

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การเสนอวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในบทนี้แนะนำให้เสนอเป็น 5 หัวข้อคือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน การจัดการเรียนรู้วิชาเคมี ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนิเวศวิทยา ศาสตร์ ความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ และรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
 - 1.1 ความหมายและธรรมชาติของแบบจำลอง
 - 1.2 ธรรมชาติของแบบจำลอง
 - 1.3 ประเภทของแบบจำลองและลักษณะของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
 - 1.4 หลักการและทฤษฎีการเรียนรู้พื้นฐานของการจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน
 - 1.5 การสร้างแบบจำลองและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
 - 1.6 บทบาทของครูผู้สอนในการจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน
 - 1.7 ลักษณะและข้อจำกัดของแบบจำลอง
2. การจัดการเรียนรู้วิชาเคมี
 - 2.1 ธรรมชาติของวิชาเคมี
 - 2.2 ลักษณะของการจัดการเรียนรู้เนื้อหาเคมี
 - 2.3 การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานในวิชาเคมี
3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนิเวศวิทยา ศาสตร์
 - 3.1 ความหมายและขอบเขตของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนิเวศวิทยา ศาสตร์
 - 3.2 การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนิเวศวิทยา ศาสตร์
4. ความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ
 - 4.1 ความหมายและองค์ประกอบของการคิดเชิงผลิตภาพ
 - 4.2 ขอบเขตของการคิดเชิงผลิตภาพ
 - 4.3 ลักษณะของคนที่มีความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ
 - 4.4 การวัดและประเมินผลความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ
5. รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

1.1 ความหมายและความสำคัญของแบบจำลอง

แบบจำลองเป็นคำที่แปลมาจากภาษาอังกฤษคำว่า Model มีผู้แปลเป็นภาษาไทยโดยใช้คำว่า โมเดล แบบจำลอง ต้นแบบ แบบแผน ตัวแบบ แบบจำลองมีความหมายว่า สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อใช้อธิบายแนวคิด หลักการ ทฤษฎี กฎ หรือสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองคือ ระบบของวัตถุหรือสัญลักษณ์ที่ใช้เป็นตัวแทนของระบบอื่นๆ ที่เรียกว่า “เป้าหมาย” (Target) ซึ่งได้แก่ ระบบ แนวคิด วัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ (Gilbert & Iretton, 2003)

1.2 ธรรมชาติของแบบจำลอง

ธรรมชาติของแบบจำลอง (Nature of model)

แบบจำลองเป็นหัวใจสำคัญและมีส่วนช่วยในการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ในการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยนักวิทยาศาสตร์มักใช้แบบจำลองเป็นตัวแทนของเป้าหมาย (target) เพื่ออธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ยากต่อการทำความเข้าใจมาถ่ายทอดแนวคิดเหล่านี้ให้ผู้อื่นเข้าใจง่ายขึ้น ซึ่งลักษณะทั่วไปของแบบจำลองที่สำคัญมีดังต่อไปนี้ (Grossling et al, 1991, Justi and Gilbert, 2006)

1. แบบจำลองมีความสัมพันธ์กับเป้าหมายซึ่งเป้าหมายนั้นอาจเป็นสิ่งที่ปรากฏการณ์ เหตุการณ์กระบวนการ ระบบ ข้อเท็จจริง แนวคิด ทฤษฎี กฎ โดยแบบจำลองถูกออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะกล่าวคือ นำมาใช้เป็นตัวแทนบางของปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์
2. แบบจำลองใช้การเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความชัดเจนของเป้าหมายและการเปรียบเทียบทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถเข้าถึงแบบจำลองได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การตั้งสมมติฐานจากแบบจำลองเพื่อทำนายผล ทำให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้อธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้
3. แบบจำลองมีความแตกต่างจากเป้าหมายอาจเล็กหรือใหญ่กว่าเป้าหมายก็ได้ทำให้แบบจำลองสามารถใช้ได้ง่ายกว่า เช่น หากหากเป้าหมายมีขนาดเล็กและซับซ้อน เช่น อะตอมนักวิทยาศาสตร์ก็สร้างแบบจำลองอะตอมขึ้นมา หรือกรณีเป้าหมายมีขนาดใหญ่เกินไปยากต่อการศึกษา เช่น ระบบสุริยะจักรวาล นักวิทยาศาสตร์ก็สร้างแบบจำลองของระบบสุริยะจักรวาลขึ้นมาซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแทนของเป้าหมาย
4. แบบจำลองสามารถได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นได้
5. แบบจำลองอาจแสดงลักษณะของปรากฏการณ์หรือวัตถุทั้งหมด เช่น ภาพวาดของหลอดทดลองแบบจำลองอะตอม หรือแบบจำลองอาจแสดงเพียงส่วนของปรากฏการณ์หรือวัตถุ เช่น ภาพวาดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง ภาพวาดแสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เป็นต้น
6. แบบจำลองบางชนิดจะแสดงตัวแทนของสิ่งที่เป็นามธรรมหรือเอกลักษณ์ เช่น การแสดงการไหลของพลังงาน การแสดงเวกเตอร์ของแรง พันธะเคมี เป็นต้น
7. แบบจำลองสามารถแสดงสิ่งที่เป็รูปธรรมและนามธรรมในแบบจำลองเดียว เช่น การแสดงแรงผลัก ผลักต่อได้ะเรียน

8. แบบจำลองสามารถแสดงทางระบบหรือลำดับของเอกลักษณ์ของสิ่งต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน เช่น แบบจำลองอะตอมของคาร์บอนในเพชร เป็นต้น

9. แบบจำลองสามารถแสดงแทนเหตุการณ์หรือช่วงการเกิดพฤติกรรมของระบบ เช่น แบบจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อเลือกผ่าน เป็นต้น

10. แบบจำลองสามารถแสดงกระบวนการที่มีเพียงหนึ่งองค์ประกอบหรือมากกว่า เช่น แบบจำลองแสดงการทำงานของระบบร่างกาย เป็นต้น

การจัดการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์มีการใช้แบบจำลองมากมาย ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนรู้จักแบบจำลองที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นทราบถึงธรรมชาติของแบบจำลอง ตลอดจนข้อจำกัดของแบบจำลองเหล่านั้นรวมถึงข้อซึ่งถึงบทบาทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ว่าเป็นผลของการสืบเสาะหาความรู้ทางเคมีและสามารถสร้างและทดสอบแบบจำลองด้วยตนเองได้ แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยพบว่านักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองที่หลากหลายซึ่งส่วนใหญ่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่วิทยาศาสตร์ยอมรับในหลาย ๆ ประเด็น อาทิเช่น ประเด็นที่เกี่ยวกับความหมายของแบบจำลองก็คือสิ่งที่เป็นตัวแทนของวัตถุเท่านั้น เช่น นักเรียนอธิบายว่า “เพราะวัตถุสามารถอธิบายด้วยแบบจำลอง” หรือ นักเรียนบางคนเข้าใจว่าแบบจำลองมีลักษณะเหมือนกับวัตถุของจริงทุกประการ เช่น นักเรียนอธิบายว่า “แบบจำลองไตของมนุษย์มีลักษณะคล้ายเม็ดถั่ว ซึ่งจะคล้ายกับไตมนุษย์จริง ๆ ” ซึ่งเป็นความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากแบบจำลองไม่สามารถเหมือนกับวัตถุจริงได้ทุกประการแต่อาจจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่กว่านี้ก็ได้ (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2557)

นอกจากนี้แล้วนักเรียนส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจว่าการออกแบบและการสร้างแบบจำลอง นักวิทยาศาสตร์ไม่ต้องอาศัยจินตนาการ เพราะแบบจำลองมาจากของจริง เช่น นักเรียนอธิบายว่า “เพราะการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ น่าจะมาจากข้อเท็จจริงมากกว่า” ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับเนื่องจากการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นั้น นักวิทยาศาสตร์จะเป็นผู้สร้างขึ้นโดยอาศัยความคิดของนักวิทยาศาสตร์เองในการออกแบบและสร้างแบบจำลองนั้นขึ้นมาประกอบกับหลักฐานที่น่าเชื่อถือ ในส่วนของจุดประสงค์ของการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายปรากฏการณ์ในธรรมชาติ นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจว่าแบบจำลองไม่สามารถใช้ทำนายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้ เช่น “เป็นแค่แบบจำลองอะตอม ยังไม่สามารถใช้อธิบายเหตุผลปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้” ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อยกตัวอย่าง สมการเคมีนักเรียนมักจะเข้าใจว่าสมการเคมีไม่ใช่แบบจำลอง เช่น “เพราะไม่สามารถทำให้เห็นภาพของปฏิกิริยาได้ชัดเจน” ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่สอดคล้องเนื่องจากสมการเคมีเขียนขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของกระบวนการต่าง ๆ ในธรรมชาติ ดังนั้นจึงถือว่าสมการเคมีเป็นแบบจำลองด้วย รวมถึงยังมีนักเรียนบางส่วนมีความเข้าใจว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เช่น “อนาคตอาจเปลี่ยนแปลงได้เสมอ” ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่สอดคล้อง เนื่องจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีหลักฐานใหม่ที่มาสนับสนุนแบบจำลองนั้น และมีความเข้าใจอีกว่าแบบจำลองเพียงแบบจำลองเดียวก็สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติเกิดขึ้นได้อย่างครอบคลุม ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่สอดคล้อง เนื่องจากแบบจำลองมีข้อจำกัดในการใช้ โดยแบบจำลองจะใช้ในการทำนายผลการทดลองได้ถูกต้องบางส่วนแต่ไม่ถูกต้องในทุกๆ ส่วน จึงอาจต้องใช้แบบจำลองที่หลากหลายเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้อย่างครอบคลุม

แบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองมีความสำคัญต่อวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาเคมี แบบจำลองสามารถทำให้เข้าใจแนวคิดต่างๆ ได้ง่ายขึ้น มองเห็นสิ่งที่เป็นามธรรมในแบบรูปธรรม ช่วยในการมองเห็นปรากฏการณ์ต่าง ๆ และสามารถใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ โดย จัสติและกิลเบิร์ต (Justi and Gilbert, 2006) ได้สรุปบทบาทที่สำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองในการศึกษาวิทยาศาสตร์ไว้คือ 1) เป็นตัวแทนของเอกลักษณ์ในการบรรยายปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น 2) ทำให้เอกลักษณ์ที่มีความเป็นนามธรรมมีความชัดเจนมากขึ้น 3) เป็นพื้นฐานสำหรับการตีความหมายจากผลการทดลอง 4) ทำให้คำอธิบายได้รับการพัฒนา 5) เป็นพื้นฐานที่ใช้สำหรับการทำนาย ซึ่งแบบจำลองนั้นเป็นสิ่งที่เชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์กับความจริง โดยในการสร้างแบบจำลองจะมีวัตถุประสงค์ที่เฉพาะเจาะจง แบบจำลองที่สร้างขึ้นอาจมีขนาดเล็กกว่าเป้าหมาย เช่น แบบจำลองรถไฟ หรือมีขนาดใกล้เคียงกับเป้าหมาย เช่นแบบจำลองอวัยวะของมนุษย์ หรือมีขนาดใหญ่กว่าเป้าหมายก็ได้ เช่น แบบจำลองไวรัส

1.3 ประเภทของแบบจำลองและลักษณะของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

1.3.1 ประเภทของแบบจำลอง

ชาตรี ฝ่ายคำตา (2557) ได้จำแนกประเภทของแบบจำลองออกเป็น 2 ประเภทได้ดังนี้

1. ประเภทของแบบจำลองแบ่งตามพื้นฐานของหลักภววิทยา (Ontology) หรือแบ่งตามวัตถุประสงค์และหน้าที่ของแบบจำลองที่ใช้ในการสอนและการเรียนรู้ในบทเรียนทางวิทยาศาสตร์แบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1.1 แบบจำลองทางความคิด คือแบบจำลองเฉพาะของแต่ละบุคคลที่อาจสร้างโดยตัวบุคคลหรือสร้างร่วมกันเป็นกลุ่ม

1.2 แบบจำลองที่แสดงออก คือแบบจำลองทางความคิดที่ถูกนำเสนอหรือแสดงออกให้ผู้อื่นได้รับรู้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น คำพูด ภาพวาด และท่าทาง เป็นต้น

1.3 แบบจำลองมติของกลุ่ม คือแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับภายในกลุ่ม ซึ่งแบบจำลองของแต่ละกลุ่มอาจจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การทดลอง ประสบการณ์ และการอภิปรายของแต่ละกลุ่ม

1.4 แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ คือแบบจำลองที่ได้รับการทดสอบอย่างเป็นทางการ มีการเผยแพร่ในวารสารต่าง ๆ และได้รับการยอมรับจากประชาคมวิทยาศาสตร์

1.5 แบบจำลองทางประวัติศาสตร์ คือแบบจำลองที่เคยได้รับการยอมรับว่าเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น แบบจำลองโครงสร้างอะตอมที่แสดงวิวัฒนาการของการสร้างแบบจำลอง

