การเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ

Teaching and Learning Chemistry by Applying Three Levels of Thinking

บุษรี เพ่งเล็งดี

Butsari Phenglengdi

สาขาการสอนวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรการสอน และการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอที่มาและแนวทางการจัดการเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ จากผลการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด3ระดับ ซึ่งประกอบด้วย ระดับการสังเกต ระดับอนุภาค และระดับสัญลักษณ์ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมายและเข้าใจเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง อีกทั้งยังช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ถึงแม้ว่าประเทศไทยได้มีการนำแนวคิด 3 ระดับ มาใช้ในการเรียนการสอนเคมีบ้างแล้ว แต่งานวิจัยในเรื่องดังกล่าวยังมีอยู่จำกัด อีกทั้งแหล่งเรียนรู้ ที่เกี่ยวกับแนวคิด 3 ระดับ ที่เป็นหนังสือ บทความวิจัยและบทความวิชาการยังไม่แพร่หลายมากนัก ผู้เขียนเห็นว่าการนำแนวคิดดังกล่าวมาใช้ในการเรียนการสอนมีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอนเคมีจึงได้เขียนบทความวิชาการฉบับนี้ขึ้นโดยผลที่คาดว่าจะได้รับจากบทความนี้คือ น่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สอนวิชาเคมีผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ผู้จัดทำหลักสูตร นักวิชาการ นักวิจัยและผู้ที่สนใจได้นำไปศึกษาและประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนต่อไป โดยหัวข้อที่ใช้ในการเขียนบทความมี 4 หัวข้อเรียงลำดับดังนี้ 1) ความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี 2) ผลการเรียนรู้ของสาระเคมี 3) แนวคิด 3 ระดับ และ 4) แนวทางการจัดการเรียนการสอนรวมถึงตัวอย่างกิจกรรมการเรียนการสอน ข้อดี ข้อจำกัด และการเตรียมผู้เรียนและผู้สอนสำหรับการเรียนการสอนโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ

คำสำคัญ: การเรียนการสอนเคมี แนวคิด 3 ระดับ ระดับการสังเกต ระดับอนุภาค ระดับสัญลักษณ์

Abstract

The aim of this article is to present background and guidelines for teaching and learning chemistry by using three levels of thinking. Research has generally confirmed that teaching and learning chemistry by using three levels of thinking— the observable, micro and symbolic levels—can help learners achieve a meaningful or deep level of understanding. Although Thailand has been making limited use of the three levels of thinking for teaching and learning chemistry, available research studies, books, and academic articles are still limited in this country. Chemistry teachers, science teachers, curriculum writers, educators and researchers alike should benefit from a fundamental understanding about teaching and learning chemistry applying the three levels of thinking. As a means of introduction to using the three levels of thinking, this article canvasses four main topics, including, 1) Difficulties and misconceptions in chemistry, 2) Learning outcomes of chemistry, 3) Three levels of thinking, and 4) Guidelines for teaching and learning chemistry with the three levels of thinking, including a practical classroom example, a discussion of advantages and disadvantages of this method, and suggested advance preparation of the teacher and students before using this method.

Keywords: teaching and learning chemistry, three levels of thinking, observable level, micro level, symbolic level.

บทนำ

เคมีเป็นสาขาหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ ที่ได้รับการยอมรับจากผู้เรียนและผู้สอนว่ามีความยากต่อความเข้าใจอันเนื่องมาจากธรรมชาติของตัววิชาเอง (Kolomuç & Tekin, 2011; Taber, 2011; Özmen, 2007) เช่น ความเป็นนามธรรม การคิดคำนวณ การทำปฏิบัติการทดลอง การเขียนสูตรและสมการเคมีเป็นต้น มีผู้เรียนจำนวนมากที่ไม่เลือกเรียนสายวิทยาศาสตร์อันเนื่องมาจากความยากและความซับซ้อนในเนื้อหาของวิชาเคมีจากเหตุผลดังกล่าว ผู้สอนวิชาเคมีรวมทั้งนักวิจัยและนักการศึกษาที่เกี่ยวข้องได้พยายามพัฒนาและปรับปรุงรูปแบบการเรียนการสอน

เคมีให้เป็นรูปแบบการสอนแนวใหม่เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมายมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาอย่างลึกซึ้งและสามารถข้ามผ่านความยากในวิชาดังกล่าวไปได้ ซึ่งรูปแบบการเรียนการสอนนั้น ควรที่จะมีความสอดคล้องกับธรรมชาติของวิชาเคมีด้วย กล่าวคือ มีการทำปฏิบัติการทดลองรวมถึงการเรียนรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาค และการเขียนสูตรและสมการเคมีร่วมด้วย หรือเรียกรูปแบบดังกล่าวว่า แนวคิด 3 ระดับ (three levels of thinking) (Johnstone, 1991) ถึงแม้ว่าที่ผ่านมาได้มีการพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนให้เป็นการสอนแนวใหม่ ที่มีผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง มีการลงมือทำปฏิบัติการทดลองในชั้นเรียนแล้วก็ตาม แต่ผู้สอนส่วนมากก็ยังเน้นการสอนในเนื้อหาเพื่อการสอบเข้าศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งบางครั้งอาจจะละเลยการทำปฏิบัติการทดลอง และการใช้สื่อเพื่ออธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาคร่วมด้วย วิธีการที่ผู้สอนใช้ส่วนใหญ่จะเน้นการท่องจำการใช้สูตรคิดลัดในการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้เรียนอาจจะไม่ทราบถึงที่มา และอาจจะส่งผลให้ผู้เรียนไม่เข้าใจอย่างลึกซึ้งในเนื้อหาวิชานั้น งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3 ระดับที่มีการเชื่อมโยงระหว่างการทำปฏิบัติการทดลอง ร่วมกับการใช้สื่อเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาค รวมทั้งการเขียนสูตรและสมการเคมี ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Aksela, 2005) และเข้าใจในเนื้อหาได้อย่างลึกซึ้ง (Tasker & Dalton, 2008) อีกทั้งยังช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้อีกด้วย (Bunce & Gabel, 2002) ถึงแม้ว่าที่ผ่านมาการเรียนการสอนเคมีในประเทศไทยได้มีการกล่าวถึงการใช้แนวคิด 3 ระดับมาบ้างแล้วเช่น ในบทความวิชาการเรื่องแนวคิดทางเลือกของนักเรียนในวิชาเคมี (Faikhamta, 2008) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมี 3 ระดับของผู้เรียนเคมีโดยใช้ชุดกิจกรรมระดับความคิดทางเคมีของ Jansoon & Chotikarn (2012) และงานวิจัยของ Potisen & Faikhamta (2017) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของผู้เรียนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่บทความวิชาการและงานวิจัยดังกล่าวจะเน้นไปที่เรื่องแบบจำลองทางความคิดของผู้เรียน ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดอยู่บ้างในเรื่องการอธิบายถึงข้อดี ข้อจำกัด รวมทั้งการเตรียมผู้เรียนและผู้สอนสำหรับการเรียนการสอนโดยใช้แนวคิด 3 ระดับโดยบทความฉบับนี้ได้มุ่งเน้น การอธิบายถึงแนวทางและขั้นตอนการเรียนการสอนโดยการเชื่อมโยงแนวคิด 3 ระดับเข้าด้วยกัน และยกตัวอย่างกิจกรรมการเรียนการสอนที่ใช้แนวคิด 3 ระดับ รวมถึงอธิบายขั้นตอนอย่างละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนการสอนในระดับอนุภาค ที่จำเป็นจะต้องใช้สื่อในการอธิบายเพื่อเชื่อมโยงแนวคิดดังกล่าวผู้เขียนหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สอนวิชาเคมี ผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ นักวิจัย นักการศึกษา นักจัดทำหลักสูตรและผู้ที่สนใจ ได้นำรูปแบบการเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3 ระดับไปศึกษาและประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนและทำวิจัยต่อไป

1) ความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี

เคมีเป็นวิชาที่ได้รับการยอมรับว่ายากต่อความเข้าใจ เนื่องมาจากธรรมชาติของตัววิชาเคมีเอง ซึ่งสาเหตุของความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีนั้นพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

นามธรรม

เนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่เป็นนามธรรม ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น เรื่องอะตอม พันธะเคมี การให้และรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์ ฯลฯซึ่งสาเหตุดังกล่าวอาจจะส่งผลต่อความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีได้ ทั้งนี้มีงานวิจัยที่สนับสนุนสาเหตุดังกล่าว เช่น

