

บทบาทของเมนทอลโมเดลในการเรียนรู้วิชาเคมีระดับโมเลกุล

Roles of Mental Models in Learning Chemistry at Molecular Level

ดร.ศักดิ์ศรี สุภาสาร (Dr.Saksri Supasorn)*

มโนคติในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับเรื่องของนามธรรมที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้ ทำให้นักเรียนจำนวนมากมีมโนคติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับวิชาเคมี อย่างไรก็ตาม การเรียนรู้วิชาเคมีในยุคไอซีทีที่มีการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ที่ช่วยเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างเมนทอลโมเดลระดับโมเลกุลได้ใกล้เคียงความเห็นร่วมของวิทยาศาสตร์มากขึ้น และสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างมโนคติในระดับโมเลกุลเข้ากับสิ่งที่มองเห็นในระดับมหภาคและการเขียนด้วยสัญลักษณ์ทางเคมีได้ สิ่งเหล่านี้สามารถช่วยให้นักเรียนเรียนรู้วิชาเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทนำ

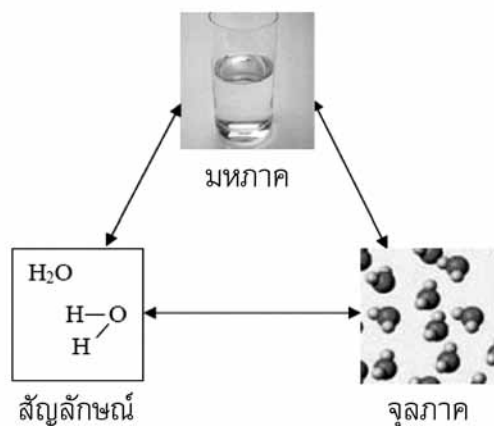
เคมีเป็นหนึ่งในวิชาแกนของวิทยาศาสตร์ที่เป็นต่อการเรียนรู้และการเข้าใจวิชาวิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ (Ware, 2001) แต่เคมีกลับเป็นวิชาที่นักเรียนส่วนใหญ่ลงความเห็นว่ายาก น่าเบื่อ และไม่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน (Kegley, Stac & Gutwill, 1996) ปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้นักเรียนไม่สนใจเรียนและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ

การแสดงผลข้อมูลต่างๆ ในวิชาเคมีเป็นการอธิบายสมบัติ การเปลี่ยนแปลง ปรากฏการณ์ หรือปฏิกิริยาในเคมี แบ่งออกเป็น 3 ระดับ (ภาพที่ 1) ได้แก่

1. การแสดงผลในระดับมหภาค (macroscopic representation) ซึ่งเป็นการอธิบายสมบัติของสารหรือปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเกิดสนิม การเปลี่ยนสี และการละลาย เป็นต้น

2. การแสดงผลในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล (microscopic or molecular representation) เป็นการอธิบายในระดับที่บ่งบอกว่าสารที่สังเกตเห็นประกอบด้วยอะตอม โมเลกุล หรือไอออนอะไรบ้าง

3. การแสดงผลในระดับสัญลักษณ์ (symbolic representation) ซึ่งเป็นการอธิบายการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางเคมีด้วยการใช้สัญลักษณ์เคมี เช่น สูตรเคมี สมการเคมี และแบบจำลอง (Johnstone, 1993)



ภาพที่ 2 ความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์ มโนคติที่คลาดเคลื่อน และมโนคติที่ผิด

การเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 ได้มีตัวช่วยในการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพอย่างหลากหลาย และมัลติมีเดีย เช่น ภาพเคลื่อนไหว (animation) และสถานการณ์จำลอง (simulation) ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถช่วยให้นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติทางเคมีของสารและ

คำสำคัญ: เมนทอลโมเดล, มโนคติที่คลาดเคลื่อน, การเรียนรู้เคมี

Keyword: mental model, alternative conception, chemistry learning

* อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี



ปรากฏการณ์ทางเคมีในระดับต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือ ภาพเคลื่อนไหวสามารถช่วยให้นักเรียนมองเห็นและเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล เชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่เห็นในระดับมหภาค และสามารถเขียนอธิบายให้เข้าใจตรงกันได้อย่างสากลในระดับสัญลักษณ์

ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลคืออะไร

ภาพเคลื่อนไหวระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล (microscopic or molecular animation) หมายถึง การแสดงภาพจำลองเหตุการณ์หรือสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล ซึ่งจะมีรายละเอียดที่บ่งบอกว่าสารนั้นมีโมเลกุล อะตอม หรือไอออนอะไรบ้างเป็นองค์ประกอบ ภาพเคลื่อนไหวเหล่านี้สามารถทำให้นักเรียนมองเห็นภาพในระดับโมเลกุลได้

เมนทอลโมเดลกับการเรียนวิชาเคมี

คำว่า “เมนทอลโมเดล” (mental model) มีความหมายแตกต่างกันออกไปตามศาสตร์หรือสาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ แต่ในบริบททางการศึกษา เมนทอลโมเดล หมายถึง “โมเดลที่สะท้อนถึงความคิด ความเข้าใจ หรือการรับรู้ของบุคคลที่สร้างขึ้นจากการนำข้อมูลใหม่ (new knowledge) ที่ได้รับมาผนวกเข้ากับความรู้เดิม (existing knowledge) เพื่ออธิบายเกี่ยวกับกระบวนการปรากฏการณ์ หรือระบบที่สนใจ” (Bodner, 2007; Johnson-Laird, 1983) โดยเมนทอลโมเดลอาจจะเป็นโมเดลเชิงกายภาพ (physical mental model) เช่น คำพูด รูปภาพ ไดอะแกรม ภาพเคลื่อนไหว และโมเดลจำลอง เป็นต้น หรืออาจจะเป็นโมเดลเชิงความเข้าใจเชิงมโนคติ (conceptual understanding model) เช่น เช่น โมเดลของแนวคิดความคิด และมโนคติที่มองไม่เห็น เป็นต้น (Coll & Treagust, 2003)

เมนทอลโมเดลเป็นส่วนสำคัญในการสร้างมโนคติทางการเรียนของนักเรียน (Glynn & Duit, 1995) และมีบทบาทอย่างมากในการทำความเข้าใจมโนคติทางเคมีในระดับโมเลกุล ทั้งนี้เพราะเนื้อหาและหลักการในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับการแสดงผลในระดับโมเลกุลหรือระดับจุลภาคซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถเข้าถึง

ได้จากกระบวนการรับรู้โดยตรง (direct perception) (Briggs & Bodner, 2005) ดังนั้น นักเรียนจะต้องสร้างเมนทอลโมเดลของตนเองขึ้นมาเพื่อทำความเข้าใจมโนคติที่สัมผัสไม่ได้และมองไม่เห็นเหล่านี้ให้สามารถเชื่อมโยงเข้ากับโลกในระดับมหภาคให้ได้ (Johnstone, 1993) ซึ่งกระบวนการสร้างสิ่งที่มองไม่เห็นให้มีความสมเหตุสมผลจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตาม เมนทอลโมเดลเป็นสิ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ กล่าวคือ เมื่อเมนทอลโมเดลของนักเรียนไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ในบริบทใหม่ได้ นักเรียนก็จะปรับปรุงเมนทอลโมเดลใหม่เพื่อให้เข้ากับสถานการณ์ใหม่ หรือเมื่อนักเรียนได้รับข้อมูลใหม่เข้ามา นักเรียนจะสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์และใช้ในการปรับปรุงเมนทอลโมเดลเดิมให้สอดคล้องกับความเข้าใจหรือให้ถูกต้องมากที่สุดตามความคิดของนักเรียน (Glynn & Duit, 1995; Kozma & Russell, 1997; Yang, Andre & Greenbowe, 2003) ดังนั้น เมนทอลโมเดลจึงเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถใช้ในการสำรวจความเข้าใจเชิงมโนคติ (conceptual understanding) ของนักเรียนเกี่ยวกับกระบวนการที่ต้องการสำรวจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลและกระบวนการที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบภาพเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพนั่นเอง (Johnson-Laird, 1983)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหว

ความสามารถทางมิติสัมพันธ์ (spatial ability) หมายถึง “ความสามารถในการหมุนวัตถุแบบ 2 หรือ 3 มิติในใจ และจินตนาการผลจากการเปลี่ยนแปลงจากการหมุนนั้นได้” (Mayer, 1994) ซึ่งมีงานวิจัยเกี่ยวกับความสามารถทางมิติสัมพันธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างความสามารถทางมิติสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในวิชาเคมี และวิทยาศาสตร์แขนงอื่นๆ โดยนักเรียนที่มีความสามารถทางมิติสัมพันธ์สูง (high spatial ability) จะมีทักษะในการแก้โจทย์ปัญหา (problem solving skill) ในวิชาเคมีและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนความสามารถทางมิติสัมพันธ์ต่ำ (Carter,