2. ประเภทของแบบจำลองแบ่งตามเกณฑ์ของการเป็นตัวแทนในการแสดงออกได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.1 แบบจำลองเชิงรูปธรรม คือแบบจำลองของวัตถุสามมิติเป็นตัวแทนในการอธิบาย เช่น ใช้พลาสติกเป็นตัวแทนของโมเลกุล เป็นต้น

2.2 แบบจำลองเชิงคำพูด คือ แบบจำลองคำพูดหรือภาษาในการบรรยายอธิบาย เล่าเรื่อง เปรียบเทียบหรืออุปมาอุปไมยปรากฏการณ์ต่าง ๆ

2.3 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ คือ แบบจำลองที่เป็นสัญลักษณ์ สูตร หรือสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงปริมาณ เช่น สมการของไอน์สไตน์แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานและมวลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เป็น $E = mc^2$

2.4 แบบจำลองเชิงรูปภาพ คือ แบบจำลองที่มองเห็นได้ในลักษณะสองมิติที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น กราฟ แผนผัง แผนภาพ ผังความคิด และรูปภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น

2.5 แบบจำลองเชิงลักษณะท่าทาง คือ แบบจำลองที่ใช้การเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อจำลองถึงสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น การเคลื่อนที่ของผู้เรียนรอบๆ เพื่อนเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ เป็นต้น

ความหมาย ความสำคัญและประเภทของแบบจำลองข้างต้นสรุปได้ว่าแบบจำลองคือสิ่งที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์หรือระบบความคิดที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้วิทยาศาสตร์ โดยนำแบบจำลองมาใช้ในการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน ได้แก่ สิ่งที่เป็นรูปธรรม รูปภาพ แผนภาพ คำพูด สูตร สมการเคมี และสมการทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

1.3.2 ลักษณะของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นการจัดการกิจกรรมการเรียนการสอนทางวิทยาศาสตร์ที่บูรณาการบนพื้นฐานระหว่างแนวคิดพุทธิปัญญา (Cognitive psychology) และการศึกษาวิทยาศาสตร์ (Science education) (Buckley et al, 2004) โดยมีแนวคิดหลักว่า ความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดจากปรากฏการณ์ที่ศึกษาหลังจากนักเรียนได้มีการแก้ปัญหา การลงข้อสรุปหรือการให้เหตุผล และนักเรียนจะเกิดการเรียนรู้เมื่อนักเรียนได้ใช้ความรู้เดิมบูรณาการเข้ากับสารสนเทศใหม่และได้ขยายความรู้ต่อไป

โกเบิร์ตและบัคเลย์ (Gobert and Buckle, 2002) ได้เสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองไว้ตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา
2. ครูประเมินและทบทวนแนวคิดที่นักเรียนจำเป็นจะต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อสรุปอ้างอิงแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน จากเหตุผลที่นักเรียนใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษา

3. นักเรียนลงมือสร้างแบบจำลอง ในขั้นนี้นักเรียนรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทั้งข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง หน้าที่การทำงาน พฤติกรรม และสาเหตุการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์นั้น ๆ เขียนเป็นแผนผังความคิดโดยเปรียบเทียบจากเหตุการณ์ที่คล้ายคลึงที่นักเรียนทราบ จากนั้นตรวจสอบข้อมูลแล้วจึงลงมือสร้างแบบจำลอง

4. นำแบบจำลองไปใช้และประเมิน ในขั้นนี้นักเรียนอาจจะพบว่าแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นนั้นถูกปฏิเสธ เนื่องจากใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ไม่ดีพอ นักเรียนต้องกลับไปปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลองเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ดีขึ้น

5. ขยายแบบจำลอง ในขั้นนี้นักเรียนอาจจะนำแบบจำลองเดิมไปสร้างเพิ่มเติมหรือนำไปรวมกับแบบจำลองอื่นเพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น

1.4 ทฤษฎีการเรียนรู้พื้นฐานของการจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน

1.4.1 ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์

เพียเจต์ (Piaget, 1983 อ้างถึงในทศนา แคมมณี, 2555) ได้อธิบายว่า โครงสร้างทางความคิดของบุคคลมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เป็นผลจากการที่บุคคลนั้นมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมรอบตัว โดยเพียเจต์เชื่อว่าบุคคลมีการพัฒนาเป็นลำดับขั้นตอนตามวัย ดังนี้

1. ขั้นการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัส (Sensori-motor period) เป็นขั้นพัฒนาการตั้งแต่แรกเกิดจนถึงสองปี ความคิดของเด็กขึ้นกับการรับรู้และการกระทำ

2. ขั้นก่อนปฏิบัติการคิด (Preoperational period) เป็นขั้นพัฒนาการในวัย 2 – 7 ปี เด็กยังมีการคิดที่ขึ้นอยู่กับรับรู้และการกระทำเป็นส่วนใหญ่ แต่เริ่มเรียนรู้สัญลักษณ์และการใช้เหตุผลได้บ้าง

3. ขั้นการคิดแบบรูปธรรม (Concrete operational period) ในขั้นนี้เด็กที่มีอายุระหว่าง 7 – 11 ปี ซึ่งสามารถสร้างภาพในใจ คิดย้อนกลับ เข้าใจความสัมพันธ์ของตัวเลขและสิ่งต่างๆ มากขึ้นและแก้ปัญหาเกี่ยวกับสิ่งที่เป็นรูปธรรมได้ แต่ยังไม่สามารถสร้างจินตนาการเกี่ยวกับเรื่องราวที่เป็นนามธรรมได้

4. ขั้นการคิดแบบนามธรรม (Formal operational period) เด็กในขั้นนี้มีอายุระหว่าง 11 – 15 ปี เด็กที่มีพัฒนาการในขั้นนี้สามารถคิดสิ่งที่เป็นนามธรรม คิดตั้งสมมติฐานได้ และใช้เหตุผลได้ดี ตลอดจนใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ตามแนวความคิดของเพียเจต์แสดงให้เห็นว่า กระบวนการในการเรียนรู้เป็นกระบวนการทางสติปัญญา ซึ่งเกิดจากการเรียนรู้จากกระบวนการดูดซึมข้อมูลและประสบการณ์ต่าง ๆ เข้าไปเชื่อมโยงกับโครงสร้างทางสติปัญญาเดิมเป็นเหตุให้โครงสร้างเดิมเปลี่ยนไป แต่หากบุคคลไม่สามารถปรับประสบการณ์ใหม่ให้เข้ากับประสบการณ์เดิมได้ก็จะเกิดภาวะไม่สมดุล ซึ่งบุคคลต้องใช้กระบวนการปรับโครงสร้างเพื่อปรับให้อยู่ในภาวะสมดุล

1.4.2 การจัดการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์

ในการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์ ครูควรจัดกระบวนการสอนในลักษณะ ดังนี้

1. ครูควรจัดประสบการณ์เรียนรู้ให้กับนักเรียน โดยให้สอดคล้องและเหมาะสมกับระดับพัฒนาการทางสติปัญญาของนักเรียน เช่น เด็กที่มีพัฒนาการอยู่ในขั้นการคิดรูปธรรม ประสบการณ์การเรียนรู้ควรมีลักษณะที่ให้นักเรียนได้ลงมือทำโดยใช้ของจริง (Hand-on) นอกจากนี้ไม่ควรบังคับให้นักเรียนในขณะที่ยังไม่พร้อม เพราะอาจจะทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ไม่ดีต่อการเรียน

2. ครูควรเริ่มสอนสิ่งที่ผู้เรียนมีประสบการณ์เดิมก่อนแล้วค่อยนำเสนอสิ่งใหม่ที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิมหรือสิ่งเก่า ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี

3. ครูควรจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์หลากหลายและมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมรอบตัวของผู้เรียน เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดการซึมซับข้อมูลต่างๆ เข้าสู่โครงสร้างทางสติปัญญาของตน หากสิ่งที่รับเข้าไปใหม่ทำให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญากับประสบการณ์เดิม นักเรียนต้องใช้กระบวนการปรับโครงสร้างช่วยสร้างความหมายของข้อมูลใหม่และข้อมูลเก่าให้แก่ตนเอง

1.4.3 ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง

ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) มีรากฐานมาจากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์ (Piaget) และวิกทอทสกี (Vygotsky) โดยเพียเจต์อธิบายว่าทุกคนมีการพัฒนาโครงสร้างทางสติปัญญาโดยผ่านทางกระบวนการดูดซึมและกระบวนการปรับโครงสร้างเพื่อให้สติปัญญาของคนอยู่ในสภาวะสมดุล เพียเจต์เชื่อว่า สติปัญญาของคนเราพัฒนาไปตามลำดับขั้นจากการมีปฏิสัมพันธ์และประสบการณ์กับสิ่งแวดล้อม การถ่ายทอดความรู้ทางสังคม (Social transmission) วุฒิภาวะ และกระบวนการพัฒนาความสมดุล ในขณะที่วิกทอทสกีให้ความสำคัญกับปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ภาษา และวัฒนธรรมที่มีผลต่อการเรียนรู้ การเรียนรู้เกิดจากการปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและความรู้เป็นสิ่งที่คนในสังคมร่วมกันสร้างขึ้น (ทิกนา แคมมณี, 2555)

หลักการของเพียเจต์และวิกทอทสกีจะมีลักษณะที่แตกต่างกันในเรื่องของการอธิบายว่านักเรียนสร้างความรู้อย่างไร แต่ก็ยังมีความเห็นร่วมกันเกี่ยวกับลักษณะของ Constructivism คือ นักเรียนสามารถสร้างความรู้เข้าใจในสิ่งที่เรียนรู้ด้วยตนเอง การเรียนรู้สิ่งใหม่ขึ้นกับความรู้และความเข้าใจที่มีอยู่เดิม การมีปฏิสัมพันธ์กับสังคมและวัฒนธรรมมีความสำคัญต่อการเรียนรู้ และการจัดสภาพแวดล้อมหรือกิจกรรมให้สอดคล้องกับชีวิตจริง ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย

ตามแนวคิดและทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง ความรู้เป็นสิ่งชั่วคราว มีการพัฒนาตลอดเวลา ไม่เป็นปรนัย และถูกสร้างขึ้นภายในตัวบุคคลโดยอาศัยสื่อกลางทางสังคมและวัฒนธรรม สิ่งต่าง ๆ มีความหมายขึ้นมาจากการคิดของคนที่รับรู้สิ่งนั้น สิ่งต่าง ๆ ในโลกจึงไม่มีความหมายที่ถูกต้องแต่ขึ้นกับการให้ความหมายของคนในโลก ทฤษฎีนี้จึงให้ความสำคัญกับกระบวนการและวิธีการของคนที่ใช้แปลความหมายและสร้างความรู้ความเข้าใจจากประสบการณ์เหล่านั้น การแปลความหมายของแต่ละคนจะขึ้นอยู่กับการเรียนรู้ ประสบการณ์ ความเชื่อ ความสนใจ และภูมิหลังของคนนั้นซึ่งมีความแตกต่างกัน การสร้างความรู้ความเข้าใจจึงเป็นเรื่องที่คนเราต้องใช้กระบวนการทางสติปัญญาในการจัดกระทำกับข้อมูลที่ได้รับ ทั้งนี้ความรู้ที่สร้างขึ้นสามารถเปลี่ยนแปลงและพัฒนาได้ตลอดเวลาเมื่อมีการทดสอบความรู้ความเข้าใจกับสถานการณ์ใหม่

1.4.4 การจัดการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองมุ่งเน้นการให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ มีอิสระที่จะแสดงความคิด ได้ลงมือปฏิบัติจริง ได้ทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม รวมทั้งมีการสะท้อนความคิดและผลการปฏิบัติของนักเรียน ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตามจุดเน้นดังกล่าว ครูผู้สอนจึงต้องปฏิบัติ ดังนี้ (พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์, 2544)

1. ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีประสบการณ์ตรง ลงมือปฏิบัติงาน (Hand-on) หรือทำการทดลอง (Investigation labs) ด้วยตนเอง พร้อมทั้งให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้อย่างเต็มที่

2. ส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้ความคิด (Active cognitive involvement) โดยการจัดสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้ความคิดด้วยตนเอง จัดกิจกรรมที่เน้นการคิด เช่น การตีความหมายข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการออกแบบการทดลอง เป็นต้น

3. สร้างบรรยากาศทางสังคมจริยธรรม (Sociomoral) ให้เกิดขึ้นเนื่องจากการปฏิสัมพันธ์ทางสังคมเป็นปัจจัยสำคัญของการสร้างความรู้ โดยจัดให้นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่มเพื่อให้

เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิด และประสบการณ์ระหว่างนักเรียนซึ่งจะช่วยให้การเรียนรู้ของนักเรียนกว้างขวางขึ้น