Kelly, Barrera & Mohamed (2010) ได้ตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนจำนวน 21 คน ในระดับอนุภาคกับระดับสัญลักษณ์ โดยกำหนดสมการเคมีมาให้ 3 ข้อ แล้วให้ผู้เรียนเขียนอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคโดยการวาดภาพประกอบ และสัมภาษณ์เพิ่มเติม ผลปรากฏว่ามีผู้เรียนจำนวนมากที่ไม่เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาค นอกจากนี้

Boz (2006) ได้สำรวจแนวคิดของผู้เรียนจำนวน 300 คน ที่มีช่วงอายุแตกต่างกัน โดยใช้คำถามปลายเปิดในการทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับเรื่องจัดเรียงและการเคลื่อนที่ของอนุภาคของสารในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งผลแสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนสถานะของสารในระดับอนุภาคได้ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่าผู้เรียนไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนสถานของสารในระดับอนุภาค จึงส่งผลต่อความเข้าใจและยากต่อการอธิบาย

การคำนวณ

เนื้อหาเคมี มีความเกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหาการคิดคำนวณเชิงตัวเลข การเปลี่ยนหน่วย ฯลฯ ซึ่งมีส่วนทำให้วิชาเคมีเป็นวิชาที่ยากและมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ เพราะมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับทักษะ

ด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์และตัวเลขที่มีความยากโดยธรรมชาติของวิชาอยู่แล้ว ทั้งนี้มีงานวิจัยที่สนับสนุนดังนี้

Chandrasegaran, Treagust, Waldrip & Chandrasegaran (2009) ได้เก็บข้อมูลจากผู้เรียนชั้น ม.5 (year11) จำนวน 5 คน เกี่ยวกับวิธีการแก้โจทย์ปัญหาในเรื่องสารจำกัดปริมาณ ซึ่งตัวอย่างของข้อคำถามที่แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนจำนวนทั้งหมด คือ 5 คนไม่มีผู้ใดตอบถูกหรือไม่มีผู้ใดสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้คือ “โซเดียมซัลไฟด์มีโซเดียมเป็นองค์ประกอบอยู่ 60% จงคำนวณหามวลที่มากที่สุดของโซเดียมซัลไฟด์ จากการใช้โซเดียมจำนวน 5.674 กรัม และซัลเฟอร์ 3.712 กรัม”ซึ่งสาเหตุที่ผู้เรียนตอบไม่ถูกอาจจะเป็นเพราะว่าข้อคำถามนี้อาจจะมีความแปลกใหม่จากคำถามที่เจอในบทเรียน นอกจากนี้ยังมีการกำหนดองค์ประกอบของสารในรูปของร้อยละมาให้ อีกทั้งผู้เรียนจะต้องเขียนสมการและดุลสมการก่อนการคำนวณ เพราะว่าโจทย์ไม่ได้กำหนดมาให้ ซึ่งผู้เรียนอาจจะมีความสับสนในการคำนวณเพราะอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมกับซัลเฟอร์ไม่ใช่ 1:1 นอกจากนี้ในวิชาเคมียังมีอีกหลายหัวข้อที่ต้องใช้ทักษะในการคำนวณร่วมด้วย เช่น การคำนวณหาปริมาณเนื้อสารในเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ การคำนวณหาค่า pH จากเรื่อง กรด-เบส การคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการคำนวณในเรื่องสมดุลเคมี เป็นต้น

ผู้เขียนเชื่อว่า ผู้เรียนที่มีความสามารถในการเรียนวิชาเคมี ควรที่จะต้องมีความสามารถทางด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ร่วมด้วย เพราะเนื้อหาทางวิชาเคมีและคณิตศาสตร์มีความเกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกันอยู่เป็นจำนวนไม่น้อย ส่วนคนที่มีความสามารถด้านคณิตศาสตร์อาจจะมีความสามารถด้านเคมีด้วยหรือไม่มีก็ได้

ปฏิบัติการทดลอง

ปฏิบัติการทดลองทางเคมีถือว่ามีความสำคัญในการเรียนการสอนเคมีเป็นอย่างมาก เพราะเป็นการฝึกให้ผู้เรียนได้ทั้งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น ทักษะการสังเกต ทักษะการวัด ทักษะการคาดคะเนเป็นต้น อีกทั้งเป็นการฝึกให้ผู้เรียนได้ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ร่วมด้วย เช่น ทักษะการเรียนรู้ร่วมกัน (collaboration) ทักษะการแก้ปัญหา (solving problem) ทักษะการคิดสร้างสรรค์ (creative thinking) เป็นต้นซึ่งการที่ผู้เรียนจะเกิดทักษะดังกล่าวได้นั้น ผู้สอนไม่เพียงแต่จะสอนในด้านเนื้อหาอย่างเดียวเท่านั้น แต่จะต้องจัดการเรียนการสอนที่มีการทำปฏิบัติการทดลองร่วมด้วยแต่อย่างไรก็ตามบางครั้งผู้สอนอาจจะละทิ้งการทำปฏิบัติการทดลองไป ซึ่งอาจจะส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนและขาดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้นอกจากนี้ Freedman (1997) ได้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ กับผู้เรียน2กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่ได้รับการสอนแบบลงมือปฏิบัติเองและกลุ่มควบคุม ที่ไม่ได้ทำปฏิบัติการทดลอง ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์และเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นและแตกต่างกันกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของ Gunstone & Champagne (1990) ได้ให้ข้อแนะนำว่า การเรียนรู้อย่างมีความหมายจากการปฏิบัติการทดลองจะเกิดขึ้นได้ ถ้าผู้เรียนได้รับเวลาทำปฏิบัติการที่เพียงพอและมีโอกาสที่จะแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและสะท้อนคิดหลังจากทำปฏิบัติการแล้วกับคนอื่นส่วน Chang & Lederman (1994) พบว่าบ่อยครั้งที่ผู้เรียนไม่เข้าใจว่า พวกเขาทำปฏิบัติการทดลองเพื่อจุดประสงค์อะไร นอกจากนี้การศึกษาอื่นแสดงให้เห็นว่าบ่อยครั้งที่ผู้เรียนจะต้องทำปฏิบัติการทดลองตามหนังสือ หรือตามรูปแบบที่ผู้สอนกำหนดไว้ ซึ่งรู้คำตอบล่วงหน้าแล้วจากหนังสือ และผู้เรียนพยายามทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลตามการทดลองนั้น วิธีการดังกล่าวอาจจะทำให้ผู้เรียนบรรลุตามวัตถุประสงค์ของบทเรียน แต่ผู้เรียนจะถูกจำกัดในเรื่องการสร้างองค์ความรู้ด้วยตัวเอง ซึ่งได้จากกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหรือจากการค้นพบด้วยตัวเอง

สูตรเคมีและสมการเคมี

ธรรมชาติเนื้อหาวิชาเคมี มีความเกี่ยวข้องกับเรื่องอะตอมของธาตุ การเกิดปฏิกิริยาของธาตุ และสารประกอบ เป็นต้น ดังนั้นการเรียนการสอนในวิชาเคมีจึงปฏิเสธไม่ได้ที่จะต้องมีความเกี่ยวข้องกับการเขียนสูตร การเรียกชื่อสาร การเขียนและการดุลสมการ ซึ่งการเขียนสูตรการเขียนสมการเคมี ถือว่ามีความยากและซับซ้อน เพราะเป็นสัญลักษณ์ที่เขียนขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายจากสิ่งที่สังเกตเห็นได้และสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเขียนสมการ การเกิดปฏิกิริยาจากการเผาโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สามารถเขียนได้ดังนี้ $KMnO_4$ (s) $\longrightarrow$ K_2MnO_4 (s) + Mno_2 (s) + O_2 (g) เป็นต้น มีงานวิจัยหลายชิ้น ที่สนับสนุนถึงสาเหตุของความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เช่น

Dickson, Thompson & O’Toole (2016) ได้ทดสอบความเข้าใจของนักศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งจำนวน 305 คน ในเรื่องการเขียนและดุลสมการเคมี

จากปฏิกิริยาที่กำหนดให้ดังนี้ “เมื่อนำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตผสมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเกิดตะกอนของซิลเวอร์คลอไรด์” ซึ่งผลปรากฏว่ามีนักศึกษาเพียง 68% ของนักศึกษาทั้งหมดที่เขียนและดุลสมการเคมีถูกรวมทั้งเขียนสถานะของสารแต่ละตัวกำกับไว้ และมีเพียง 35%ของนักศึกษาทั้งหมดที่เขียนและดุลสมการเคมีถูก แต่ไม่เขียนสถานะของสารกำกับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนยังไม่เข้าใจถึงการเขียนสมการที่ถูกต้องอย่างถ่องแท้เพราะนอกจากดุลสมการถูกแล้ว ยังต้องเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารด้วยซึ่งวัดความเข้าใจได้จากการเขียนสถานะกำกับในสมการเคมี