LaRussa & Bodner, 1987; Yang, & Greenbowe, 2003) ทั้งนี้เพราะนักเรียนที่มีความสามารถทางมิติสัมพันธ์สูงจะมีความสามารถในการสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์หรือข้อมูลสำคัญจากโจทย์ปัญหาได้ดีกว่า ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่านักเรียนจะแก้ปัญหานั้นได้สำเร็จหรือไม่ (Bodner & Domin, 2000) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางมิติสัมพันธ์กับการแก้โจทย์ปัญหาทางเคมีจะมีชัดเจนขึ้นในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาที่ต้องใช้ความรู้ขั้นสูง (high-order cognitive skill question) ในการแก้ปัญห (Pribyl & Bodner, 1987)

Mayer (1999) ได้กล่าวถึงกระบวนการเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างบุคคล (individual differences paradigm) เอาไว้ว่า การที่นักเรียนประสบผลสำเร็จในการเรียนแตกต่างกันนั้น เพราะนักเรียนมีความรู้เดิมและความสามารถทางมิติสัมพันธ์แตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยทั้งสองอย่างนี้มีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลของนักเรียน ซึ่ง Mayer & Moreno (1998) ได้ตั้งสมมติฐานตามทฤษฎีทางปัญญาไว้ 2 ข้อ ดังนี้

1. นักเรียนที่มีความรู้เดิมมากจะสามารถสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหวได้ดีกว่านักเรียนที่มีความรู้เด็มน้อย

2. นักเรียนที่มีความสามารถทางมิติสัมพันธ์สูงจะสามารถสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหวได้ดีกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางมิติสัมพันธ์ต่ำ

ดังนั้น นักเรียนที่มีทั้งความรู้เดิมมากและความสามารถทางมิติสัมพันธ์สูงน่าจะสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหวได้ดี มีทักษะการแก้โจทย์ปัญหา และส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มอื่น (Mayer & Gallini, 1991) อย่างไรก็ตาม นักเรียนที่มีทั้งความรู้เด็มน้อยและความสามารถทางมิติสัมพันธ์ต่ำอาจจะเป็นกลุ่มที่สามารถได้รับประโยชน์จากการดูภาพเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ถ้าภาพเคลื่อนไหวนั้นได้ผ่านการออกแบบให้เสริมการพัฒนากระบวนการทางสติปัญญา 3 ขั้นตอน (Mayer, 1999) ได้แก่

1. มีการเลือกภาพและเสียงที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด
2. มีการจัดระบบข้อมูลภาพให้เป็นเมนทอลโมเดลแบบภาพ (visual mental model) และข้อมูล

เสียงเป็นเมนทอลโมเดลแบบประโยคหรือคำพูด (verbal mental model)

3. มีการบูรณาการเมนทอลโมเดลแบบภาพและแบบคำพูดเข้าด้วยกันและบูรณาการเข้ากับความรู้เดิมเพื่อสร้างเป็นเมนทอลโมเดลใหม่ที่สมบูรณ์ขึ้น

Clark (2005) ได้เสนอวิธีการในการใช้ภาพเคลื่อนไหวเพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างเมนทอลโมเดลจากโมเดลที่นำเสนอภาพเคลื่อนไหวไว้ 4 วิธี ได้แก่

1. จัดลำดับโมเดลที่สอดคล้องกันโดยนำเสนอองค์ประกอบย่อย (subcomponents) และโมเดลย่อยที่สอดคล้องกันก่อนที่จะนำเสนอองค์ประกอบรวมทั้งระบบหรือทั้งกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนสามารถจัดการกับการทำงานทางปัญญาหรือภาระการทำงานทางด้านพุทธิปัญญา (cognitive load) ของตนเองได้อย่างเหมาะสม

2. ควรให้นักเรียนควบคุมภาพเคลื่อนไหวได้เองเพื่อให้นักเรียนดูภาพเคลื่อนไหวและรับข้อมูลเนื้อหาไปตามจังหวะหรืออัตราที่เหมาะสมกับศักยภาพของตนเอง