4. ควรมีการประเมินผลในลักษณะที่เป็น Goal free evaluation เป็นการประเมินตามจุดมุ่งหมายของนักเรียนแต่ละคนและการวัดผลควรใช้วิธีการที่หลากหลายโดยอาศัยบริบทจริง และควรประเมินผลที่เน้นกิจกรรมการคิดระดับสูง (Higher-level assessment)

1.5 การสร้างแบบจำลองและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

1.5.1 การสร้างแบบจำลอง (Model and modeling)

การศึกษาวานักวิทยาศาสตร์สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อย่างไรนั้น เริ่มจากงานของ จอห์นสัน ลีด (Johnson-Laird, 1980) ที่กล่าวว่ามนุษย์สร้างแบบจำลองทางความคิด (mental model) จากการใช้และการเชื่อมโยงของความคิดภายในมากกว่าการลงข้อสรุปจากสิ่งที่ตนสังเกต โดยขณะที่บุคคลกำลังแก้ปัญหา บุคคลนั้นจะสร้างแบบจำลองขึ้นมาและตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งจะเกิดกระบวนการตรวจสอบแบบจำลองและจะกำจัดแบบจำลองที่ขัดแย้งกับแบบจำลองเริ่มต้น นอกจากนี้การสร้างแบบจำลองทางความคิดก็ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา (cognitive science) ที่ว่าด้วยจิตวิทยาของกระบวนการสร้างแบบจำลอง เช่น การใช้อุปมาอุปมัย การใช้จินตนาการ เป็นต้น โดย คอลลินส์และเจนท์เนอร์ (Collins and Gentner, 1987) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางความคิดจากการใช้การอุปมาว่า เมื่อบุคคลต้องให้เหตุผลเกี่ยวกับบางสิ่งบางอย่างที่ไม่คุ้นเคย บุคคลจะใช้แผนผังเชิงอุปมาอุปมัยเพื่อสร้างแบบจำลองทางความคิดที่จะสามารถทำนายได้ว่าจะเกิดอะไรขึ้นในสถานการณ์นั้นๆ ซึ่งสิ่งที่ทราบแล้วจะเรียกว่าเป้าหมาย หรือ target แต่หากบุคคลนั้นต้องเผชิญกับสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น จะมีการแบ่งระบบเป้าหมายออกเป็นกลุ่มของแบบจำลองนั้นแสดงว่าบางครั้งการสร้างแบบจำลองทางความคิดอาจต้องใช้อุปมาอุปมัยหลายอย่างเข้าด้วยกัน ซึ่งจากทฤษฎีการเรียนรู้ต่างๆ เหล่าทำให้มีนักการศึกษาคนหนึ่งคือ Rea-Romirez, Clement and Nunez – Oviedo (2008) นำมาใช้อธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีการสร้างแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน (mental modeling theory) ซึ่งทฤษฎีนี้จะเชื่อมโยงกับการใช้เหตุผลและการแสดงตัวแทนของสิ่งที่สังเกตเห็น โดยเชื่อว่ามนุษย์สร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองขึ้นมาซึ่งเป็นเหมือนสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบหรือจำลองโลกแห่งความเป็นจริง จะเห็นได้ว่ารากฐานของทฤษฎีการสร้างแบบจำลองทางความคิดที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นมาจากแนวคิดแบบปฏิฐานนิยม (Positivism) ที่กล่าวถึงเรื่องการให้เหตุผลของมนุษย์ซึ่งอาศัยข้อมูลเชิงประจักษ์

ต่อมาเนิร์สไซซัน (Nersesain, 1990) ได้ขยายแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการสร้างแบบจำลองทางความคิดโดยนำเรื่องแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เข้ามาร่วมด้วย ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เริ่มต้นจากนักวิทยาศาสตร์จะสร้างแบบจำลองทางความคิด ซึ่งระบบทางความคิดที่แสดงตัวแทนของระบบทางกายภาพ อาจเป็นวัตถุความสัมพันธ์ พฤติกรรมหรือเหตุการณ์ต่างๆ โดยการสร้างแบบจำลองทางความคิดจะเกิดขึ้นเมื่อต้องการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบ รวมไปถึงเพื่อส่งเสริมให้เกิดทฤษฎีและจินตนาการขึ้นมาใหม่ นั้นแสดงว่าแบบจำลองทางความคิดไม่ได้มาจากการลงข้อสรุปจากข้อมูลเชิงประจักษ์เท่านั้น แต่มาจากจินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ของมนุษย์ด้วย ยกตัวอย่างเช่น จากการสังเกตและการวัดในห้องปฏิบัติการทำให้

นักวิทยาศาสตร์รู้ว่าถ้าหากมวลและความดันของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊ส (V) จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ (T) แต่การรู้นี้ไม่เท่ากับการรู้ว่า “ทำไม” แก๊สจึงมีพฤติกรรมดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์จึงสร้างแบบจำลองในระดับโมเลกุลมาอธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สซึ่งเป็นการอธิบายที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคโดยเราไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าจะเห็นได้ว่ากระบวนการสร้างแบบจำลองนั้นเกิดขึ้นหลังจากนักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองค้นคว้าจนได้สรุปเกี่ยวกับหลักการหรือกฎใหม่ๆ แล้ว โดยนักวิทยาศาสตร์จะพิจารณาว่าแบบจำลองเชิงทฤษฎีต่างๆ ที่มีอยู่นั้นสามารถอธิบายข้อสรุป หลักการ หรือกฎใหม่ๆ เหล่านี้ได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็จะปรับปรุงหรือสร้างแบบจำลองเชิงทฤษฎีขึ้นมาใหม่ ดังนั้นแบบจำลองไม่ใช่เพียงแค่ทำหน้าที่ให้นักวิทยาศาสตร์ได้เห็นภาพชัดเจน แต่ยังใช้อธิบายกระบวนการและการเปลี่ยนแปลงของสารได้ด้วย

กล่าวโดยสรุปแบบจำลอง คือ สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อใช้อธิบายแนวคิด หลักการทฤษฎีหรือกฎ ตัวแทนของวัตถุ แนวคิด กระบวนการหรือระบบ ซึ่งเป็นสิ่งที่เชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์กับความจริง โดยแบบจำลองมีความสำคัญต่อวิทยาศาสตร์ ทำให้สามารถเข้าใจแนวคิดต่างๆ ได้ง่ายขึ้น รวมไปถึงการนำไปใช้อธิบายและทำนายปรากฏการณ์ธรรมชาติและช่วยทำให้มองเห็นภาพปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งแบบจำลองสามารถแบ่งออกเป็น 8 ประเภท (Gilbert, 2005) และชาติรี ฝ่ายคำตา (2557) ได้ให้คำอธิบายเพิ่มเติมไว้ดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองทางความคิด (Mental models) เป็นแบบจำลองเฉพาะของแต่ละบุคคลที่สร้างขึ้นโดยบุคคลนั้นซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความรู้ที่อยู่ภายในจึงถือว่าเป็นแบบจำลองของบุคคล (personal model) ที่อธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติอาจมีระดับของความสอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในระดับต่างกัน

2. แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific models) เป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับจากประชาคมวิทยาศาสตร์ซึ่งแสดงความคิดเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในโลก เช่น แบบจำลองแสดงวัฏจักรของน้ำ แบบจำลอง DNA เป็นต้น แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หรือแบบจำลองแนวคิด (Conceptual models) แสดงออกมาได้หลายรูปแบบ เช่น ไดอะแกรม แผนผัง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือสมการทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองแนวคิดเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างความเข้าใจหรือการสอนเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ แต่แบบจำลองทางความคิดเป็นสิ่งที่เกิดในหัวใจของคนและเป็นส่วนผลักดันการกระทำของเขา

3. แบบจำลองประวัติศาสตร์ (Historical models) เป็นแบบจำลองที่เคยได้รับการยอมรับจากประชาคมวิทยาศาสตร์ เช่น แบบจำลองอะตอมของโบว์ เป็นต้น

4. แบบจำลองที่แสดงออก (Expressed models) เป็นการนำเสนอแบบจำลองทางคิดเพื่อสื่อสารให้ผู้อื่นรับรู้ ทำให้แบบจำลองทางความคิดชัดเจนมากขึ้น

5. แบบจำลองมติของกลุ่ม (Consensus models) เป็นแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับจากกลุ่มผู้ศึกษาเรื่องนั้นๆ เช่น แบบจำลองที่ได้จากการลงมติของผู้เรียนในชั้นเรียน เป็นต้น

6. แบบจำลองหลักสูตร (Curriculum models) เป็นแบบจำลองที่อยู่ในรูปแบบที่ง่ายขึ้น มีจุดประสงค์เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เช่น แบบจำลองแบบจุดของลิวอิส ที่ใช้แสดงโครงสร้างอะตอมและการสร้างพันธะของสาร เป็นต้น

7. แบบจำลองการสอน (Teaching models) เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจแบบจำลองหลักสูตรมากขึ้น เช่น การใช้การอุปมาอุปมัยระหว่างระบบสุริยะจักรวาลกับโครงสร้างอะตอม

8. แบบจำลองผสม (Hybrid models) เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการใช้ลักษณะของแบบจำลองหลายๆ ประเภทร่วมกัน

1.5.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การสร้างแบบจำลองของนักวิทยาศาสตร์จะสร้างแบบจำลองหลักจากการได้ทดลองค้นคว้าจนได้ข้อสรุป หลักการหรือกฎใหม่ ๆ แล้ว โดยนักวิทยาศาสตร์จะพิจารณาว่า แบบจำลองต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถอธิบายข้อสรุป หลักการหรือกฎเหล่านั้นได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็จะปรับปรุงหรือสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่ ดังนั้นในการสอนวิทยาศาสตร์ครูจึงควรให้นักเรียนได้ฝึกสร้างหรือปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อให้นักเรียนปฏิบัติหรือคิดอย่างนักวิทยาศาสตร์ โดยพยายามกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดหาแบบจำลองมาอธิบายสิ่งต่าง ๆ ถ้าอธิบายไม่ได้ก็ลองให้นักเรียนหาหรือสร้างแบบจำลองใหม่มาอธิบายซึ่งกระบวนการจัดการเรียนการสอนในลักษณะนี้เรียกว่าการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based learning) การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานได้รับอิทธิพลจากทฤษฎีการเรียนรู้ตามแนวความคิดสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (constructivism) ซึ่งมีทฤษฎีที่เป็นรากฐานสำคัญของวิธีการจัดการเรียนรู้คือ 1) ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงแนวคิด (conceptual change theory) ซึ่งเกิดมาจากทฤษฎีของเพียเจต์ (Piaget) ที่เกี่ยวกับความคิดหรือการเรียนรู้ของนักเรียนแต่ละคน (individual learning) จากการทำงานด้านวิทยาศาสตร์ของคุห์น (Kuhn) และจากการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดทางเลือกของนักเรียน 2) ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองเชิงสังคมของ Vygotsky และ 3) จิตวิทยาเกี่ยวกับแบบจำลองทางความคิด การอุปมาอุปมัย และการเปรียบเทียบ (Rea-Romirez, Clement and Nunez-Oviedo, 2008)

เงื่อนไขการเรียนรู้มีลักษณะคล้ายกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบเปลี่ยนแปลงแนวคิด โดยมีเงื่อนไขของการเรียนรู้โดยชาติรี ฝ่ายคำตา (2557) ได้ระบุไว้ดังนี้

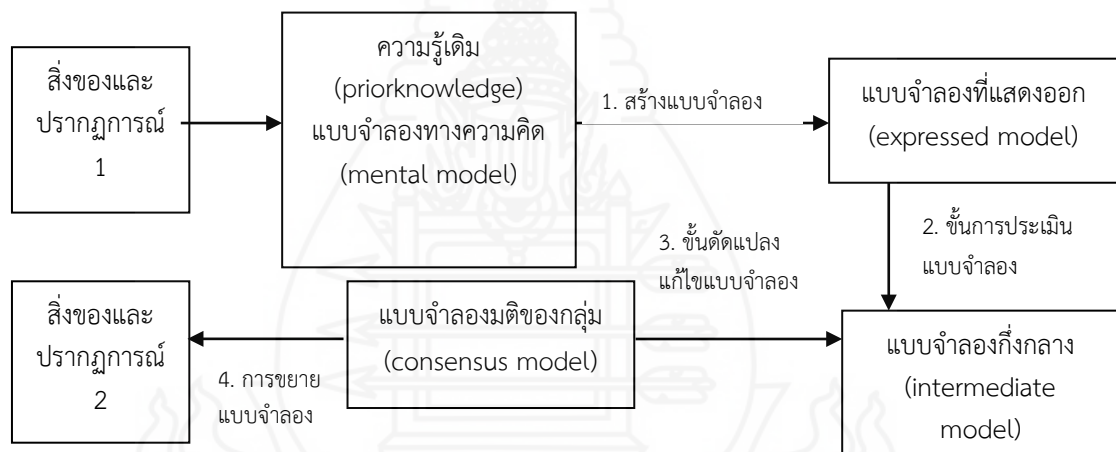
1. ความรู้เดิมถูกกระตุ้น
2. ความรู้เดิมมีความสัมพันธ์กับประสบการณ์ที่จัดให้กับนักเรียน
3. แรงกระตุ้นภายในของนักเรียนถูกพัฒนาขึ้น
4. ความรู้ใหม่ถูกสร้างขึ้น
5. ความรู้ใหม่ถูกนำไปใช้ประเมิน และปรับปรุงให้ดีขึ้น