นอกจากนี้ Naah & Sanger (2012) ได้ทำวิจัยและพบว่า มีผู้เรียนจำนวนมากมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการดุลสมการของสารประกอบไอออนิกที่ละลายน้ำได้ โดยตัวอย่างของความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนมีดังนี้

1) สารประกอบไอออนิกเกิดปฏิกิริยากับน้ำ เช่น

$2LiCl(s) + H_2O(l)$ ---- > $LiO_2(aq)+2HCl(aq)$

2) ไม่เขียนประจุของสารในสมการไอออนิก เช่น

$BaBr_2(s)$ ---- > $Ba(aq) + Br_2(aq)$

3) ไม่ดุลประจุในสมการไอออนิกและมีการเขียนเลขห้อย แทนการเขียนเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารนั้นเช่น

$K_2SO_4(s)$ ---- > $K_2^{+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

สาเหตุอื่นๆ

นอกจากวิชาเคมีจะมีความยากและมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจากสาเหตุหลักที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีสาเหตุอื่นอีกที่ทำให้วิชาเคมียังคงความยากต่อการเข้าใจ เช่น การเรียกชื่อของสารเคมี ที่ไม่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันเช่น โซเดียมคลอไรด์ ซึ่งในชีวิตประจำวันมีชื่อเรียกว่าเกลือแกง หรือชื่อของสูตรเคมีที่ไม่สอดคล้องกับสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น โซเดียม (Sodium) แต่สัญลักษณ์ของธาตุเขียนเป็น Na เป็นต้น ซึ่งบางครั้งอาจจะทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสนและเข้าใจคลาดเคลื่อน ได้นอกจากนี้ Johnstone & Selepeng (2001) เขียนไว้ว่าจากการศึกษาที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่าปัญหาการเรียนวิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจากภาษาที่ใช้ในวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผู้เรียนที่ใช้ภาษาอังกฤษเป็นภาษาที่สอง โดยผู้เรียนมีการสูญเสียพื้นที่สมองถึง 20เปอร์เซ็นต์เพื่อใช้ในการให้เหตุผลและความเข้าใจ ซึ่งในประเทศที่ใช้ภาษาอังกฤษเป็นภาษาที่สองเช่นประเทศไทย ถ้าหากว่าสื่อที่ใช้สอนเป็นภาษาอังกฤษ ผู้สอนควรที่จะใช้ตัวหนังสือภาษาไทยประกอบควบคู่การใช้เสียง ซึ่งน่าจะได้ผลดีกว่าการใช้เสียงเป็นภาษาอังกฤษเพียงอย่างเดียว

จะเห็นได้ว่าความยากของวิชาเคมี มีสาเหตุมาจากธรรมชาติของเนื้อหาวิชา เช่น ความเป็นนามธรรม การคำนวณ สูตร สมการเคมี และการทดลอง เราในฐานะผู้สอน จะทำอย่างไรให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้เคมีได้อย่างมีความหมายโดยการเชื่อมโยงเนื้อหาต่างๆเข้าด้วยกัน พร้อมทั้งมีความเข้าใจในเนื้อหาอย่างลึกซึ้งในระดับนามธรรมได้ ความยากของวิชาเคมีและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น มีความเชื่อมโยงกับสาระเคมีและแนวคิด 3ระดับที่จะได้กล่าวเป็นลำดับต่อไปดังนี้

2) ผลการเรียนรู้ของสาระเคมี

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้แบ่งกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ออกเป็น 4 สาระได้แก่ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ และเทคโนโลยี โดยมีวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม อีก 4 สาระ ได้แก่ ชีววิทยา เคมี ฟิสิกส์ โลก ดาราศาสตร์และอวกาศโดยสาระเคมีได้แบ่งผลการเรียนรู้ออกได้ 3 ข้อหลักดังนี้

1. เข้าใจโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ สมบัติธาตุ พันธะเคมี และสมบัติของสาร แก๊สและสมบัติของแก๊ส ประเภทและสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ และพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (สอดคล้องกับความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องความเป็นนามธรรม)

2. เข้าใจการเขียนและดุลสมการเคมี ปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (สอดคล้องกับความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องสูตรและสมการเคมี)

3. เข้าใจหลักการทำปฏิกิริยาทางเคมี การวัดปริมาณสาร หน่วยวัดและการเปลี่ยนหน่วย การคำนวณปริมาณสาร ความเข้มข้นของสารละลาย รวมทั้งการบูรณาการความรู้และทักษะในการอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันและการแก้ปัญหาทางเคมี (สอดคล้องกับความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการทำปฏิบัติการทดลองและการคำนวณ)

จะเห็นได้ว่าผลการเรียนรู้ทั้ง 3 ข้อดังกล่าว มีความสอดคล้องกับความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงแม้ว่าวิชาเคมีได้มีการปรับปรุงและพัฒนา เพื่อให้เนื้อหามีความสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ รวมทั้งเพื่อพัฒนาให้หลักสูตรมีความทัดเทียมกับนานาชาติ โดยมีการเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา มีการลดความซ้ำซ้อนของเนื้อหาระหว่างสาระวิชา ลดทอนเนื้อหาที่ยากเพื่อให้เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย รวมทั้งเชื่อมโยงความรู้สู่การนำใช้ในชีวิตจริง ถึงกระนั้นก็ตาม เนื้อหาในสาระเคมีก็ยังคงความเฉพาะที่ยากต่อการเข้าใจ อีกทั้งรูปแบบการสอนโดยส่วนมากผู้สอนอาจจะละทิ้งการทำปฏิบัติการทดลองไป ซึ่งอาจจะเนื่องมาจาก ผู้สอนเน้นการสอนเนื้อหาในการทำข้อสอบเพื่อให้ผู้เรียนสามารถสอบเข้าศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้นได้ และส่วนมากแล้วผู้สอนไม่ค่อยได้นำสื่อมาใช้อธิบายในระดับอนุภาค อาจจะเนื่องมาจากความไม่คุ้นเคยหรือมีเวลาไม่เพียงพอ ซึ่งเหตุผลดังกล่าวอาจจะส่งผลให้ผู้เรียนได้รับความรู้ที่จำกัดและไม่เข้าใจอย่างลึกซึ้ง อีกทั้งยังคงความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ในเนื้อหาเคมี นอกจากนี้อาจจะส่งผลให้ผู้เรียนไม่บรรลุตามผลการเรียนรู้ทั้ง 3 ข้อของสาระเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ผู้สอนเคมี นักวิจัยและนักการศึกษาที่เกี่ยวข้อง ได้พยายามที่จะคิดค้น พัฒนาและปรับปรุงรูปแบบวิธีการสอนแนวใหม่ เพื่อที่จะทำให้ผู้เรียนบรรลุตามผลการเรียนรู้ อีกทั้งสามารถก้าวข้ามผ่านความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี ซึ่งรูปแบบการเรียนรู้ที่ใช้ในการเรียนการสอนเคมีนั้นมีความหลากหลาย แต่ที่จะได้กล่าวต่อไปนี้ เป็นรูปแบบการเรียนรู้โดยใช้แนวคิด 3 ระดับ ที่มีความเชื่อมโยงกับความยาก ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนและผลการเรียนรู้ของสาระเคมี

3) แนวคิด 3 ระดับ

แนวคิด 3 ระดับ(Three levels of thinkingหรือ Triplet representations) เป็นแนวคิดที่ได้รับการยอมรับและส่งผลต่อประสิทธิภาพการเรียนการสอนเคมีมาเป็นระยะเวลานานกว่า 20 ปี (Gabel, 1999) ซึ่ง Johnstone เป็นบุคคลแรกที่เริ่มใช้แนวคิดนี้ในปี 1982เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเคมี

อย่างไรก็ตามชื่อที่ใช้เรียกใน 3ระดับนั้น ก็ยังไม่มีข้อตกลงในการเรียกที่แน่นอนทั้งนี้การเรียกชื่อในแต่ละระดับ ขึ้นอยู่กับผู้แต่งแต่ละคนซึ่งมีความแตกต่างกันออกไป เช่น Johnstone (1991) ใช้ชื่อเรียกในแต่ละระดับว่า macro level, sub-micro level และ symbolic level ส่วน Gabel (1994) เรียกในแต่ละระดับว่า macroscopic level, microscopic level และ symbolic level ส่วน Johnstone (2000) เรียกในแต่ละระดับว่า macro, submicro และ representational ส่วน Treagust, Chittleborough และ Mamiala (2003) เรียกในแต่ละระดับว่า macroscopic, submicroscopic และ symbolic ส่วนของ Tasker และ Dalton (2008) เรียกในแต่ละระดับว่า observable level, molecular level & symbolic level ในส่วนของบทความวิชาการฉบับนี้ผู้เขียนใช้ชื่อเรียกในระดับobservable levelและ symbolic level ตามชื่อที่ใช้เรียกของ Tasker & Dalton (2008) เพราะมีความใกล้เคียงกับภาษาที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งทำให้ง่ายต่อความเข้าใจ ส่วนที่เหลือ ผู้เขียนใช้ชื่อเรียกเป็น micro level ถึงแม้ว่า แนวคิด 3 ระดับจะมีชื่อเรียกในแต่ละระดับที่แตกต่างกันออกไป แต่ความหมายก็ไม่แตกต่างกันโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ระดับการสังเกต (Observable level) หรือบางครั้งเรียกว่า ระดับมหภาค (macro level หรือ macroscopic level) เป็นระดับที่สามารถ ดมกลิ่น ได้ยิน สัมผัส หรือมองเห็นสารหรือปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของสารได้ (Johnstone, 2000) โดยส่วนใหญ่จะใช้ประสาทสัมผัสทางตาในการสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้น อาจจะสังเกตได้จากสิ่งที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน หรือเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นรอบๆตัวเรา เช่น การเปลี่ยนสีของใบไม้จากสีเขียวเป็นสีเหลือง การละลายน้ำของเกลือ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้น อาจจะอยู่ในหรือนอกห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ก็ได้ เช่น การทดลองเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยการจุ่มโลหะสังกะสีลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตซึ่งสามารถสังเกตเห็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงได้โดยใช้ตาเปล่า คือ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นไม่มีสี อย่างไรก็ตามสิ่งที่ตาเปล่าสามารถสังเกตเห็นได้นั้น ก็ยังมีข้อจำกัดคือ สามารถสังเกตเห็นได้เฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายนอกเท่านั้น แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคตาเปล่าก็ไม่สามารถมองเห็นหรือสังเกตได้ เช่น การเสียอิเลคตรอนของโลหะสังกะสี หรือการรับอิเลคตรอนของคอปเปอร์ไอออนในสารละลาย

ซึ่งในระดับการสังเกตนี้มีความสอดคล้องกับสาเหตุของความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของวิชาเคมีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในด้านปฏิบัติการทางการทดลอง นอกจากนี้ในระดับการสังเกต ยังมีความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ในสาระเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นใน (ข้อที่

3 คือเข้าใจหลักการทำปฏิกิริยาทางเคมี การวัดปริมาณสาร หน่วยวัดและการเปลี่ยนหน่วย การคำนวณปริมาณสาร ความเข้มข้นของสารละลาย รวมทั้งการบูรณาการความรู้และทักษะในการอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันและการแก้ปัญหาทางเคมี)

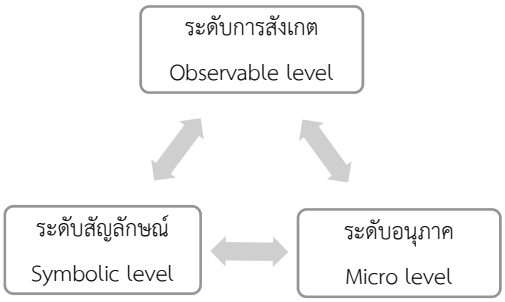
ระดับอนุภาค (Micro level) หรือบางครั้งเรียกว่าระดับจุลภาค (sub-micro level, microscopic level หรือ submicroscopic) เป็นระดับที่สายตาไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของสารได้ เช่น ไอออนอะตอม หรือโมเลกุล เป็นต้น (Johnstone, 2000) อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ นักการศึกษา ได้พยายามสร้างและพัฒนาสื่อเพื่อใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคจากนามธรรม(abstract)ให้มีความเป็นรูปธรรม (concrete) (Sanger & Greenbowe, 1997; Russell & Kozma, 2007) โดยสื่อที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาคมีหลายประเภทด้วยกัน เช่น รูปภาพ ไดอะแกรม คอมพิวเตอร์แอนิเมชันฯลฯ สื่อแต่ละประเภทที่นำมาใช้ ก็มีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไปในการนำสื่อไปใช้เพื่ออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคนั้น ผู้สอนควรที่จะต้องเลือกใช้สื่อด้วยความระมัดระวัง และต้องมีความเข้าใจธรรมชาติของสื่อและการใช้สื่ออย่างถ่องแท้ก่อนนำไปใช้สอน อีกทั้งผู้สอนยังต้องอธิบายการทำงานของสื่อให้ผู้เรียนเข้าใจก่อนใช้สอน เพราะบางครั้งสื่อที่นำไปใช้อธิบายในระดับอนุภาค อาจจะส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2003) โดยผู้เขียนสนใจที่จะเขียนหนังสือหรือบทความวิชาการในเรื่อง สื่อที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนเคมีในฉบับอื่นต่อไป ในการวัดและทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนในระดับอนุภาคนั้นสามารถใช้วิธีการวาดภาพ (Ainsworth, Prain & Tytler, 2011) พร้อมทั้งการเขียนอธิบาย (Tasker & Dalton, 2008) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค โดยวิธีนี้สามารถวัดความเข้าใจแบบจำลองทางความคิด (Mental model) ของผู้เรียนได้ทั้งก่อนและหลังการใช้สื่ออธิบายในระดับอนุภาค (Zhang & Linn, 2011)

ซึ่งในระดับอนุภาคนี้มีความสอดคล้องกับสาเหตุของความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของวิชาเคมีตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในด้านความเป็นนามธรรมของเนื้อหาเคมี นอกจากนี้ในระดับอนุภาค ยังมีความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ในสาระเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นใน (ข้อที่ 1 คือเข้าใจโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ สมบัติธาตุ พันธะเคมี และสมบัติของสาร แก๊สและสมบัติของแก๊ส ประเภทและสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ และพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์)

ระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level)เป็นระดับที่มีการเขียนสูตร สัญลักษณ์ สมการเคมี การคิดคำนวณทางตัวเลขและกราฟต่างๆ (Johnstone, 2000) เช่น การเขียนสูตรเคมีของน้ำแทนน้ำที่เราสังเกตได้ด้วยตาเปล่า และแทนน้ำในระดับอนุภาคที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยสามารถเขียนสูตรเคมีของน้ำได้เป็น H_2O เมื่อผู้เรียนเห็นสูตรเคมีดังกล่าว ก็จะเข้าใจตรงกันว่าเป็นสัญลักษณ์ที่เขียนแทนน้ำที่เรามองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพคือ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี และเป็นสัญลักษณ์หรือสูตรเคมีที่เขียนแทนสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค คือ การสร้างพันธะระหว่างธาตุออกซิเจน 1 อะตอมและธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอมในน้ำ 1 โมเลกุล หรือการเขียนสัญลักษณ์เคมีแทนธาตุ เช่น C แทนธาตุคาร์บอน หรือการเขียนสมการเคมี แทนสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับการสังเกตและในระดับอนุภาค เช่น ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับกรดไฮโดรคลอริค ทำปฏิกิริยากันกลายเป็นเกลือกับน้ำ สามารถเขียนสมการเคมีแทนได้ดังต่อไปนี้

$$NaOH_{(aq)} + HCl_{(aq)} \text{-----> } NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

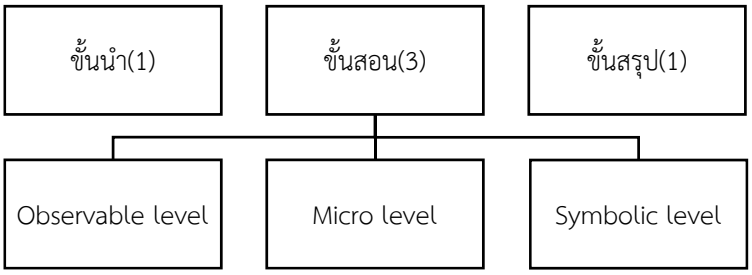
ซึ่งในระดับสัญลักษณ์นี้มีความสอดคล้องกับสาเหตุของความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของวิชาเคมี ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในด้าน การคำนวณ ตัวเลข สูตรเคมีและสมการเคมี นอกจากนี้ในระดับสัญลักษณ์ ยังมีความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ในสาระเคมีดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นใน (ข้อที่ 2 คือเข้าใจการเขียนและดุลสมการเคมี ปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรดเบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์) ทั้งนี้ผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย และเข้าใจอย่างลึกซึ้งได้นั้น ควรที่จะได้เรียนรู้เคมีจากการเชื่อมโยงทั้ง3ระดับเข้าด้วยกัน (ภาพประกอบที่ 1)