3. ควรอธิบายภาพเคลื่อนไหวโดยใช้การบรรยายด้วยเสียงแทนการใช้ข้อความบนจอ เพื่อลดการทำงานของความจุหน่วยความจำด้านการมองเห็น (visual working memory capacity)

4. ใช้ตัวชี้นำเชิงประจักษ์ (visual cue) ประกอบภาพเคลื่อนไหว เพื่อให้นักเรียนมุ่งความสนใจไปยังองค์ประกอบที่สำคัญของภาพเคลื่อนไหวที่กำลังดูอยู่

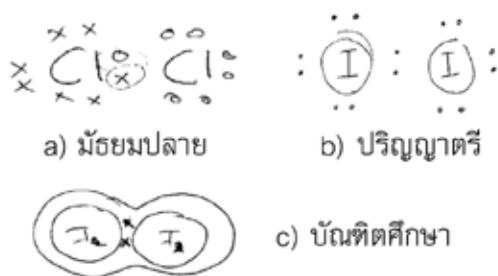
เมนทอลโมเดลระดับโมเลกุลในวิชาเคมี

เนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่เป็นโมเดลในระดับโมเลกุลที่ไม่สามารถจับต้องหรือมองเห็นได้ ดังนั้นเครื่องมือจินตภาพ (visualization) ในระดับโมเลกุลจึงมีบทบาทสำคัญในการสร้างเมนทอลโมเดลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่สนใจสำหรับนักเรียนและนักศึกษา (Briggs & Bodner, 2005) ผู้เขียนขอยกตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวเมนทอลโมเดลในวิชาเคมี ดังนี้

Coll & Treagust (2001) ได้ศึกษาเมนทอลโมเดลเกี่ยวกับพันธะเคมีของผู้เรียนสามระดับ ได้แก่ มัธยมศึกษา ปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา พบว่า ผู้เรียนทั้งสามกลุ่มถนัดที่จะวาดเมนทอลโมเดลของการเกิดพันธะเคมีอย่างง่าย



เช่น แบบทะเลหมอกอิเล็กทรอนิกส์ (electron cloud) และ กฎออกเตต (octet rule) ดังแสดงในภาพที่ 3 แต่ผู้เรียนในระดับที่สูงขึ้นจะเพิ่มรายละเอียดที่ได้เรียนรู้ผ่านมาในการอธิบายโมเดลมากขึ้น คณะวิจัยจึงสรุปว่า เมินทอลโมเดลเกี่ยวกับพันธะเคมีของผู้เรียนจะเป็นโมเดลที่ค่อนข้างเสถียร และเปลี่ยนแปลงได้ยาก ทั้งนี้ เมื่อเรียนในระดับที่สูงขึ้นก็ยังใช้โมเดลเดิม เพียงแต่เพิ่มรายละเอียดของการอธิบายมากขึ้นเท่านั้น



ภาพที่ 3 เมินทอลโมเดลการเกิดพันธะในโมเลกุลไอโอดีน (I_2) หรือคลอรีน (Cl_2) ของผู้เรียนในระดับต่างๆ

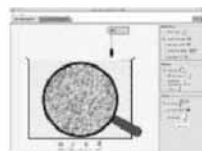
อย่างไรก็ตาม การใช้โมเดลอย่างง่ายในการอธิบายก็ไม่ได้หมายความว่าผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องพันธะเคมีอย่างจำกัด เพราะถ้าโมเดลที่วาดขึ้นใช้ไม่ได้กับสถานการณ์ใหม่หรืออธิบายสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของสารนั้น ผู้เรียนก็จะใช้โมเดลใหม่ที่ซับซ้อนมากขึ้น ในการอธิบายสถานการณ์ใหม่หรือสมบัติของสารนั้นแทน เช่น โมเดลการเกิดพันธะกับออร์บิทัล เป็นต้น (Coll & Taylor, 2002)

Williamson & Abraham (1995) ได้ศึกษาผลของภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลต่อเมินทอลโมเดลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางเคมีของนักศึกษาที่ลงทะเบียนรายวิชาเคมีทั่วไป และพบว่า กลุ่มนักศึกษาที่ได้ดูภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลมีความเข้าใจเชิงมนิเมติกของปรากฏการณ์เคมีในระดับโมเลกุลมากกว่ากลุ่มนักศึกษาที่ดูภาพนิ่ง โดยกลุ่มนักศึกษาที่ได้ดูภาพเคลื่อนไหวสามารถวาดภาพเมินทอลโมเดลของปรากฏการณ์ทางเคมีระดับโมเลกุลได้ดี เป็นโมเดลที่มีความต่อเนื่อง ในขณะที่กลุ่มนักศึกษาที่ดูภาพนิ่งจะวาดภาพเมินทอลโมเดลในระดับโมเลกุลได้ค่อนข้างน้อย เป็นโมเดลแบบไม่ต่อเนื่อง และส่วนใหญ่ยึดติดกับเมินทอลโมเดลในระดับมหภาค