เงื่อนไขการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถใช้อธิบายว่านักเรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้ได้ดีที่สุด เมื่อเกิดกระบวนการร่วมกันสร้าง (co-construction) เช่น การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับนักเรียน และนักเรียนกับนักเรียน เป้าหมายในการจัดการเรียนรู้จึงต้องเน้นให้นักเรียนแสดงผลและได้แสดงแบบจำลองความคิดของตนเองออกมาเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและมีการมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยสรุปแล้ววิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานถือว่าเป็นวิธีที่ให้ผู้เรียนได้สร้างแบบจำลองความคิดขึ้นมาโดยผ่านกระบวนการสร้างการใช้ การปรับปรุงแก้ไขและการขยายแบบจำลอง โดยเชื่อว่าก่อนเรียนเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ผู้เรียนจะต้องมีแบบจำลองทางความคิด ซึ่งหมายถึงความคิดหรือความรู้เดิมของผู้เรียนเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่งมาก่อนทั้งนี้ผู้เรียนแต่ละ

คนอาจมีแบบจำลองทางความคิดแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วแบบจำลองทางความคิดของผู้เรียนมักจะแตกต่างจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ครูจึงต้องพัฒนาหรือจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมเพื่อปรับเปลี่ยนแบบจำลองทางความคิดของผู้เรียนให้สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาหลายท่านได้นำเสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เช่น เรียล-โรไมร์ซ , เครเมนและนูนีซ- โอเวียโด (Rea-Romirez, Clement and Nunez-Oviedo, 2008 อ้างถึงในชาติรี ฝ่ายคำตา 2557) ได้เสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การสร้างแบบจำลอง (Generating model) การประเมินแบบจำลอง (Evaluating model) การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง (Modifying model) และการขยายแบบจำลอง (Elaborating) โดยการแสดงดังภาพที่ 2.1 และรายละเอียดต่อไปนี้

1. การสร้างแบบจำลอง (Generating model) ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงแบบจำลองความคิดของตนเองออกมาให้มากที่สุด โดยการใช้คำถามหรือกิจกรรมที่เร้าความสนใจผู้เรียนเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสังเกตและสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่ออธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติ



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

2. การประเมินและการดัดแปลงแบบจำลอง (Evaluating model) สำหรับการประเมินแบบจำลองครูกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ประเมินความสอดคล้องของแบบจำลองที่ผู้เรียนสร้างขึ้นกับหลักฐานที่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ ในขั้นนี้ควรฝึกให้ผู้เรียนได้ออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง หรือทำการศึกษาค้นคว้า ค้นหาข้อมูลเพื่อรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งผู้เรียนอาจจะศึกษาข้อมูลปรากฏการณ์ผ่านแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แล้วนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อประเมินแบบจำลองของตนเอง ผู้เรียนต้องสำรวจตรวจสอบแบบจำลองของตนเองว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่มากนักหรือไม่ เพียงใด และแบบจำลองของตนเองสามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์อื่นได้อย่างกว้างขวางเพียงใด ครูต้องพยายามส่งเสริมแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนโดยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ โดยครูและนักเรียนต้องเป็นผู้ร่วมสร้าง (co - construction) และส่งเสริมแบบจำลองทางความคิด ตัวบ่งชี้ที่

จะบอกได้ว่าแบบจำลองของนักเรียนเป็นแบบจำลองที่ผ่านการประเมินแล้วก็คือ มีการเพิ่มตัวแปรใหม่ในแบบจำลองหรือการเพิ่มตัวปรับปรุงในความสัมพันธ์ในแบบจำลองรวมถึงมีการใช้ความสัมพันธ์ในแบบจำลองเพื่ออธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นใหม่ และอาจมีการเปลี่ยนแปลงการวาดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น

3. การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง (Modifying model) ผู้เรียนจะมีการดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วสามารถอธิบายข้อมูลที่ได้อย่างถูกต้อง โดยเมื่อผู้เรียนได้ทำกิจกรรมแล้วค้นพบปรากฏการณ์ข้อเท็จจริง หลักการหรือกฎใหม่ๆ ที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองที่ตั้งไว้ก็จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองนั้น ผู้เรียนอาจจะเปรียบเทียบแบบจำลองของกลุ่มเพื่อนที่สร้างขึ้นและรวมแบบจำลองของแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองมติของกลุ่มหรือของชั้นเรียน ผู้เรียนสามารถแลกเปลี่ยนความคิดซึ่งกันและกันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ จัดว่าเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจกระบวนการสร้างแบบจำลองและการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

4. การขยายแบบจำลอง (Elaborating model) ในขั้นนี้ผู้เรียนจะใช้แบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วมาอธิบายและทำนายปรากฏการณ์อื่นๆ หรือสถานการณ์อื่น ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเชื่อและเข้าใจแบบจำลองที่ได้เรียนรู้ว่าสามารถอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์อื่นได้หรือไม่

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน คือ แบบจำลองที่ผู้เรียนสร้างขึ้นมาจากมีความคิดที่สอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และครูจะใช้แบบจำลองที่ผู้เรียนสร้างขึ้นมานี้เป็นจุดเริ่มต้นในการสนับสนุนให้เกิดการอภิปรายและปรับปรุงแก้ไข เพื่อสร้างแนวคิดใหม่ขึ้นมาอย่างช้าๆ ด้วยการใช้ยุทธวิธีต่างๆ เข้ามาช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาแบบจำลอง เช่น กิจกรรมที่ให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติ (Hands-on activities) การอุปมาอุปไมย (Analogies) สร้างสถานการณ์หรือเหตุการณ์ต่างๆ ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งกันหรือการกระตุ้นด้านภาพเคลื่อนไหวจากคอมพิวเตอร์ จนทำให้แบบจำลองที่ผู้เรียนสร้างขึ้นพัฒนาไปสู่แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

1.6 บทบาทของครูผู้สอนในการจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน

บทบาทของครูผู้สอนในการจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน สรุปรตามแนวความคิดของ ชาตรี ฝ่ายคำตา (2557) ได้ดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นบทเรียนด้วยแนวคิดที่ง่ายและสร้างประเด็นปัญหาที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจ เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดและสะท้อนความคิดออกมาและให้นักเรียนสื่อสารความเข้าใจออกมาด้วยการวาดภาพหรือการพูด
2. ล้วงแบบจำลองทางความคิดเดิมของนักเรียนโดยใช้การสัมภาษณ์สั้นๆ ใช้คำถามหรือการสาธิต เหตุการณ์ที่นักเรียนคุ้นเคยแล้วร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่าง ๆ
3. ส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนพัฒนาแบบจำลองแนวคิด โดยการใช้คำถามนักเรียนเพื่อหาความสัมพันธ์ของแนวคิดหรือการวาดรูปเพื่อแสดงการเปรียบเทียบหรืออุปมาอุปไมย
4. ส่งเสริมให้นักเรียนปรับแบบจำลองแนวคิดให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น
5. ระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูแสดงความคิดและสาธิตการเรียนรู้ การแก้ไข ปัญหา ให้นักเรียนได้เห็นและสนับสนุนให้นักเรียนแสดงปัญหาในหลายรูปแบบ

6. นักเรียนแสดงบทบาทเป็นครู แสดงการสอนหรือถ่ายทอดแนวคิดให้เพื่อนร่วมชั้นได้เข้าใจและมีการเรียนรู้แบบร่วมมือ ใช้วิธีการอ่าน เขียน อภิปราย และได้ว่าที่เพื่อส่งเสริมความสนใจ เจตคติ และความเชื่อ ของนักเรียน

7. ถามนักเรียนด้วยคำถามที่ว่าใคร ทำอะไร เมื่อไหร่ ที่ไหน ทำไม และอย่างไร เพื่อให้ นักเรียนอธิบายคำตอบทั้งที่ถูกและผิด พร้อมทั้งให้นักเรียนอธิบายแบบจำลองแนวคิด รวมปัญหาที่เกิดขึ้นและคำตอบด้วยภาษาของตนเอง

8. กระตุ้นนักเรียนด้วยคำถามเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ สร้างสมมติฐาน ค้นหาคำตอบ และ นำความรู้ไปใช้ในชีวิตจริง ให้นักเรียนเชื่อมโยงบทเรียนกับชีวิตประจำวัน

9. ใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนประเมินแบบจำลอง เช่น ลักษณะสำคัญของ แบบจำลองนี้คืออะไร เป็นต้น

บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ครูผู้สอนจะต้องทำหน้าที่ เป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองออกมา โดยการสร้างสถานการณ์หรือการใช้คำถามที่กระตุ้นให้นักเรียนคิดและอธิบายเหตุผล รวมไปถึงการแสดงออกของแบบจำลองที่หลากหลาย ทั้ง ภาพวาด คำพูด ลักษณะท่าทาง เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของตนเองให้ สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

1.7 ลักษณะและข้อจำกัดของแบบจำลอง

ลักษณะและข้อจำกัดของแบบจำลองมีลักษณะที่สำคัญดังที่ กิลเบิร์ตและอีริตัน (Gilbert and Ireton, 2003) เสนอไว้ดังนี้

1. ไม่เป็นของจริง (Artificial) เพราะแบบจำลองทุกชนิดเป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสิ่งอื่น ๆ ซึ่งคำว่าไม่เป็นของจริงในที่นี้ไม่ได้หมายความว่า เป็นของปลอม

2. คำนึงถึงประโยชน์เป็นหลัก (Utilitarian) แบบจำลองถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ บางอย่าง กล่าวคือมักจะใช้เป็นตัวแทนบางส่วนของเป้าหมายแทนที่จะใช้เป็นตัวแทนของเป้าหมาย ทั้งหมด เช่น แบบจำลองของโลกจะใช้ประโยชน์เพื่ออธิบายลักษณะทางภูมิศาสตร์แต่จะไม่ใช้เพื่อศึกษา กระบวนการทางธรณีวิทยา เป็นต้น

3. ง่าย (Simplified) แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นจะต้องมีกระบวนการสร้างแบบง่าย ๆ ไม่ ซับซ้อนและมีข้อมูลหรือรายละเอียดน้อยกว่าเป้าหมาย

4. ต้องตีความหมาย (Interpreted) แบบจำลองจะต้องตีความหมายเพื่อทำความเข้าใจ ในสิ่งที่เป้าหมาย การตีความหมายของแบบจำลองจะยากง่ายไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับประเภทของ แบบจำลอง

5. มีความไม่สมบูรณ์ (Imperfect) แบบจำลองทุกชนิดจะไม่มี ความสมบูรณ์ในการเป็น ตัวแทนของเป้าหมาย เนื่องจากมีเฉพาะเป้าหมายเท่านั้นที่ถือว่าสำคัญที่สุด

2. การจัดการเรียนรู้วิชาเคมี

2.1 ธรรมชาติของวิชาเคมี

แนวคิดเกี่ยวกับธรรมชาติของวิชาเคมี ชาตรี ฝ่ายคำตา (2560) ได้อธิบายไว้ว่า เคมีเป็นการศึกษาและการอธิบายลักษณะของสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสารในเชิงคุณภาพ ในขณะที่ฟิสิกส์เป็นการอธิบายลักษณะทางกายภาพของสิ่งต่าง ๆ ในเชิงปริมาณหรือตัวเลขทางคณิตศาสตร์ สำหรับชีววิทยาเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการจัดจำแนกหรือจัดประเภทของสิ่งมีชีวิต เคมีมีความเฉพาะเจาะจงในเนื้อหาที่เน้นศึกษาเกี่ยวกับสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร ดังนั้นในการอธิบายสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสารจึงมีลักษณะที่แตกต่างกับสาขาอื่น โดยมักมีการอธิบายปรากฏการณ์ใน 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (Macroscopic level) ระดับจุลภาค (Sub-microscopic level) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level)

การอธิบายระดับมหภาค คือ การอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของสสารที่สังเกตได้ เช่น การอธิบายว่าเกิดอะไรขึ้นเมื่อเติมเกลือลงในน้ำ นักเคมีมักเริ่มต้นจากการอธิบายสสารโดยใช้สมบัติที่สังเกตได้ก่อน เช่น สถานะ อุณหภูมิ ความดัน ค่า pH เป็นต้น สมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติที่สามารถเห็นและวัดได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือแม้แต่ในชีวิตประจำวัน