ภาพที่ 1 การเชื่อมโยงแนวคิดทั้ง 3 ระดับ (Johnstone, 1991)

4) แนวทางการจัดการเรียนการสอน

จะเห็นได้ว่า แนวคิด 3 ระดับมีความสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ของสาระเคมีทั้ง 3 ข้ออีกทั้งยังมีความสอดคล้องกับความยากและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จากเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าแนวคิด 3 ระดับช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย(Aksela, 2005) และเข้าใจในแนวคิดได้อย่างลึกซึ้ง (Tasker & Dalton, 2008) รวมทั้งสามารถช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอีกด้วย (Bunce & Gabel, 2002)จากประสบการณ์การสอนของผู้เขียนที่ได้ประยุกต์ใช้แนวคิด 3 ระดับ ผนวกเข้ากับข้อมูลเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถเขียนเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอน โดยแบ่งออกได้เป็น5 ขั้นตอน คือ ขั้นนำ1-ขั้นสอน3-ขั้นสรุป1 ผู้เขียนเรียกโมเดลดังกล่าวว่า (1-3-1) (ภาพประกอบที่ 2)



ภาพที่ 2 แนวทางและขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิด3ระดับ

4.1) ตัวอย่างกิจกรรมการเรียนการสอน

เรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์แบ่งกิจกรรมออกได้เป็น 5 ขั้นตอนคือ ขั้นนำ1-ขั้นสอน3-ขั้นสรุป1 มีรายละเอียดย่อยดังต่อไปนี้

1. ขั้นนำ

ผู้สอนใช้คำถามเพื่อให้ผู้เรียนยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีที่พบได้ในชีวิตประจำวัน (โดยแนวคำตอบของผู้เรียนอาจจะตอบว่า การเกิดสนิมของตะปูเหล็ก แก๊สในขวดน้ำอัดลม หรือการหมักเหล้า เป็นต้น) นอกจากนี้ผู้สอนควรใช้คำถามเพื่อทบทวนและเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับความรู้ใหม่ เช่น ถามเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีว่าคืออะไร ปฏิกิริยารีดอกซ์มีความเหมือนหรือแตกต่างกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไปอย่างไร รวมทั้งถามถึงคุณสมบัติของธาตุโลหะ เช่น การจัดเรียงอิเล็กตรอน การเสียอิเล็กตรอน และการเขียนสมการเคมี เป็นต้น เพราะการเรียนรู้ที่มีความหมายจะต้องเกิดจากการเชื่อมโยงความรู้เดิมเข้ากับความรู้ใหม่ที่จะเรียน โดยผู้สอนบอกจุดประสงค์การเรียน มีดังนี้คือ 1. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดซ์ (ระดับการสังเกต)2. อธิบายการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะในปฏิกิริยา (ระดับอนุภาค)3. เขียนและดุลสมการรีดอกซ์ (ระดับสัญลักษณ์)

2. ขั้นสอน แบ่งออกเป็น 3 ขั้นย่อย คือ

2.1 ขั้นสอนในระดับการสังเกต

2.1.1 ผู้เรียนจะได้ทำปฏิบัติการทดลองในเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยแบ่งกลุ่มออกเป็นกลุ่มละ 4 คน คนแรกมีหน้าที่เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ คนที่สองมีหน้าที่จดบันทึกผล คนที่สามมีหน้าในการนำเสนอ คนที่สี่มีหน้าที่ในการเก็บอุปกรณ์ ทั้งนี้ทุกคนมีหน้าที่ช่วยกันทำการทดลองและสังเกตผลการทดลอง ในขั้นตอนนี้จะส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ร่วมกันและเรียนรู้การทำงานเป็นกลุ่ม (Teamwork and Collaboration) ซึ่งในคาบต่อไปผู้เรียนจะได้สลับและหมุนเวียนหน้าที่กันต่อไป

2.1.2 เมื่อแบ่งกลุ่มแล้วขั้นตอนต่อไปคือ ผู้เรียนแต่ละกลุ่มจะต้องช่วยกันออกแบบกิจกรรมการทดลอง โดยไม่จำเป็นต้องทำตามขั้นตอนในหนังสือ ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนพยายามหาคำตอบด้วยตัวเอง โดยที่ไม่มีการบอกคำตอบล่วงหน้า อีกทั้งเป็นการส่งเสริมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry) โดยผู้สอนมีหน้าที่เป็นผู้ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวก (Facilitator) อย่างไรก็ตามผู้เรียนจะต้องทราบจุดประสงค์การทดลองให้ชัดเจนก่อน เช่น เพื่อทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดซ์

2.1.3 ผู้เรียนแต่ละกลุ่มลงมือทำปฏิบัติการทดลอง สังเกตและบันทึกผล ในขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) เช่น ทักษะการสังเกต ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล ทักษะการพยากรณ์ ทักษะการทดลอง เป็นต้น โดยสิ่งที่ผู้เรียนสังเกตได้จากการทดลอง เช่น โลหะสังกะสีเกิดการกร่อน และสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีฟ้าที่จางลง

2.1.4 ขณะทำการทดลองผู้เรียนแต่ละกลุ่มมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยกัน เช่น โลหะเกิดปฏิกิริยาได้ช้า แก้ปัญหาได้โดยการขัดกับกระดาษทรายซึ่งผู้สอนจะไม่บอกผู้เรียนล่วงหน้า แต่ให้ผู้เรียนเรียนรู้และแก้ปัญหาด้วยตัวเอง ขั้นตอนดังกล่าวส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะในการแก้ปัญหา (problem solving)

2.2 ขั้นสอนในระดับอนุภาค

ขณะทำการทดลอง ผู้สอนคอยกระตุ้นผู้เรียนโดยการใช้คำถามเพื่อให้เกิดทักษะการคิด เช่น ทราบได้อย่างไรว่ามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น (แนวคำตอบของผู้เรียนก็จะตอบจากสิ่งที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเข้มเป็นสีฟ้าที่จางลง โลหะสังกะสีเกิดการกร่อน เป็นต้น) ผู้สอนอาจจะถามต่อไปว่าจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เช่น ทำไมสีฟ้าของสารละลายจึงจางลงเกิดจากอะไร มีการให้และรับอิเล็กตรอนอย่างไร โดยให้ผู้เรียนอธิบายการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาค โดยการวาดรูปประกอบการอธิบายซึ่งรูปที่ได้ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบแบบจำลองทางความคิด (mental model) ของผู้เรียนก่อนการเรียนรู้ (prior knowledge) โดยในขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะได้แลกเปลี่ยนรูปที่วาดเพื่อใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาคกับเพื่อนที่นั่งคู่กันและกับเพื่อนภายในกลุ่ม (think-pair-share) ขั้นตอนต่อไปผู้สอนใช้สื่อคอมพิวเตอร์แอนิเมชันอธิบายการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะในปฏิกิริยาซึ่งการใช้สื่อจะเป็นการส่งเสริมและเพิ่มความเข้าใจอย่างลึกซึ้งให้กับผู้เรียน โดยไม่เพียงแต่บอกได้ว่ามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นซึ่งทราบได้จากสีฟ้าของสารละลายจางลงและโลหะสังกะสีกร่อน แต่อธิบายถึงระดับอนุภาคว่ามีการให้และรับอิเล็กตรอนอย่างไรหลังจากใช้สื่ออธิบายแล้วให้ผู้เรียนวาดและอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคอีกครั้งโดยให้ผู้เรียนเปรียบเทียบแบบจำลองทางความคิดทั้งก่อนและหลังจากการดูจากสื่อ ซึ่งสามารถบอกได้ถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านแนวคิดทั้งก่อนและหลังดูสื่อได้ (conceptual change) ทั้งนี้การใช้สื่ออธิบายในระดับอนุภาคจะช่วยส่งเสริมความเข้าใจอย่างลึกซึ้งให้กับผู้เรียน เพราะผู้เรียนสามารถเรียนรู้จากสิ่งที่เป็นนามธรรม (abstract)ให้มีความเป็นรูปธรรมได้ (concrete) ซึ่งการใช้ภาพเพียง1ภาพในการอธิบายจะมีความหมายมากกว่าการอธิบายด้วยคำพูดเป็นพันคำ (a picture is worth a thousand words) (Dickson, Thomson & O'Toole, 2016) นอกจากนี้ผู้สอนอาจจะใช้คำถามเพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดในสถานการณ์ใหม่ เช่น ถ้าเปลี่ยนเป็นโลหะทองแดงจุ่มในสารละลายซิงค์ (II) ซัลเฟต จะเกิดปฏิกิริยาหรือไม่ เพราะเหตุใด