แหล่งภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลที่น่าสนใจ

การจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ในยุคไอซีทีปัจจุบันนี้มีตัวช่วยมากมาย ในที่นี้จะขอแนะนำแหล่งเรียนรู้ด้านภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลในวิชาเคมีที่น่าสนใจทั้งแบบภาพเคลื่อนไหวธรรมดา (animation) และแบบสถานการณ์จำลอง (simulation) ดังนี้

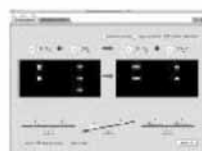
1. โครงการ PhET ย่อมาจาก Physical Education Technology จัดทำโดยกลุ่มวิจัยที่ University of Colorado (2011) ที่เมือง Boulder ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยโครงการนี้จัดทำภาพเคลื่อนไหวเชิงปฏิสัมพันธ์แบบสถานการณ์จำลองในวิชาเคมี และวิทยาศาสตร์วิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น ฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา สามารถเข้าไปดาวน์โหลดและติดตั้งภาพเคลื่อนไหวลงบนคอมพิวเตอร์ส่วนตัวได้ ตัวอย่างสถานการณ์จำลองที่น่าสนใจในวิชาเคมี ได้แก่ สารละลายกรด-เบส การสลายตัวให้รังสีแอลฟา การดุลสมการเคมี และลูกโป่งกับแรงลอยตัว เป็นต้น (ภาพที่ 4)



สารละลายกรด-เบส



การสลายตัวให้รังสีแอลฟา



การดุลสมการเคมี



ลูกโป่งกับแรงลอยตัว

ภาพที่ 4 ตัวอย่างสถานการณ์จำลองของ PhET

2. กลุ่มวิจัยเคมีศึกษา (Chemical Education Research Group) ณ Iowa State University ประเทศสหรัฐอเมริกา (Greenbowl, 2011) โดยกลุ่มวิจัยนี้ได้สร้างสถานการณ์จำลอง (simulation) และภาพเคลื่อนไหว (animation) หลายเรื่อง เช่น ไฟฟ้าเคมี การไทเทรตแบบรีดอกซ์ กฎของแก๊ส สมดุลกรด-เบส ปริมาณสัมพันธ์ และการวัด เป็นต้น (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ตัวอย่างสถานการณ์จำลองของกลุ่มวิจัย Greenbowl

3. MERLOT ย่อมาจาก Multimedia Educational Resources for Learning & Online Teaching ซึ่งเป็นโปรแกรมของ California State University โดยจะมี มัลติมีเดียสำหรับการเรียนการสอนหลากหลายวิชา และ ในส่วนวิชาเคมีก็ยังจำแนกย่อยออกเป็นสาขาย่อย เช่น เคมีอินทรีย์ เคมีอนินทรีย์ เคมีวิเคราะห์ พอลิเมอร์ และ นิวเคลียร์ เป็นต้น (ภาพที่ 6) เราสามารถลงทะเบียน ในเว็บไซต์ของ MERLOT และเข้าไปศึกษาข้อมูลจาก แหล่งเรียนรู้ต่างๆ เหล่านี้ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย (California State University, 2011)