การอธิบายระดับจุลภาค คือ การอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของสสารที่ไม่สามารถสังเกตได้ เช่น การอธิบายว่าโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำอย่างไร นักเคมีจึงพัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายเชิงเหตุและผลของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยการอธิบายดังกล่าวเป็นการอธิบายสมบัติและกระบวนการของสสารในระดับอนุภาค

การอธิบายระดับสัญลักษณ์ คือ การอธิบายโดยใช้สัญลักษณ์ทางเคมีเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการอธิบายระดับมหภาคและระดับจุลภาค สัญลักษณ์ทางเคมีอาจจะเป็นสัญลักษณ์ของธาตุ สมการเคมี สูตรโมเลกุล แบบจำลองอะตอมหรือสัญลักษณ์อื่น ๆ ที่แทนสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร เช่น การใช้สมการเคมีเพื่ออธิบายการละลายของเกลือที่เกิดขึ้น

นักเคมีอธิบายความรู้ทางเคมีโดยใช้แบบจำลองแนวคิด (Conceptual model) ที่แสดงทางความคิดเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในโลก ซึ่งแสดงออกมาได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นไดอะแกรม แผนผัง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สมการทางคณิตศาสตร์ ภาษาหรืออาจใช้เป็นสัญลักษณ์เฉพาะ เช่น สูตรเคมีของสารประกอบ นอกจากนี้ นักเคมียังเปลี่ยนรูปแบบการนำเสนอแบบจำลองแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อเน้นสมบัติเฉพาะ

การสร้างแบบจำลองและตัวแทนทางความคิดเป็นลักษณะเฉพาะของเคมีและเป็นศาสตร์ของจินตภาพหรือจินตทัศน์ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้เห็นว่าจินตทัศน์มีบทบาทสำคัญมากต่อการทำงานของนักเคมีในปัจจุบัน โดยเมื่อนักเคมีศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกี่ยวกับอะตอม โมเลกุล หรืออนุภาคต่าง ๆ นักเคมีมักจะพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้เป็นตัวแทนอนุภาคเหล่านั้น เช่น แบบจำลองอนุภาค โครงสร้างสารเคมี สูตรเคมี สมการ สัญลักษณ์ เป็นต้น และนักเคมีมักใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของสสารในระดับอนุภาค เช่น การแสดงสมการเคมีเพื่ออธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

วิธีการทางเคมีประกอบด้วย 3 วิธี ได้แก่ การจัดจำแนก ปฏิบัติการเคมี และแนวคิดทางเคมี (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560)

1. การจัดจำแนก เป็นวิธีที่ใช้มาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยนักเคมีจัดจำแนกสารสิ่งของ หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา เช่น การจัดจำแนกสารเป็นสารเนื้อเดียว สารเนื้อผสม การจัดธาตุตามตารางธาตุ การจำแนกปฏิกิริยาออกเป็นปฏิกิริยาที่เกิดสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ โดยจะเห็นว่านักเคมีในอดีตมักสนใจศึกษาและจัดจำแนกสารบริสุทธิ์หรือสารละลายมากกว่าสารผสมที่พบในธรรมชาติ ทั้งนี้เพราะการศึกษาสิ่งเหล่านั้นเป็นตัวแทนที่เกิดจากการทำให้สิ่งที่ซับซ้อนในธรรมชาติกลายเป็นสิ่งที่ง่ายขึ้น

2. ปฏิบัติทางเคมี คือ การทำการทดลองหรือการใช้เครื่องมือเพื่อศึกษาสารและปฏิกิริยาของสารรวมทั้งการสังเคราะห์เช่น การสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ การใช้เครื่องมือสเปกโตรสโกปีเพื่อหาปริมาณของสาร เป็นต้น

3. แนวคิดทางเคมี เป็นการใช้ภาพและแบบจำลองในลักษณะต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นตัวแทนอธิบายและทำนายพฤติกรรมของสาร เช่น นักเคมีจะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบจำลองของสารประกอบอินทรีย์เพื่อทำนายกลไกของปฏิกิริยาและทำนายว่าหากนำสารบางชนิดมาทำปฏิกิริยากันจะเกิดกลไกอย่างไรและได้สารผลิตภัณฑ์ใด เป็นต้น

2.2 ลักษณะของการจัดการเรียนรู้เนื้อหาเคมี

การจัดการเรียนรู้ของผู้เรียนในเนื้อหาเคมีจำเป็นต้องให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมและเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองด้วยการสืบค้นข้อมูลและการสำรวจตรวจสอบ ผู้จัดการเรียนรู้จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาสาระตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน ด้วยการวิเคราะห์หลักสูตรเพื่อกำหนดเป็นแนวคิดของพฤติกรรมที่ต้องการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เพื่อนำไปสู่การจัดการเรียนการสอนได้ ลักษณะของการจัดการเรียนรู้เนื้อหาเคมี ประกอบด้วยลักษณะดังต่อไปนี้ (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560)

1. การสำรวจตรวจสอบ

โดยทั่วไปเมื่อผู้เรียนเกิดมาก็พร้อมที่จะเป็นนักสำรวจตรวจสอบ ศึกษา เรียนรู้ คิด สร้างแนวคิดของตนเองเกี่ยวกับโลกรอบๆ ตัว เนื้อหาวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะเนื้อหาเคมีจึงมีส่วนช่วยให้ผู้เรียนได้เกิดแนวคิดของตนเองผ่านการสำรวจตรวจสอบ ด้วยความอยากรู้อยากเห็นเกี่ยวกับโลกรอบๆ ตัวและสร้างความรู้ของตนเองรวมทั้งสร้างแนวทางและวิธีปฏิบัติ ด้วยแนวคิดเหล่านี้การจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนจึงต้องเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ให้ได้เห็นการเปลี่ยนแปลง ได้บันทึกผลการสังเกตอย่างเป็นระบบและลงข้อสรุปเพื่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ ดังนั้นในการเรียนรู้ของผู้เรียนจึงควรประกอบด้วยการสังเกตเพื่อรวบรวมข้อมูลหลังการสังเกต และใช้กระบวนการที่เหมาะสมในการแปลผลข้อสรุปเพื่อสร้างเป็นองค์ความรู้ การสร้างองค์ความรู้และกระบวนการเรียนรู้จึงต้องเชื่อมโยงระหว่างความสนใจกับประสบการณ์เดิมของผู้เรียนให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสอดคล้องกัน

ในการสร้างความเชื่อมโยงระหว่างความสนใจและประสบการณ์เดิมของผู้เรียนจะต้องส่งเสริมการเรียนรู้ที่เป็นลักษณะของการบูรณาการให้เป็นไปอย่างเท่าเทียมกันในทุกด้าน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและเป็นไปตามศักยภาพของผู้เรียน การจัดการเรียนการสอนวิชาเคมีควรคำนึงถึงประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.1 เนื้อหาสาระที่สอดคล้องกับความสนใจและความต้องการของผู้เรียนและมีความเพียงพอต่อการพิจารณาในด้านต่าง ๆ ของผู้เรียน

1.2 มีกระบวนการและวิธีการที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในทุกด้าน

1.3 มีการเชื่อมโยงกับชีวิตจริง ทำในลักษณะของการประยุกต์ใช้และการขยายกรอบความรู้ความเข้าใจให้กว้างขวางยิ่งขึ้น

1.4 การวัดประเมินผลที่สนองตอบจุดมุ่งหมายและสามารถประเมินความรู้ความเข้าใจและการพัฒนาการของผู้เรียนอย่างแท้จริง

2. การสืบเสาะหาความรู้

การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้มีลักษณะสำคัญ 5 ประการที่จำเป็นต้องคำนึงถึงและใช้เป็นแบบในการจัดการเรียนการสอน ถึงแม้ว่าบางลักษณะจำเป็นต้องปรับปรุงในกิจกรรมการเรียนการสอนเสมอในแต่ละกิจกรรมแต่ก็ไม่ได้แสดงไว้อย่างชัดเจนว่าจะต้องปรากฏอยู่ที่ใดเพียงแต่จะต้องมีทุกบทเรียนเท่านั้นตามความเหมาะสมและความจำเป็น ดังนี้

2.1 ผู้เรียนจะต้องได้รับการกระตุ้นด้วยคำถามหรือปัญหาที่สามารถค้นได้ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ คำถามที่สามารถสำรวจตรวจสอบได้ โดยผู้เรียนค้นคว้าขึ้นมาจากวิธีที่หลากหลาย โดยทั่วไปแล้วผู้สอนจะให้โอกาสผู้เรียนด้วยการเชื้อเชิญให้ผู้เรียนตั้งคำถามเพื่อที่จะแสดงถึงปรากฏการณ์หรือให้ผู้เรียนได้เกิดการสำรวจตรวจสอบวัตถุ สาร หรือกระบวนการ

2.2 ผู้เรียนต้องได้รับโอกาสให้ได้แสดงความพยายามและจะตอบคำถามปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยได้จากการออกแบบหรือการดำเนินการสำรวจตรวจสอบ การสังเกตการณ์สาธิตของผู้สอน การเก็บรวบรวมสิ่งของ การสำรวจส่วนประกอบของวัตถุต่าง ๆ หรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้อาจมาจากหนังสือหรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่ค้นคว้ามาก็ได้

2.3 ผู้เรียนได้ค้นหาคำอธิบายหรือคำตอบปัญหาที่มี โดยอยู่บนพื้นฐานของปรากฏการณ์ที่เก็บรวบรวมไว้ได้ คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะให้หลักการสำหรับผลที่เกิดขึ้นและความสัมพันธ์ที่ค้นหานั้นบนพื้นฐานของปรากฏการณ์และข้อโต้แย้งที่เป็นเหตุเป็นผลสำหรับผู้เรียน และคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะอยู่บนพื้นฐานความรู้ได้ด้วยเพื่อค้นหาความรู้ใหม่บนพื้นฐานความรู้ความเข้าใจที่เกิดขึ้น

2.4 ผู้เรียนได้ประเมินผลคำตอบที่ได้ ผู้เรียนจะต้องพิจารณาคำถามในประเด็นต่อไปนี้ คือ มีคำอธิบายที่เป็นไปได้ของข้อมูลหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหรือไม่ มีข้อสรุปที่ไม่ชัดเจนและไม่ถูกต้องหรือไม่

2.5 ผู้เรียนได้นำเสนอการสื่อสารได้คิดค้นคำอธิบายที่ต้องการเสนอ การได้แลกเปลี่ยนคำอธิบายหรือข้อสรุปจะช่วยให้ผู้เรียนได้มองเห็นถึงความถูกต้องความเป็นไปได้หรือความเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นกับการทดลองเรื่องราวหรือเนื้อหาสาระอื่น ๆ รวมทั้งการประมวลความรู้เพื่ออธิบายความรู้หรือปรากฏการณ์อื่นด้วย

สามารถสรุปได้ว่าลักษณะของการจัดการเรียนรู้เนื้อหาเคมีที่สำคัญประกอบด้วย 2 ประการ คือ การสำรวจตรวจสอบและการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งเป็นลักษณะของการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยใช้วิธีการและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ทั้งความรู้ กระบวนการและเจตคติไปพร้อม ๆ กันด้วย

2.3 การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานในวิชาเคมี

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาหลายท่านได้นำเสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดนใช้แบบจำลองเป็นฐาน เช่น Rea-Romirez, Clement และ Nunez-Oviedo (2008) ได้เสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลองซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การสร้างแบบจำลอง (Generating model) การประเมินแบบจำลอง (Evaluating model) การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง (Modifying model) และการขยายแบบจำลอง (Elaborating) โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. การสร้างแบบจำลอง (Generating model) ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสดงแบบจำลองความคิดของตนเองออกมาให้มากที่สุด โดยการใช้คำถามหรือกิจกรรมที่เร้าความสนใจผู้เรียนเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนสังเกตและสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่ออธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติ เช่น ครูอาจให้นักเรียนลองสังเกตการณ์การเดือดของน้ำในภาชนะที่มีฝาปิด ซึ่งผู้เรียนอาจสังเกตว่าเมื่อให้ความร้อนมาก จะพบว่าฝาของภาชนะจะขยับมากขึ้น จากเหตุการณ์นี้ครูอาจใช้คำถามเพื่อกระตุ้นผู้เรียนว่าทำไมจึงเป็นเช่นนั้น พร้อมให้ผู้เรียนวาดภาพจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น