จะเห็นได้ว่า สื่อที่นำมาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาค เป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นในการเรียนการสอนในระดับอนุภาค เพราะเป็นสื่อกลางที่สามารถอธิบายและเชื่อมโยงแนวคิดระหว่างระดับการสังเกตกับระดับสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน

2.3 ขั้นสอนในระดับสัญลักษณ์

เมื่อผู้เรียนได้เรียนรู้การเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาคโดยใช้สื่ออธิบายแล้ว ขั้นตอนต่อไปผู้เรียนจะได้เรียนรู้โดยการเชื่อมโยง จากสิ่งที่ได้เห็นจากการสังเกตเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสารในระดับอนุภาค และการเขียนสมการเคมี ซึ่งการเชื่อมโยงแนวคิดทั้ง 3 ระดับเข้ากันจะเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมี

ความหมายและเข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยสมการที่เกิดขึ้นในระดับสัญลักษณ์สามารถเขียนได้เป็น

$Zn(s) + Cu^{2+}(aq)$ ----- > $Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

ซึ่งสมการดังกล่าวมีความเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้กับการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาค

3. ขั้นสรุป

ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้อื่น เช่น เวปไซต์ต่างๆ แล้วนำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน ผู้สอนและผู้เรียนช่วยกันสรุปตามจุดประสงค์การเรียนรู้โดยมีการเชื่อมโยงแนวคิดทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกันเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้อย่างมีความหมายและความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยผลการทดลองที่ได้คือโลหะสังกะสีเกิดปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตสังเกตได้จากสีฟ้าของสารละลายจางลง โลหะสังกะสีเกิดการกร่อน (ระดับการสังเกต) ซึ่งโลหะสังกะสีเสียอิเล็กตรอนให้กับคอปเปอร์ (II) ไอออน โดยผู้สอนใช้สื่อคอมพิวเตอร์แอนิเมชันอธิบายถึงการให้และรับอิเล็กตรอนในระดับอนุภาคซึ่งเป็นระดับที่ตาไม่สามารถสังเกตเห็นได้ (ระดับอนุภาค) นอกจากนี้ผู้เรียนและผู้สอนยังได้สรุปร่วมกันเกี่ยวกับความหมายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ ตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดซ์ พร้อมทั้งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ประกอบ (ระดับสัญลักษณ์) ซึ่งการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวได้เชื่อมโยงการเรียนรู้แนวคิดทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกัน

****หมายเหตุ** กิจกรรมการจัดการเรียนการสอนดังกล่าว ได้จากประสบการณ์ของผู้เขียน ที่ใช้สอนในกระบวนวิชามโนมติวิทยาศาสตร์ด้านเคมี (064301) ปีการศึกษา 1/2559 และ 1/2560 กับนักศึกษาสาขาเคมี ชั้นปีที่ 3 คณะศึกษาศาสตร์

จะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ ช่วยส่งเสริมผู้เรียนหลายด้านด้วยกัน เช่น ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ซึ่งผู้เรียนสามารถเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติด้วยตัวเอง โดยที่ผู้สอนเป็นผู้อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำกับผู้เรียน อีกทั้งยังส่งเสริมความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในการเรียนรู้ในระดับอนุภาคโดยมีการนำสื่อแอนิเมชันมาใช้ในการอธิบาย และส่งเสริมการเรียนรู้อย่างมีความหมายที่มีการเชื่อมโยงทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตามจากการสังเกต การตรวจใบงานและจากการสอบถามผู้เรียน ผู้เขียนได้สังเกตเห็นถึงข้อจำกัดจากการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวอยู่บ้างเช่น 1) ผู้เรียนคิดว่าสีที่แสดงในสื่อแอนิเมชันเป็นสีของธาตุนั้นจริง ๆ 2) สื่อที่ใช้เป็นภาษาอังกฤษซึ่งต้องมีการแปลให้ผู้เรียนได้เข้าใจ 3) สื่อมีการดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งผู้เขียนจำเป็นต้องหยุดอธิบายเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่าย อย่างไรก็ตามผู้เขียนสนใจที่จะทำวิจัยในเรื่องดังกล่าวต่อไป

4.2) ข้อดีและข้อจำกัดของการนำแนวคิด 3 ระดับ ไปใช้ในการเรียนการสอน

การเรียนการสอนเคมีที่มีการเชื่อมโยงแนวคิดทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกันนั้น จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful of learning) คือ มีการเชื่อมโยงความรู้ก่อนและหลังเรียนเข้าด้วยกัน และผู้เรียนไม่เพียงจำเนื้อหาได้ แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ อีกทั้งยังตอบสนองต่อธรรมชาติของวิชาที่มีทั้งการทดลอง การสอนในระดับอนุภาคและระดับสัญลักษณ์ (Aksela, 2005) นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมความเข้าใจในเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง (Deeper understanding) โดยการใช้สื่ออธิบายในระดับอนุภาค (Tasker & Dalton, 2008) และช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้อีกด้วย (Bunce & Gabel, 2002; Jansoon & Chotikarn, 2012)

ตัวอย่างงานวิจัยที่สนับสนุนการสอนเคมีด้วยการใช้รูปแบบแนวคิด 3ระดับเช่น Chandrasegaran, Treagust & Mocerino (2008) ได้ประเมินผลการสอนโดยใช้แนวคิด 3 ระดับเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียน ในเรื่องปฏิกิริยาเคมี โดยเก็บข้อมูลจากผู้เรียนชั้นระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากประเทศสิงค์โปร์ อายุระหว่าง 15-16 จำนวน จำนวน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่สอนด้วยรูปแบบแนวคิด 3 ระดับ จำนวน 65 คน และกลุ่มควบคุมที่สอนด้วยวิธีปกติ โดยไม่ได้ใช้แนวคิด3 ระดับ จำนวน 76 คน ใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 9 เดือน โดยกลุ่มทดลอง จะต้องใช้แนวคิด3 ระดับ ในการบรรยายและอธิบาย ปฏิกิริยาเคมี จำนวน 7 ปฏิกิริยาด้วยกัน เมื่อสอนจบหลักสูตรแล้วผู้เรียนทั้งสองกลุ่ม จะได้รับการประเมินโดยใช้ข้อสอบประเภทเลือกตอบและการให้เหตุผล ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองที่สอนโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ มีผลคะแนนที่มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ Bunce & Gabel (2002) ได้ทำการวิจัย เพื่อสืบค้นและตรวจสอบว่า การสอนในระดับอนุภาค ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ในการเรียนการสอน ตามแนวคิด 3 ระดับหรือไม่ โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากผู้เรียน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ในส่วนของกลุ่มควบคุมจะได้รับการสอนเพียง 2 ระดับ คือ ระดับการสังเกตและระดับสัญลักษณ์ ในขณะที่กลุ่มทดลองได้รับ

การสอนครบทั้ง 3 ระดับ คือ ระดับการสังเกต ระดับอนุภาคและระดับสัญลักษณ์ ผลที่ได้คือ ผู้เรียนในกลุ่มทดลองมีการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการสอนเคมีในระดับอนุภาค ที่ผู้สอนไม่ควรละทิ้งในชั้นเรียน และสิ่งที่สำคัญที่สุดในการเรียนการสอนเคมีคือ ควรที่จะต้องมีการสอนให้ครบและเชื่อมโยงทั้ง3ระดับเข้าด้วยกันเพื่อทำให้ผลการเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีคุณภาพ พร้อมทั้งเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย อีกทั้งยังเพิ่มความเข้าใจอย่างลึกซึ้งให้กับผู้เรียนด้วย