ภาพที่ 6 หน้าเว็บไซต์ MERLOT Chemistry

สรุป

ความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลของ ผู้เรียนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเรียนรู้วิชาเคมี โดยผู้เรียนมีความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลได้ดี ผู้เรียนก็จะสามารถเรียนรู้และเข้าใจวิชาเคมีได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงระดับ มหภาคเข้ากับระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ ทั้งนี้ ความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลนั้นเป็นทักษะ ของแต่ละบุคคลที่อาจจะพัฒนาได้ยาก อย่างไรก็ตาม การใช้สื่อประกอบการเรียนรู้ที่สะท้อนความเชื่อมโยงของ สมบัติระดับมหภาคกับสมบัติระดับจุลภาคและระดับ สัญลักษณ์ได้อย่างถูกต้อง ก็สามารถทำให้ผู้เรียนสามารถ พัฒนาความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลได้ดีขึ้น และส่งผลให้สามารถเรียนรู้วิชาเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ มากขึ้น ถ้าสื่อที่ใช้ประกอบการเรียนรู้มีมิติที่คลาด เคลื่อนไปจากความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์ สื่อเหล่านั้น ก็จะทำให้ผู้เรียนมีมิติที่คลาดเคลื่อนตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Bodner, G. M. (2007). The role of theoretical frameworks in chemistry. In Bodner G. M. & Orgill M. (Eds.). **Theoretical Frameworks for Research in Chemistry/Science Education.** (pp. 1-26). New Jersey: Prentice Hall.
- Bodner, G. M., & Domin, D. S. (2000). Mental model: the role of representations in problem solving in chemistry. **University Chemistry Education**, 4(1), 24-30.
- Briggs, M. W., & Bodner, G. M. (2005). A model of molecular visualization. In Gilbert J. K. (Ed.). **Visualization in science education.** (pp. 61-73). Netherlands: Springer.
- California State University. **MERLOT: Multimedia educational resources for learning and online teaching.** (n.d.). Retrieved September 16, 2011, from 2011 <http://chemistry.merlot.org/>.



- Carter, C.S., LaRussa, M. A., & Bodner, G.M. (1987). A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of general chemistry. **Journal of Research in Science Teaching**, **24**(7), 645-657.
- Clark, R. C. (2005). Multimedia learning in e-courses. In Mayer R. E. (Eds.). **The Cambridge Handbook of Multimedia Learning**. (pp. 549-567). New York: Cambridge University Press.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Learners' mental models of metallic bonding: cross-age study. **Science Education**, **87**(5), 685-707.
- Coll, R. K., & Taylor, N. (2002). Mental models in chemistry: Senior chemistry students' mental models of chemical bonding. **Chemistry Education Research and Practice**, **3**(2), 175-184.
- Coll, R. K., & Treagust, D.F. (2001). Learners' mental models of chemical bonding. **Research in Science Education**, **31**(3), 357-382.
- Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: Constructing conceptual model. In Glynn S. M. & Duit R. (Eds.), **Learning science in the schools: Research reforming practice**. (pp. 3-33). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Greenbowe, T. **Chemical Education Research Group Simulation**. Retrieved September 16, 2011, from <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/index4.html>.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). **Mental models - Towards a cognitive science of language, inference and consciousness**. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnstone A. H. (1993). Introduction. In Wood C. and Sleet R. (Eds.), **Creative problem solving**. London: Royal Society of Chemistry.
- Kegley, S., Stacy, A., & Gutwill, J. (1996). Environmental chemistry in the general chemistry laboratory, part I: A context-based approach to teaching chemistry. **The Chemical Educator**, **1**(4), 1-14.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena, **Journal of Research in Science Teaching**, **34**(9), 949-968.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? **Journal of Educational Psychology**, **82**(4), 715-726.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). **A cognitive theory of multimedia learning: Implications for design principles**. Paper presented at the CHI-98 Workshop on Hyped-Media to Hyper-Media, LA: [n. p.].
- Mayer, R. E. (1994). Visual aids to knowledge construction: building mental representations from pictures and words, In Schnotz W. & Kulhavy W. (Eds.). **Comprehension of graphics**. (pp. 125-138). Amsterdam: Elsevier Science.
- Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. **International Journal of Educational Research**, **31**(7), 611-623.
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. **Journal of Chemical Education**, **79**(6), 739-744.

- Pribyl, J. R., & Bodner, G.M. (1987). Spatial ability and its role in organic chemistry: a study of four organic courses. *Journal of Research in Science Teaching*, **24**(3), 229-240.
- Taber, K. S. (2002). **Chemical misconceptions–prevention, diagnosis and cure, Volume I: Theoretical background**. London: Royal Society of Chemistry.
- University of Colorado. (n.d.). **PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science, and math simulations**. Retrieved September, 16, 2011, from <http://phet.colorado.edu/>.
- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In Magnani L. & Nersessian N. (Eds.), **Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values**. New York: Kluwer Academic Press.
- Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, **32**(5), 521-534.
- Yang, E., Andre, T., & Greenbowe, T. (2003). Spatial ability and the effect of visualization/animation on learning electrochemistry. *International Journal of Science Education*, **25**(3), 329 – 349