2. การประเมินและการดัดแปลงแบบจำลอง (Evaluating model) สำหรับการประเมินแบบจำลองครูกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ประเมินความสอดคล้องของแบบจำลองที่ผู้เรียนสร้างขึ้นกับหลักฐานที่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ ในขั้นนี้ควรฝึกให้ผู้เรียนได้ออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง หรือทำการศึกษาค้นคว้าค้นหาข้อมูลเพื่อรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งผู้เรียนอาจจะศึกษาข้อมูลปรากฏการณ์ผ่านจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แล้วนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อประเมินแบบจำลองของตนใน ขั้นที่ 1 (การสร้างแบบจำลอง) ผู้เรียนต้องสำรวจตรวจสอบแบบจำลองของตนมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่อย่างน้อยเพียงใดและแบบจำลองของตนสามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์อื่นได้อย่างกว้างขวางเพียงใด ครูต้องพยายามส่งเสริมแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนโดยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ โดยครูและนักเรียนต้องเป็นผู้ร่วมสร้าง (Co - construction) และส่งเสริมแบบจำลองทางความคิด ตัวบ่งชี้ที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองของนักเรียนเป็นแบบจำลองที่ผ่านการประเมินแล้วก็คือ มีการเพิ่มตัวแปรใหม่ในแบบจำลองหรือการเพิ่มตัวปรับปรุงในความสัมพันธ์ในแบบจำลองรวมถึงมีการใช้ความสัมพันธ์ในแบบจำลองเพื่ออธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นใหม่ และอาจมีการเปลี่ยนแปลงการวาดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น

3. การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง (Modifying model) ผู้เรียนจะมีการดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วสามารถอธิบายข้อมูลที่ได้อย่างถูกต้อง โดยเมื่อผู้เรียนได้ทำกิจกรรมแล้วค้นพบปรากฏการณ์ข้อเท็จจริง หลักการหรือกฎใหม่ๆ ที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองที่ตั้งไว้ก็จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองนั้น ผู้เรียนอาจจะเปรียบเทียบแบบจำลองของกลุ่มเพื่อนที่สร้างขึ้นและรวมแบบจำลองของแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองมติของกลุ่มหรือของชั้นเรียน ผู้เรียนสามารถแลกเปลี่ยนความคิดซึ่งกันและกันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ จัดว่าเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจกระบวนการสร้างแบบจำลองและการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

4. การขยายแบบจำลอง (Elaborating model) ในขั้นนี้ผู้เรียนจะใช้แบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไขแล้วมาอธิบายและทำนายปรากฏการณ์อื่นๆ หรือสถานการณ์อื่น ซึ่งจะทำให้นักเรียนเชื่อและเข้าใจแบบจำลองที่ได้เรียนรู้ว่าสามารถอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์อื่นได้หรือไม่

สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานในวิชาเคมี ในการจัดการเรียนการสอนจะต้องจัดตามลำดับขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองเพื่อให้ผู้เรียนเกิดจินตนาการในการออกแบบแบบจำลองทางความคิดและสามารถนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปใช้อธิบายหรือขยายผลในเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์อื่นๆ ในชีวิตประจำวันได้

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

3.1 ความหมายและขอบเขตของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์

3.1.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นคุณลักษณะเกี่ยวกับความรู้ความสามารถของบุคคลที่เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านต่างๆ จากการได้รับมวลประสบการณ์ซึ่งเป็นผลจากการเรียนการสอนมีผู้กล่าวถึง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไว้แตกต่างกัน ดังนี้

ทบวงมหาวิทยาลัย (2525) กล่าวถึง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ด้านเนื้อหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2544) และกระทรวงการศึกษาศึกษา ได้ปรับปรุงหลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ ให้เอื้อต่อการพัฒนาความสามารถของนักเรียน โดยยึดจุดประสงค์ดังนี้ (กรมวิชาการ, 2546)

1. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีขั้นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะขอบเขต และวงจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะในการศึกษาค้นคว้าด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อให้มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์
5. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

และอิทธิพลของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่อมวลมนุษย์และสภาพแวดล้อม

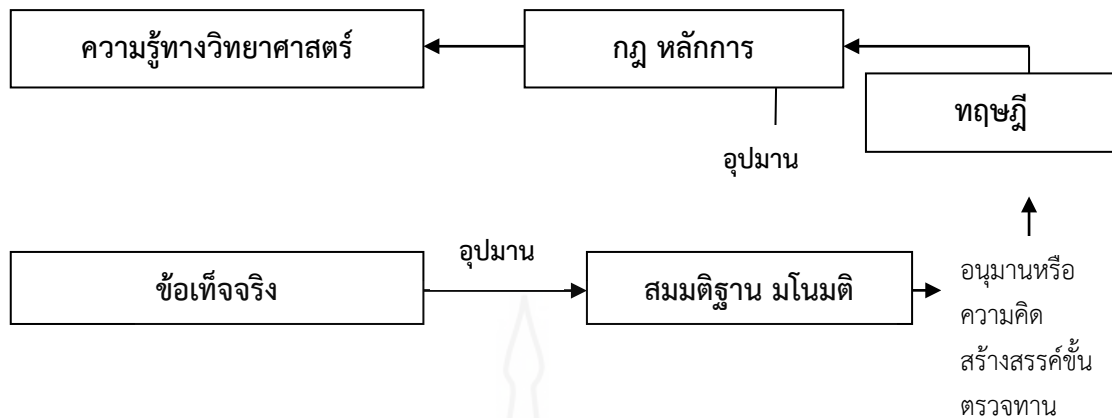
6. เพื่อสามารถนำความรู้ ความเข้าใจในเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้ประโยชน์ต่อสังคมและพัฒนาคุณภาพชีวิต

3.1.2 ขอบเขตของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์

1. องค์ประกอบของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

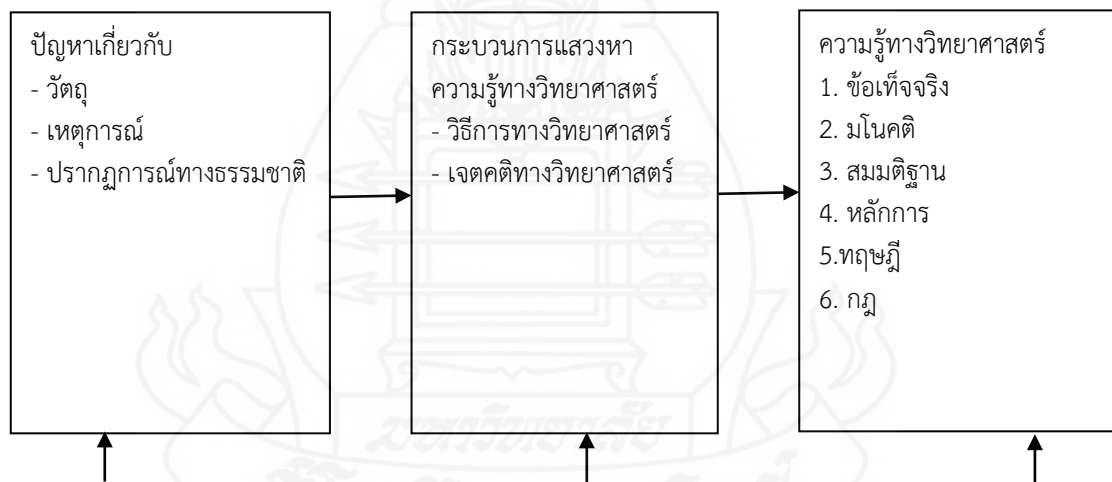
สมจิตร สวธนไพบุลย์ (2535) ได้เสนอไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่เป็นตัวความรู้ (body of knowledge) ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้แก่ ข้อเท็จจริง (fact) มโนคติ (concept) หลักการ (principle) กฎ (law) ทฤษฎี (theory) และ สมมติฐาน (hypothesis) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของความรู้ทางวิทยาศาสตร์

2. ส่วนที่เป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ (process of scientific inquiry) เป็นกระบวนการคิดและทำงานอย่างมีระบบการค้นหาคำตอบ ข้อเท็จจริงต่างๆ จากสถานการณ์ที่อยู่รอบตัวเราด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ มี 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนปัญหา ขั้นตอนสมมติฐาน ขั้นรวบรวมข้อมูลจากการสังเกต ทดลอง และขั้นสรุปผลและการนำไปใช้ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2. พฤติกรรมที่ใช้ในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

ประวิตร ชูศิลป์ (2524) กล่าวว่า การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ผู้เรียนได้รับเนื้อหาความรู้และกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์จะต้องวัดทั้งสองส่วน ดังนั้นในการประเมินสามารถจำแนกพฤติกรรมในการวัด เป็น 4 พฤติกรรมดังนี้

1. ด้านความรู้ – ความจำ หมายถึง ความสามารถในการระลึก นำสิ่งที่เรารู้มาแล้วเกี่ยวกับข้อเท็จจริง ข้อตกลง คำศัพท์ มโนมติ หลักการ กฎ และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

2. ความเข้าใจ หมายถึง ความสามารถในการอธิบายความหมาย ขยายความ ตีความ และการแปลความหมายโดยอาศัยข้อเท็จจริง ข้อตกลง คำศัพท์ มโนคติ หลักการ กฎ และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

3. ด้านการนำไปใช้ หมายถึง ความสามารถในการนำความรู้ และนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ ที่แตกต่างจากที่เคยเรียนรู้มาแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

4. ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการสืบเสาะหาความรู้ โดยผ่านการปฏิบัติและการฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบจนเกิดความชำนาญสามารถเลือกใช้กิจกรรมต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

สมบุรณ์ ชิตพงษ์ และคนอื่นๆ (2540) กล่าวว่า การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง 3 ด้านคือ

1. ด้านความคิด (COGNITIVE) เป็นความสามารถทางสมอง ด้านความคิด (THINKING) เกี่ยวกับการสิ่งต่างๆ ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่แยกย่อยเป็น 6 ชั้น คือ

1.1 ความรู้ความจำ (MEMORY) เป็นความสามารถในการทรงไว้ รักษาไว้ซึ่งมวลประสบการณ์ต่างๆ ที่ในชีวิตได้รับรู้มา

1.2 ความเข้าใจ (COMPERHENSION) เป็นความสามารถ ในการแปลความตีความ และขยายความในเรื่องราวและเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชีวิต

1.3 การนำไปใช้ (APPLICATION) เป็นความสามารถในการนำประสบการณ์ที่ได้รับ มาไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นใหม่ในชีวิต

1.4 การวิเคราะห์ (ANALYSIS) เป็นความสามารถในการจับใจความสำคัญ และการหาความสัมพันธ์ และหลักการของสิ่งของ เรื่องราว เหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น

1.5 การสังเคราะห์ (SYNTHESIS) เป็นความสามารถด้านความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ เรื่องราวต่างๆ ขึ้นมาใหม่ โดยใช้สิ่งเดิมมาดัดแปลงและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม

1.6 การประเมินค่า (EVALUATION) เป็นความสามารถในการตัดสินประเมินค่าและสรุปในเรื่องราวต่างๆ

2. ด้านความรู้สีก (AFFECTIVE DOMAIN) สามารถแยกเป็นคุณลักษณะที่เข้าใจได้ง่ายๆ ได้แก่ ความสนใจ ความซาบซึ้ง เจตคติค่านิยม และการปรับตัวเป็นท่าทีที่มีต่อสิ่งต่างๆ โดยแบ่งเป็น 5 ชั้น คือ

2.1 การรับรู้ (RECEIVING) เป็นความสามารถจับไว้ในสิ่งที่รับรู้ต่อสิ่งเร้าต่างๆ

2.2 การตอบสนอง (RESPONDING) เป็นปฏิกิริยาต่อสิ่งเร้า ด้วยความรู้สีกที่ยินยอม เต็มใจและพอใจ

2.3 การสร้างคุณค่า (VALUING) เป็นการแสดงออกซึ่งความรู้สีกมีส่วนร่วมต่อสิ่งต่างๆ ตั้งแต่การยอมรับ นิยมชมชอบ และเชื่อถือในสิ่งนั้น

2.4 การจัดระบบ (ORGANIZATION) เป็นการสร้างความคิดรวบรวมของคุณค่าที่มี อยู่แล้วให้เป็นระบบโดยอาศัยความสำคัญของคุณค่าในสิ่งยึดถือ

2.5 การสร้างลักษณะนิสัย (CHARACTERIZATION) เป็นการจัดคุณค่าที่มีอยู่แล้วให้เป็นระบบแล้วยึดถือเป็นลักษณะนิสัยประจำตัวบุคคล

3. ด้านทักษะ (PSYCHOMOTOR DOMAIN) เป็นทักษะในการปฏิบัติมี 3 ชั้น คือ

3.1 การเลียนแบบ (IMITATION) เป็นการลอกทำตามแบบที่สนใจ

3.2 การทำตามแบบ (MANIPULATION) เป็นการลงมือทำตามแบบที่สนใจ

3.3 การหาความถูกต้อง (PRECISION) เป็นการตัดสินใจเลือกทำสิ่งที่เห็นว่าถูกต้อง

3.4 การทำอย่างต่อเนื่อง (ARTICULATION) เป็นการกระทำสิ่งที่ถูกต้องอย่างจริงจัง

3.5 การทำโดยธรรมชาติ (NATURALIZATION) เป็นการปฏิบัติจนเกิดทักษะ

สามารถปฏิบัติได้โดยอัตโนมัติและเป็นธรรมชาติ

สรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นคุณลักษณะด้านความรู้ความสามารถ มวลประสบการณ์ของบุคคลที่ได้รับจากการเรียนการสอน การฝึกอบรม หรือการทำกิจกรรมต่างๆ ผู้วิจัยจึงสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ให้ครอบคลุมทั้งในส่วนของเนื้อหาความรู้และกระบวนการแสวงหาความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานเรียนรู้

3. การวัดผลและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 มาตรา 26 ให้สถานศึกษาจัดการประเมินผู้เรียนโดยพิจารณาพัฒนาการของผู้เรียนความประพฤติ การสังเกตพฤติกรรมการเรียน การร่วมกิจกรรม และการทดสอบควบคู่ไปในกระบวนการเรียนการสอนตามความเหมาะสมของแต่ละระดับ และรูปแบบการจัดการศึกษาให้สถานศึกษาใช้วิธีการที่หลากหลายในการจัดสรรโอกาสการเข้าการศึกษาต่อ และนำผลการประเมินผู้เรียนมาใช้ประกอบการพิจารณาด้วย (กระทรวงศึกษาธิการ, 2546)

4. ระบบการวัดผลประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

การวัดผลประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2546) มีกระบวนการทำงานอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนที่เริ่มจากการกำหนดจุดมุ่งหมายด้านต่างๆ ซึ่งอาจประกอบด้วย ความรู้ความคิด กระบวนการเรียนรู้ เจตคติและโอกาสในการเรียนรู้ ต่อจากนั้นจึงกำหนดวิธีการวัดประเมินผลที่หลากหลายทั้งการประเมินจากการทดสอบด้วยข้อสอบ และการประเมินตามสภาพจริงจากการปฏิบัติงานและผลงานของผู้เรียน ทั้งนี้จะต้องกำหนดเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ได้อย่างเที่ยงตรง การวัดผลประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน เป็นการประเมินตามสภาพจริงมากกว่าการประเมินจากการทดสอบด้วยข้อสอบ เนื่องจากการประเมินตามสภาพจริงช่วยสะท้อนถึงสมรรถภาพของผู้เรียนได้ครอบคลุมทุกด้าน

การประเมินตามสภาพจริง เป็นการประเมินจากการลงมือปฏิบัติจริงของผู้เรียน และเชื่อมโยงการเรียนรู้กับชีวิตและสังคม ซึ่งผู้เรียนได้แสดงออกถึงความรู้ ความสามารถ กระบวนการคิดและความรู้สึก การประเมินตามสภาพจริงจะเปิดโอกาสให้ผู้เรียน ได้มีส่วนร่วมการประเมินผลงานของตนเอง และใช้วิธีการประเมินอย่างหลากหลายตามสถานการณ์ที่เป็นจริง โดยการกระทำอย่างต่อเนื่อง การประเมินตามสภาพจริงมีดังนี้

1. เน้นการพัฒนาตนเอง

2. ให้ความสำคัญกับการพัฒนาจุดเด่นของผู้เรียน

3. เน้นการวัดพฤติกรรมของผู้เรียนที่แสดงออกเป็นสำคัญ
4. เน้นคุณภาพของผลงานที่ได้จากการบูรณาการความรู้และทักษะ
5. มีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตามบริบทของผู้เรียนทั้งที่บ้าน สถานศึกษาและชุมชน

ชน

6. สนับสนุนการมีส่วนร่วมและมีความรับผิดชอบร่วมกัน มีการชื่นชมต่อการปฏิบัติงานและผลงาน ส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนรู้อย่างมีความสุข

7. กระทำไปพร้อมกับการเรียนรู้ของผู้เรียน ตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อสร้างความเชื่อมโยงการเรียนรู้สู่ชีวิตจริง

8. เน้นการวัดความสามารถในการคิดระดับสูงโดยใช้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ในการสังเคราะห์อธิบาย ตั้งสมมติฐาน สรุป และแปลผล

การประเมินสมรรถภาพของผู้เรียนเป็นการประเมินที่จะต้องกระทำอย่างหลากหลายวิธีการเพื่อให้ได้ผลการประเมินครอบคลุมทั้งด้านความรู้ความคิด กระบวนการเรียนรู้ เจตคติ และโอกาสการเรียนรู้ ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมการเรียนรู้ และแสดงออกตามความสนใจ ความถนัดและความชอบ การประเมินสมรรถภาพของผู้เรียนจะมีการทดสอบด้วยข้อสอบอยู่เป็นส่วนหนึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นการประเมินพฤติกรรมทุกด้านของผู้เรียน เพื่อให้ได้ข้อสนเทศเกี่ยวกับผู้เรียนมากที่สุด สะท้อนถึงความรู้ความเข้าใจ ทักษะกระบวนการ การแก้ปัญหา ความคิดระดับสูง คุณลักษณะอันพึงประสงค์ ความรอบรู้หรือพหุปัญญา รวมทั้งการพัฒนาการทางร่างกายและจิตใจ

การประเมินสมรรถภาพของผู้เรียนต้องมีการวางแผน เตรียมการ และใช้การประเมินในรูปแบบที่ไม่เป็นทางการ ภารกิจที่สำคัญที่ต้องเตรียมการวางแผน เตรียมการ และใช้การประเมินในรูปแบบที่ไม่เป็นทางการ ภารกิจที่สำคัญที่ต้องเตรียมการวางแผนให้รอบคอบ ได้แก่

1. วิธีการวัดและประเมินผล ประกอบด้วย กิจกรรมของผู้เรียนเป็นส่วนสำคัญ กิจกรรมควรมืออย่างหลากหลาย เพื่อให้ผู้เรียนได้เลือกตามความสามารถ ความถนัด ความสนใจ และนำมาทดแทนกันได้ เนื่องจากการประเมินด้วยวิธีเดียวจะไม่สามารถประเมินผลสมรรถภาพของผู้เรียนได้ครอบคลุมทุกด้าน

2. เกณฑ์การประเมินผลและแบบบันทึก ต้องสร้างขึ้นให้สอดคล้องกับวิธีการประเมินเกณฑ์การประเมินที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยให้ผลการประเมินเป็นที่น่าเชื่อถือ โดยเกณฑ์การประเมินผลและแบบบันทึกมีลักษณะที่ชัดเจน ใช้สะดวก รวบรวมข้อมูลได้อย่างครอบคลุมตามจุดประสงค์ และสื่อความหมายให้ผู้อื่นได้รับรู้และเข้าใจตรงกัน

3. การแปลความหมายผลการประเมิน ต้องมีแนวทางหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการลงสรุปข้อมูล เพื่อจำแนกคุณภาพของงานหรือความสามารถของบุคคลตามผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เป้าหมายและแนวปฏิบัติของการวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มีเป้าหมายและแนวปฏิบัติเช่นเดียวกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยเป็นการประเมินเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน ครอบคลุมทั้งความรู้ความคิด กระบวนการเรียนรู้ด้านการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา การสื่อสาร การนำความรู้ไปใช้ รวมทั้งคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ รายละเอียดของเป้าหมายแนวทางปฏิบัติมีดังต่อไปนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2546)

5. เป้าหมายการวัดผลประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เป้าหมายการวัดผลประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีวิธีการประเมินอย่างหลากหลาย ทั้งการทดสอบด้วยข้อสอบและการประเมินจากการทำกิจกรรมต่างๆ ที่สะท้อนถึงสมรรถภาพของผู้เรียนนั้น มีเป้าหมายสำคัญที่ต้องการวัดผลประเมินผลจำแนกได้เป็น 3 ด้าน ดังนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2546)

1. ความรู้ความคิด หมายถึง ความรอบรู้ในหลักการ ทฤษฎี ข้อเท็จจริง เนื้อหา หรือแนวคิดหลัก สามารถประเมินได้จากพฤติกรรมกรรมการแสดงออกของผู้เรียน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พฤติกรรมการแสดงออกของผู้เรียนทางด้านความรู้ความคิด

ความรู้ความคิด	พฤติกรรมการแสดงออก
1. ความรู้ความเข้าใจ	1. รู้ข้อเท็จจริง จำได้หรือระลึกถึงข้อมูลหรือข้อสารสนเทศ
2. ความเข้าใจ	2. มีความเข้าใจและสามารถอธิบายได้
3. การนำไปใช้	3. การนำความรู้ไปใช้กับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง
4. วิเคราะห์	4. แยกแนวคิดหลักที่ซับซ้อนออกเป็นส่วนๆ ให้เข้าใจง่าย
5. สังเคราะห์	5. รวบรวมความรู้และข้อเท็จจริงเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่
6. ประเมินค่า	6. ตัดสินใจเลือก

การประเมินโดยการทดสอบด้วยข้อสอบ ไม่สามารถวัดผลประเมินความรู้ความคิดในส่วนของการวิเคราะห์ สังเคราะห์ และประเมินค่าได้มากเพียงพอที่จะส่งเสริมผู้เรียนให้พัฒนาความคิดระดับสูง จึงต้องประเมินการแสดงผลออกของผู้เรียนจากการลงมือปฏิบัติจริงให้มากยิ่งขึ้น

2. กระบวนการเรียนรู้ ความสามารถด้านกระบวนการเรียนรู้ ประกอบด้วย ทักษะกระบวนการความคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์ การประยุกต์ความรู้ การลงมือปฏิบัติจริงที่แสดงออกถึงทักษะเชิงปัญญาและทักษะปฏิบัติ การประเมินในส่วนของทักษะปฏิบัติใช้วิธีการสังเกตจากพฤติกรรมการแสดงออกของผู้เรียนที่มีการพัฒนาอย่างเป็นขั้นตอน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พฤติกรรมการแสดงออกของผู้เรียนทางด้านทักษะปฏิบัติ

ทักษะปฏิบัติ	พฤติกรรมการแสดงออก
1. การรับรู้	1. ใช้ประสาทสัมผัสเพื่อรับรู้เรื่องราวต่างๆ
2. เตรียมความพร้อม	2. มีความพร้อมที่จะลงมือปฏิบัติ มีการวางแผนการปฏิบัติ
3. การตอบสนอง	3. ลงมือปฏิบัติตามคำแนะนำหรือตามแนวที่วางไว้
4. การฝึกฝน	4. ฝึกฝนทักษะเพื่อเพิ่มความชำนาญ
5. ปฏิบัติจนทำได้	5. ฝึกฝนจนทำได้เองอัตโนมัติ
6. การเชื่อมโยงทักษะ	6. ประยุกต์หรือใช้ทักษะที่ฝึกฝนไว้ให้สัมพันธ์กับทักษะอื่นหรือใช้ร่วมกับทักษะอื่น

กระบวนการเรียนรู้ในส่วนของแนวการเรียนรู้ครอบคลุมการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ไขปัญหา การสื่อสาร และการนำความรู้ไปใช้ สามารถประเมินได้จากพฤติกรรมการแสดงออกของผู้เรียน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 พฤติกรรมแสดงออกของผู้เรียนทางด้านกระบวนการเรียนรู้

กระบวนการเรียนรู้	พฤติกรรมแสดงออก
1. การสืบเสาะหาความรู้วิทยาศาสตร์	1. มีการเรียนรู้ที่เป็นระบบ ประกอบด้วย 1.1 ความสนใจในเรื่องที่ศึกษา 1.2 การสำรวจและค้นหา 1.3 การอธิบายและลงข้อสรุป 1.4 การขยายความรู้ 1.5 การประเมิน
2. การแก้ปัญหา	2. มีการใช้กระบวนการแก้ปัญหาประกอบด้วย 2.1 การทำความเข้าใจกับปัญหา 2.2 การวางแผนแก้ปัญหา 2.3 การลงมือแก้ปัญหาและประเมินผลการแก้ปัญหา 2.4 การตรวจสอบการแก้ปัญหาและนำวิธีการแก้ปัญหาไปใช้กับปัญหาอื่น
3. การสื่อสาร	3. มีการสื่อสารความรู้หรือแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์หรือความคิดเห็นแสดงออกด้วยการ 3.1 ให้ความคิดเห็นหรือแลกเปลี่ยนความรู้ 3.2 พูดหรือเขียนในรูปแบบที่เหมาะสม ชัดเจน และมีเหตุผล 3.3 อธิบายหรือเขียนสรุปเรื่องราวการสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ 3.4 นำเสนอผลงานด้วยการบันทึก จัดแสดงผลงานหรือสาธิต สื่อสารด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ
4. การนำความรู้ไปใช้	4. มีการนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม การดำรงชีวิตและตระหนักในความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแสดงออกด้วยการ 4.1 ค้นคว้าหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4.2 ใช้เทคโนโลยีช่วยออกแบบสิ่งประดิษฐ์ อุปกรณ์และวิธีการแก้ปัญหา 4.3 รวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทางเทคโนโลยี เลือกใช้เทคโนโลยีได้อย่างมีวิจารณญาณ

กระบวนการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถตรวจสอบติดตาม และประเมินได้จากการปฏิบัติงานและผลงานของผู้เรียน การทำกิจกรรมทำให้ผู้เรียนมีโอกาสแสดงความสามารถ ด้านทักษะเชาว์ปัญญา ทักษะปฏิบัติ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ไขปัญหา การนำความรู้ไปใช้ รวมทั้งความสามารถด้านการสื่อสาร ซึ่งเป็นทักษะในการดำเนินชีวิตและทักษะทางสังคม