ถึงแม้ว่าการเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3 ระดับ จะส่งผลให้ผู้เรียนพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย และมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในเนื้อหาตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นอย่างไรก็ตาม การเรียนการสอนโดยใช้แนวคิด3ระดับ ก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่ อันเนื่องมาจากปัจจัยที่แตกต่างกันออกไป โดยมีงานวิจัยที่สนับสนุนดังต่อไปนี้

Chittleborough, Treagust & Mocerino (2002) รายงานว่า ถึงแม้ว่าผู้เรียนจะสามารถเชื่อมโยงคุณสมบัติในระดับการสังเกตกับระดับสัญลักษณ์ได้ แต่ถึงกระนั้นก็ตามผู้เรียนโดยส่วนใหญ่ก็ยังไม่สามารถเข้าถึง หรือยังไม่เข้าใจในสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในระดับอนุภาคได้ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค เป็นนามธรรม ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจถึงแม้ว่าจะมีการนำสื่อมาใช้อธิบายแล้วก็ตาม

นอกจากนี้ ในการเรียนการสอนเคมีโดยใช้แนวคิด 3ระดับนั้น ผู้เรียนจะต้องได้รับการเรียนรู้ที่ต้องมีการเชื่อมโยงทั้งระดับการสังเกต ระดับอนุภาค และระดับสัญลักษณ์เข้าด้วยกันซึ่งบางครั้งอาจจะส่งผลให้ผู้เรียนได้รับเนื้อหาและข้อมูลในปริมาณที่มากเกินไปเช่นเรื่องการแตกตัวของกรดแก่หรือการแตกตัวของกรดอ่อน นอกจากผู้เรียนจะต้องเรียนรู้จากการสังเกต และจากการทดลองแล้ว ผู้เรียนยังต้องทำความเข้าใจการแตกตัวของกรดแก่หรือกรดอ่อน ในระดับอนุภาคด้วย โดยมีการนำสื่อมาใช้อธิบายในระดับอนุภาค ซึ่งผู้เรียนจะต้องทำความเข้าใจและเรียนรู้การทำงานของสื่อร่วมอีกด้วย ทั้งนี้ถ้าสื่อที่นำมาใช้เป็นเรื่องใหม่สำหรับผู้เรียนด้วยแล้ว เช่น สื่อคอมพิวเตอร์แอนิเมชัน ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบบางครั้งก็อาจจะทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจากสื่อที่นำมาใช้ในการสอนอีกทั้งอาจจะส่งผลต่อภาระการทำงานของสมอง (cognitive load) ด้วย โดย Sweller (2004) ได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่า ถ้าสมองได้รับข้อมูลใหม่จากการเรียนรู้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจจะส่งผลต่อพื้นที่และภาระการทำงานของสมองและอาจจะทำให้ความสามารถในการรับรู้ของผู้เรียนในเรื่องนั้น ๆ ลดลงได้ทั้งนี้ผู้เขียนสนใจที่จะทำวิจัยในเรื่องดังกล่าวต่อไป

4.3) การเตรียมผู้เรียน

1. ผู้เรียนขาดประสบการณ์ในระดับการสังเกตหรือระดับมหภาค อันเนื่องมาจากบางครั้งผู้เรียนไม่ได้ถูกฝึกให้เกิดการเรียนรู้โดยการลงมือทำปฏิบัติการทดลองซึ่งสาเหตุที่มีการละทิ้งการทำปฏิบัติการทดลอง อาจจะเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่นเนื้อหาที่เรียนและกิจกรรมที่โรงเรียนมีในปริมาณมาก อีกทั้งบางโรงเรียนมีนโยบายในการสอนแบบให้เทคนิคในการทำข้อสอบ เพื่อต้องการเพิ่มจำนวนผู้สอบเข้าเรียนต่อในระดับมหาวิทยาลัย ดังนั้นปัญหาจากการละทิ้งการทำปฏิบัติการทดลองดังกล่าวอาจจะส่งผลให้ผู้เรียนไม่สามารถเชื่อมโยงการเรียนการสอนเคมีทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกันได้ดังนั้นควรเตรียมผู้เรียนให้มีความคุ้นเคยกับการทำการทดลองโดยผู้สอนควรที่จะจัดการเรียนการสอนที่มีการทำปฏิบัติการทดลองร่วมด้วย

2. ผู้เรียนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในระดับอนุภาคโดยผู้เรียนยังไม่เข้าใจและไม่สามารถเชื่อมโยงระหว่างสื่อหรือตัวแทนที่ใช้อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในในระดับอนุภาคกับสิ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจริงในระดับอนุภาค (Tuckey & Selvaratnam, 1993; Kelly & Hansen, 2017) ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่หรือการเคลื่อนไหว ของแบบจำลองหรือสื่อที่ใช้ นอกจากนี้ในสื่อคอมพิวเตอร์แอนิเมชันที่มีการใช้สีแดงแทนอะตอมของไฮโดรเจน บางครั้งผู้เรียนก็อาจจะมีความเข้าใจว่าสีแดงที่เห็นจากสื่อหรือตัวแทนที่ใช้อธิบาย เป็นสีของไฮโดรเจนจริง

3. ผู้เรียนยังขาดความเข้าใจ เกี่ยวกับความซับซ้อนของสัญลักษณ์ที่ถูกใช้ในระดับสัญลักษณ์ (Marais & Jordaan, 2000) เช่น สูตรเคมี สมการเคมี เป็นต้น อาจจะเป็นเพราะว่าโดยส่วนใหญ่แล้วสูตรเคมี และสัญลักษณ์เคมี ยังไม่มีความเกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกับการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ด่างทับทิม เขียนสูตรเคมีได้ เป็น $KMnO_4$ อ่านว่า โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งเราจะไม่นิยมเรียกชื่อ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในชีวิตประจำวัน

4. ผู้เรียนไม่สามารถเชื่อมโยงการเรียนรู้เคมีใน3ระดับ เข้าด้วยกัน (Bucat, 2004) โดยมีเหตุผลที่เป็นไปได้อย่างน้อย 2 ข้อคือ 1) เมื่อผู้เรียนถูกสอนโดยใช้แนวคิด

3 ระดับเข้าด้วยกัน อาจจะส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อพื้นที่การทำงานด้านความจำของสมอง เมื่อผู้เรียนได้รับข้อมูลที่มีปริมาณมากเกินไป (overloading the working memory space) (Treagust, Chandrasegaran, Zain, Ong, Karpudewan & Halim, 2011) ซึ่งเหตุผลดังกล่าวอาจจะส่งผลต่อความสามารถในการเชื่อมโยงทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกัน ข้อ 2) คือ การละเลยการสอนในระดับอนุภาค เมื่อผู้เรียนได้รับการสอนที่ไม่ครบทั้ง 3 ระดับอาจจะส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีได้ เช่น การให้และการรับอิเล็กตรอนของสารในปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยผู้เรียนอาจจะอธิบายความหมายของการให้และรับอิเล็กตรอนได้ แต่ผู้เรียนอาจจะยังไม่เข้าใจถึงกระบวนการให้และรับอิเล็กตรอนอย่างแท้จริงในระดับอนุภาคเพราะว่าสิ่งที่เกิดขึ้นไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นถ้าผู้สอนละทิ้งการสอนในระดับอนุภาคด้วยแล้ว ก็อาจจะส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.4) การเตรียมผู้สอน

1. ผู้สอนควรที่จะเข้าใจกระบวนการหรือขั้นตอนการเรียนรู้ โดยการเชื่อมโยงทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกัน ซึ่งควรที่จะเรียงลำดับการเชื่อมโยงจากสิ่งที่ง่ายไปหายาก โดยเริ่มสอนจากสิ่งที่สามารถสังเกตเห็นและจับต้องได้ก่อน คือ ในระดับการสังเกต (observable level) ตามด้วยการอธิบายในระดับอนุภาค (micro level) โดยใช้สื่อต่างๆ และสุดท้ายเชื่อมโยงเข้าสู่ระดับสัญลักษณ์ (symbolic level) (Papageorgioua & Johnson, 2005)

2. ผู้สอนควรที่จะต้องตรวจสอบความรู้พื้นฐานของผู้เรียนก่อน เพื่อให้รู้ว่าผู้เรียนมีพื้นฐานในการเรียนเป็นอย่างไร เช่น ผู้เรียนรู้อะไร และยังไม่รู้อะไร มีผู้เรียนหลายคน ที่เข้ามาในชั้นเรียนพร้อมกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน มีความสับสน หรือมีความรู้พื้นฐานที่จำกัด ดังนั้นการจัดเตรียมความพร้อมเพื่อให้เหมาะกับความรู้พื้นฐานกับที่ผู้เรียนมีจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผู้เรียนต่อยอดความรู้ไปในระดับที่สูงขึ้นได้ (Devetak, Vogrinc & Glazar, 2009)

