Retrieved August 23, 2012 from <http://www.project2061.org>.
- Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. **International Journal of Science Education**. 22(7): 665 – 701.
- Abd-El-Khalick, F., & BouJaoude, S. (1997). An exploratory study of the knowledge base for science teaching. **Journal of Research in Science Teaching**. 34(7): 673-699.
- Abell, S.K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? **International Journal of Science Education**. 30(10): 1405-1416.
- Akerson, V.L., & Donnelly, L.A. (2008). Relationships among learner characteristics and preservice elementary teachers' views of nature of science. **Journal of Elementary Science Education**. 20(1): 45 – 58.
- Akerson, V.L., Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N.G. (2000). Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**. 37(4): 295 – 317.
- Berry, A., Loughran, J., & van Driel, J. H. (2008). Revisiting the roots of pedagogical content knowledge. **International Journal of Science Education**. 30(10): 1271 – 1279.
- Buaraphan, K. (2009). Thai In-service science teachers' conceptions of the nature of science. **Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia**, 32(2): 188-217.

- Buaraphan, K. (2011). Embedding nature of science in teaching about astronomy and space. **Journal of Science Education and Technology**, DOI: 10.1007/s10956-011-9329-9.
- Bucat R. (2004). Pedagogical content knowledge as a way forward: Applied research in chemistry education. **Chemical Education: Research and Practice**. 5(3): 215 – 228.
- Chamrat, S. and Yutakom, N. (2008). Chemistry teachers' understanding and practices of the nature of science when teaching atomic structure concepts (in Thai). **Kasetsart Journal (Social Sciences)**, 29(3): 228-239.
- Faikhamta, C. & Clarke, A. (2012). The development of in-service science teachers' understandings of and orientations to teaching the nature of science within a PCK-based NOS course. **Research in Science Education**. DOI: 10.1007/s11165-012-9300-7.
- Haunscin, D.L., Lee, M.H., & Akerson, V.L. (2011). Elementary teachers' pedagogical content knowledge for teaching the nature of science. **Science Education**. 95: 145 – 167.
- Johnston, A.T., & Southerland, S. (2002). **Conceptual ecologies and their influence on the nature of science conceptions: More dazed and confused than ever**. New Orleans: National Association for Research in Science Teaching.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, 39(7): 551 – 578.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2006). Teaching nature of science within a controversial topic: Integrated versus Nonintegrated. **Journal of Research in Science Teaching**. 43 (4): 395 – 418.

- Kijkuakul, S., Yutakom, N., and Engkagul, A. (2005). Grade 11 students' understandings about the nature of science (in Thai). **Kasetsart Journal (Social Sciences)**, 26(2): 133-145.
- Lalitanurak, P. and Faikhamta, C. (2011). Views on the nature of science of student teachers in the Project for the Promotion of Science and Mathematics Talented Teachers (PSMT) (in Thai) . **Songklanakarin Journal of Social Science and Humanities**, 17(5): 223-254.
- Lederman, N. G. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conception of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**. 39(6): 497 – 518.
- Lederman, N.G. (1992). Students' and teachers conception of the nature of science: A review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**. 29: 331 – 359.
- Lin, H., & Chen, C. (2002). Promoting preservice chemistry teachers' understanding about the nature of science through history. **Journal of Research in Science Teaching**. 39(9): 773 – 792.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), **Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education** (pp. 95 – 132). Boston: Kluwer.
- Mahalee, K. & Faikhamta, C. (2009). The seventh grade students' understandings of the nature of science. **Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities** (In Thai). 16(5): 795 – 809.
- McComas, W.F., Clough, M.P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In McComas, W.F. (ed.), **The nature of science in science education: rationales**

- and strategies** (pp. 3 – 39). The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.
- Ministry of Education. (2002). **The Basic Education Curriculum B.E. 2544 (in Thai)**. Bangkok: Kurusapa Lad Praw Press.
- Ministry of Education. (2008). **Science Content Standards (in Thai)**. Retrieved March 12, 2012 from <http://www.curriculum51.net/upload/cur-51.pdf>
- Nilsson, P., & Loughran, J. (2011). Exploring the development of pre-service science elementary teachers' pedagogical content knowledge. **Journal of Science Teacher Education**, DOI 10.1007/s10972-011-9239-y
- Sangthong, W., Faikhamta, C., & Yutakom, N. (2010). Seventh graders' views on Science-Technology-Society related to chemical issues (In Thai). **KKU Research Journal**. 15(2): 142 – 154.
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**. 15(2): 4 – 14.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2003). **Science Curriculum Standards (In Thai)**. Bangkok: The Institute of Promotion of Science and Technology Teaching.