3. ผู้สอนควรที่จะเข้าใจ รูปแบบหรือวิธีการเรียนรู้การใช้สื่อของผู้เรียน (Kelly & Hansen, 2017) เพราะเรื่องดังกล่าวอาจจะมีผลต่อการทำงานของพื้นที่สมอง ซึ่งรูปแบบหรือวิธีการ ในการเรียนรู้ของผู้เรียน จะมีประโยชน์ในการนำไปใช้ เพื่อทำนายว่ารูปแบบการเรียนรู้แบบใดที่จะส่งผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนมากที่สุด

4. เจตคติและแรงจูงใจ มีความสำคัญในกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งสองสิ่งนี้มีความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัย 2 เรื่องที่มีผลต่อเจตคติในวิชาเรียนของผู้เรียน คือ คุณภาพของผู้สอน และคุณภาพของหลักสูตร (Skryabina, 2000) อย่างไรก็ตามผู้สอนก็ควรที่จะจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับสภาพของผู้เรียนและตรงตามความต้องการของผู้เรียนด้วย

5. การวัดและการประเมินผล เป็นสิ่งที่สำคัญในการเรียนการสอน ซึ่งบางครั้งการวัดและประเมินผลไม่ได้ตอบสนอง หรือสะท้อนจุดประสงค์ของการเรียนเพื่อการเรียนรู้อย่างมีความหมายโดยส่วนใหญ่แล้ว การวัดและประเมินผลจะใช้รูปแบบที่เน้นความจำหรือทักษะการแก้โจทย์ปัญหาต่างๆ ดังนั้นแรงจูงใจของผู้เรียนที่จะค้นหาการเรียนรู้อย่างมีความหมายจึงมีจำกัดเพราะผู้เรียนมุ่งเน้นในการทำข้อสอบที่มีการวัดและประเมินผลในรูปแบบความจำ และเพื่อการเข้าศึกษาต่อ ในระดับที่สูงขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนจากการเข้าร่วมโครงการนำร่องการจัดการเรียนรู้แบบใหม่ที่สอดคล้องกับศตวรรษที่ 21ประจำปีการศึกษา 1/2559 และ 1/2560 โดยผู้เขียนได้นำแนวคิด 3 ระดับไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอน ในกระบวนวิชามโนมติวิทยาศาสตร์ด้านเคมี (064301) และขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ฝ่ายคำตา ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการเขียนบทความวิชาการฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

References

Ainsworth, S., Prain V. & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science, 333*, 1096–1097.

Aksela, M. (2005). *Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach*. PhD Thesis, University of Helsinki Finland.

Boz, Y. (2006). Turkish pupils' conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Science Education and Technology, 15*(2), 203-213.

Bucat, B. (2004). Pedagogical content knowledge as a way forward: Applied research in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice, 5*, 215–228.

Bunce, D.M. & Gabel, D. (2002). Differential effects on the achievement of males and females of teaching the particulate nature of chemistry. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(10), 911-927.

Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F. & Mocerino, M. (2008). An evaluation of a teaching intervention to promote students' ability to use multiple levels of representation when describing and explaining chemical reaction. *Research in Science Education. 38,* 237-248.

Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., Waldrip, B. & Chandrasegaran, A. (2009). Students' dilemmas in reaction stoichiometry problem solving: Deducing the limiting reagent in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice, 10,* 14-23.

Chang, H.P. & Lederman, N. G. (1994). The effect of levels of cooperative within physical science laboratory groups on physical science achievement. *Journal of Research in Science Teaching, 31*(2), 167-181.

Chittleborough, G. D., Treagust, D.F. & Mocerino, M. (2002). *Constraints to the development of first year university chemistry students' mental models of chemical phenomena*. Proceedings of the 11th Annual Teaching Learning Forum. Perth, Australia.

Devetak, I., Vogrinc, J. & Glazar, S.A. (2009). Assessing 16 year-old students' understanding of aqueous solution at sub-microscopic level. *Research in Science Education, 39*(2), 157-159.

Dickson, H., Thomson, C. & O'Toole, P. (2016). A Picture is worth a thousand words: Investigating first year chemistry students' ability to visually express their understanding of chemistry concepts. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education, 24*(1), 12-23.

Faikhamta, C. (2008). Student alternative conceptions in chemistry, *Journal of Education Prince of Songkla University, Pattani Campus, 19*(2), 10-28. [in Thai]

Freedman, P. M. (1997). Relationship among laboratory instruction, Attitude toward science, and achievement in science knowledge. *Journal of Research in Science Teaching, 34*(4), 347-357.

Gabel, D. L. (1994). *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: MacMillan.

Gabel, D. L. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education, 76*(4), 548-554.

Gunstone, R. F. & Champagne, A. B. (1990). Promoting conceptual change in the laboratory. In E. Hegarty-Hazel(Ed.), *The student laboratory and the science curriculum*, pp.159-182. London: Routlegde.

Jansoon, N. & Chotikarn, S. (2012). *A study of three levels of chemical representation using "Thinking levels of chemistry" Activity Packages*. Research, Thaksin University. [in Thai]

Johnstone, A. H. (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review, 64*, 377–379.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry: Logical or psychological? *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9-15.

Johnstone, A. H. & Selepeng, D. (2001). A language problem revisited. *Chemistry education: Research and Practice in Europe, 2*(1), 19-29.

Kelly, R. M. & Hansen, S. (2017). Exploring the design and use of molecular animations that conflict for understanding chemical reactions. *Quimica Nova, 40*(4), 476-481.

Kelly, R. M., Barrera, J. H. & Mohamed, S. C. (2010). An analysis of undergraduate general chemistry students' explanations of the submicroscopic level of precipitation reactions. *Journal of Chemical Education*, *87*(1), 113-118.

Kolomuç, A. & Tekin, S. (2011). Chemistry teachers' misconceptions concerning concept of chemical reaction rate. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education, 3*(2), 84-101.

Marais, P. & Jordaan, F. (2000). Are we walking symbolic language for granted? *Journal of Chemical Education, 77* (10), 1355-1357.

Naah, B. & Sanger, M. (2012). Student misconceptions in writing balance equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice, 13*, 186-194.

Özmen, H. (2007). The effectiveness of conceptual change texts in remediating high school students' alternative conceptions concerning chemical equilibrium. *Asia Pacific Education Review, 8* (3), 413-425.

Papageorgioua, G. & Johnson, P. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils' understanding of phenomena? *International Journal of Science Education, 27*, 1299–1317.

Potisen, P. & Faikhamta, C. (2017). How do I develop grade-11 students' mental models in the rate of reaction?: Classroom action research. *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning, 8* (1), 101-122. [in Thai].

Russell, J. & Kozma, R. (2007). Assessing learning from the use of multimedia chemical visualization software. In Gilbert, J. (Ed.), *Visualization in Science Education*, Dordrecht: Springer.

Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1997). Students' misconceptions in electrochemistry regarding Current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. *Journal of Chemical Education, 74* (7), 819-823.

Skryabina, E. (2000). *Student attitude to learning physics at school and university levels in Scotland*, PhD Thesis, University of Glassgow.

Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science, 32*, 9–31.

Taber, K. S. (2011). Models, molecules and misconceptions: A commentary on "Secondary school students' misconceptions of covalent bonding". *Journal of Turkish Science Education, 8,* 3-18.

Tasker, R., & Dalton, R. (2008). Visualising the molecular world- design, evaluation, and use of animations. In Gilbert J., Reiner, M., & Nakhleh, M. (Eds.). *Visualisation: Theory and Practice in Science Education*. Springer, Dordrecht, pp. 103-131.

Treagust, D.F., Chandrasegaran, A. L., Zain, A. N., Ong, E. T., Karpudewan, M. & Halim, L. (2011). Evaluation of an intervention instructional program to facilitate understanding of basic particle concepts among students enrolled in several levels of study, *Chemistry education research and practice, 12,*251–261.

Treagust, D.F., Chittleborough, G. & Mamiala, T.L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education, 25* (11), 1353-1368.

Tuckey, H. & Selvaratnam, M. (1993). Studies involving three-dimensional visualization skills in chemistry. *Studies in Science Education, 21*, 99-121.

Zhang, Z. & Linn, M. (2011). Can generating representations enhance learning with dynamic visualizations? *Journal of Research in Science Teaching, 48* (10), 1177–1198.