3. เจตคติ เจตคติเป็นจิตสำนึกของบุคคล ที่ก่อให้เกิดลักษณะนิสัยหรือความรู้สึกทางจิตใจ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนควรได้รับการประเมินเจตคติ 2 ส่วน คือ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ ด้วยการสังเกตพฤติกรรมหรือคุณลักษณะของผู้เรียน ที่ใช้ระยะเวลาไม่นานพอสมควร และมีการประเมินอย่างสม่ำเสมอ โดยทั่วไปพฤติกรรมของการแสดงออกของผู้เรียนด้านเจตคติมีการพัฒนาอย่างเป็นขั้นตอน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พฤติกรรมการแสดงออกของผู้เรียนทางด้านเจตคติ

เจตคติ	พฤติกรรมการแสดงออก
1. การรับรู้	1. สนใจและรับรู้ข้อสนเทศหรือสิ่งเร้าด้วยความตั้งใจ
2. ตอบสนอง	2. ตอบสนองต่อข้อสนเทศหรือสิ่งเร้าอย่างกระตือรือร้น
3. เห็นคุณค่า	3. แสดงความรู้สึกชื่นชอบ และมีความเชื่อเกี่ยวกับคุณค่าของเรื่องที่เรียนรู้
4. จัดระบบ	4. จัดระบบ จัดลำดับ เปรียบเทียบ และบูรณาการเจตคติกับคุณค่าเพื่อนำไปใช้หรือปฏิบัติได้
5. สร้างคุณลักษณะ	5. เลือกปฏิบัติหรือไม่ปฏิบัติในสิ่งต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

เจตคติทางวิทยาศาสตร์เป็นคุณลักษณะหรือนิสัยของผู้เรียน ที่เกิดขึ้นจากการศึกษาหาความรู้หรือเรียนรู้ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่วนเจตคติต่อวิทยาศาสตร์เป็นความรู้สึกของนักเรียนที่มีต่อการทำกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย ความพอใจ ศรัทธา และซาบซึ้ง เห็นค่าและประโยชน์ รวมทั้งมีคุณธรรม จริยธรรมและค่านิยมทางวิทยาศาสตร์

6. แนวทางการปฏิบัติในการวัดผลประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

การวัดผลประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ใช้แนวทางการประเมินสภาพจริงด้วยการประเมินอย่างหลากหลายให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน โดยการกำหนดวัตถุประสงค์สำคัญประกอบด้วย

1. วินิจฉัยผู้เรียนเกี่ยวกับความรู้ความคิด กระบวนการเรียนรู้ด้านสืบเสาะหาความรู้ การแก้ไขปัญหา การสื่อสาร การนำความรู้ไปใช้ การใช้เทคโนโลยี รวมทั้งคุณลักษณะของผู้เรียนด้านจิตวิทยาศาสตร์ และโอกาสของการเรียนรู้เพื่อนำผลประเมินที่ได้ไปเป็นแนวทางพัฒนาผู้เรียนอย่างเต็มตามศักยภาพ

2. ตรวจสอบผลการเรียนของผู้เรียนตามมาตรฐานการเรียนรู้ ของสาระกลุ่มการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ผลการตรวจสอบชี้บ่งคุณภาพของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

3. รวบรวมข้อมูลและจัดระบบสารสนเทศ เกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์ เพื่อมีข้อมูลสารสนเทศที่สมบูรณ์ ทันต่อการไปพัฒนาผู้เรียนและพัฒนากิจการการเรียน การสอนวิทยาศาสตร์ และเป็นแนวทางกำหนดนโยบายการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้ได้ มาตรฐานที่สูงยิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีความเท่ากันกับนานาชาติประเทศ

การประเมินการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว เป็นการ ประเมินสมรรถภาพของผู้เรียน ที่จะต้องมีเครื่องมือการประเมินผลที่มีประสิทธิภาพ ทั้งวิธีการประเมิน กิจกรรม เกณฑ์การประเมิน และแบบประเมินส่วนหนึ่งของเครื่องมือการประเมิน ที่ผู้สอนต้องให้ ความสำคัญของการประเมินไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อการเตรียมความพร้อมไว้ ก่อนการจัดการ เรียนการสอนวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คือ คุณลักษณะด้าน ความรู้ ความเข้าใจ ความสามารถในการนำมวลประสบการณ์ที่ได้รับจากการเรียนการสอนและการทำ กิจกรรมต่างๆ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวันในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบวัด ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้ครอบคลุมทั้งในส่วนของเนื้อหาความรู้และกระบวนการแสวงหาความรู้ เป็น ปรณัยแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นคุณลักษณะด้านความรู้ความสามารถ มวลประสบการณ์ของบุคคลที่ได้รับจากการเรียนการสอน การฝึกอบรม หรือการทำกิจกรรมต่างๆ โดย สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ให้ครอบคลุมทั้งในส่วนของเนื้อหาความรู้และกระบวนการ แสวงหาความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานเรียนรู้

3.2 การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์

การสอบหรือการทดสอบ (TESTING) หมายถึง การหาหรือกำหนดปริมาณ หรือ คุณลักษณะของพฤติกรรมหรือความสามารถของบุคคล โดยใช้ข้อสอบเป็นเครื่องมือหรือเป็นสื่อ ดังนั้น การสอบหรือการทดสอบดังกล่าว ก็คือการวัดผลการศึกษาอย่างหนึ่ง ซึ่งใช้ข้อสอบทำหน้าที่เป็นเครื่องมือ วัดความสามารถของบุคคลนั่นเอง ในการวัดผลการศึกษา การสอบจัดว่าเป็นวิธีที่ใช้กันมากและแพร่หลาย กันมากที่สุดเมื่อมีการสอนเมื่อใด มักมีการสอบทุกครั้งจนในบางครั้งสามารถใช้คำว่า การสอบแทน ความหมายของการวัดผลทางการศึกษา การสอบซึ่งใช้ข้อสอบเป็นเครื่องมือวัดนั้น ผลการสอบที่ได้มักจะ ออกมาเป็นคะแนน และถือว่าคะแนนที่ได้ใช้แทนคุณลักษณะความสามารถที่บุคคลแสดงออกมาหรือ ตอบสนองออกมาอย่างเต็มความสามารถนั้นคือ การสอบทุกครั้งถือว่าเป็นช่วงที่บุคคลแสดงความสามารถ สูงสุด (MAXIMUM ABILITY) ออกมาเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าหรือข้อสอบนั้น ดังนั้นการสอบที่ดีจึงต้องพยายาม ดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ องค์ประกอบของการสอบประกอบด้วย

1. บุคคลที่ถูกวัดคุณลักษณะ
2. แบบทดสอบที่เป็นสื่อ
3. การดำเนินการสอบ
4. ผลการสอบ

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (ACHIEVEMENT TEST)

เป็นแบบทดสอบที่มุ่งวัดพฤติกรรมและประสบการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งพัฒนา อกงามขึ้นโดยการเรียนรู้ของผู้เรียน หรือมุ่งสอบถามความสามารถในการเรียนรู้ผู้เรียนว่าเรียนมาแล้วรู้ อะไร ข้อสอบประเภทนี้จึงวัดคุณลักษณะด้านความรู้ความคิดในส่วนที่เป็นผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ใช้กัน

แพร่หลายที่สุด หรือเป็นเครื่องมือหลักในการวัดผลการศึกษา นั่นเอง หน้าที่สำคัญของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก็คือมุ่งตรวจสอบความสามารถ (ABILITY) ในการเรียนของบุคคล ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระดับความสามารถในด้านต่าง ๆ ของผู้เรียนว่าสัมฤทธิ์ผล (ACHIEVED) ไปมากน้อยเพียงใดหลังจากที่ได้เรียนไปแล้ว

การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์

1. ศึกษาหนังสือ เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างข้อสอบ
2. ศึกษาหลักสูตรสถานศึกษา
3. สร้างตารางวิเคราะห์เนื้อหา และเลือกมาตรฐานการเรียนรู้
4. สร้างข้อสอบตามตารางวิเคราะห์เนื้อหา ข้อสอบปรนัยแบบเลือกตอบ (MULTIPLE CHOICE) 4 ตัวเลือก โดยมีคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว และมีคำตอบลวงอีก 3 คำตอบ ให้สอดคล้องและวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยอาศัยตารางวิเคราะห์เนื้อหา สร้างข้อสอบจำนวน 60 ข้อ
5. นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตรวจสอบความถูกต้องเชิงเนื้อหา ประเมินผลความตรงเชิงเนื้อหาจากค่าดัชนีความสอดคล้องเป็นรายข้อ IOC (ITEM OBJECTIVE CONCURRENCE) ตลอดจนความชัดเจนและความถูกต้องในการใช้ภาษา และแก้ไขปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (กัญญา ลินทรตันศิริกุล, 2557)

- +1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้
- 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อสอบสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้
- 1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC แทน ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

$IOC > 0.5$ ถือว่าข้อสอบนั้นสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

$IOC < 0.5$ ให้ตัดออกหรือปรับปรุงแก้ไขใหม่ให้ดีขึ้น

6. คัดเลือกเอาข้อสอบที่มีค่าดัชนี IOC ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 เพราะถือว่าข้อสอบนั้นเป็นตัวแทนของเนื้อหาที่จะทดสอบ ถ้าข้อสอบนั้นมีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ข้อสอบนั้นถูกตัดออกหรือปรับปรุงแก้ไขใหม่ให้ดีขึ้น

7. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผ่านการตรวจแก้ไขและปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้ (TRY OUT) กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย

8. นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อ หาค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (R) และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อสอบ TEST ANALYSIS PROGRAM (TAP)

9. คัดเลือกข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนซึ่งมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20 – 0.80 และค่าอำนาจจำแนกมากกว่า 0.20

4. ความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ

ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการคิดเชิงผลิตภาพจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ความหมายและองค์ประกอบของการคิดเชิงผลิตภาพ

4.1.1 ความหมายของการคิดเชิงผลิตภาพ

คิดผลิตภาพหรือคิดเชิงผลิตภาพ (Productive or Product-Oriental Thinking) เป็นความคิดหนึ่งในปรัชญาการศึกษาเชิงสร้างสรรค์ และผลิตภาพที่เสนอว่าการจัดการศึกษาในสังคมไทยปัจจุบันนี้นั้นควรต้องพัฒนาปรัชญาการศึกษาในเชิงที่สอนให้ผู้เรียนต้องคิดสร้างสรรค์และมีผลผลิตด้วยพร้อมกันไป (Creative and Productive Philosophy of Education) เพื่อแก้พฤติกรรมบริโภคนิยม (Consumerism) และปรับเปลี่ยนสังคมไทยให้เป็นสังคมผลผลิตนิยม (Productivism) มากขึ้น สังคมไทยจะไม่เป็นเมืองขึ้นทางความคิดของต่างประเทศและไม่เป็นประเทศที่ซื้ออย่างเดียวเป็นหลักใหญ่ (ไพฑูรย์สินลาธน์, 2549)

ปรัชญาการศึกษาเชิงสร้างสรรค์และผลิตภาพนั้นได้กำหนดให้ผู้เรียนในปรัชญานี้มีลักษณะสำคัญ 4 ประการคือ 1) มีจิตคิดวิเคราะห์ 2) จิตคิดสร้างสรรค์ 3) จิตคิดผลิตภาพ และ 4) จิตคิดรับผิดชอบ

การคิดผลิตภาพแตกต่างไปจากการคิดอื่นๆ อย่างมาก การคิดอย่างอื่น เช่น คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ มีลักษณะเป็นนามธรรม ที่อยู่ในระบบคิดของแต่ละคนเป็นหลัก การพิจารณาว่าคนแต่ละคนมีความคิดวิเคราะห์ สร้างสรรค์หรือไม่ จึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ในเชิงรูปธรรมมาช่วยทำความเข้าใจ แต่ความคิดเชิงผลิตภาพแตกต่างกับความคิดดังกล่าวเพราะความคิดเชิงผลิตภาพเป็นความคิดในเชิงรูปธรรม การตัดสินใจว่าคนใดคนหนึ่งจะมีความคิดเชิงผลิตภาพหรือไม่ต้องดูว่าขั้นสุดท้ายแล้วคนนั้นมีผลงานหรือมีผลผลิตหรือไม่ (ไพฑูรย์สินลาธน์, 2559)

สามารถให้นิยามความหมายของการคิดผลิตภาพได้ว่าเป็นกระบวนการทางสมองของคนที่กำลังเป็นขั้นตอนจากเห็นภาพนั้นในสมองและนำภาพนั้นออกมาเป็นรูปธรรมได้ รูปธรรมนี้อาจจะเป็นความคิดก็ได้ งานวิชาการก็ได้ สิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ก็ได้ แต่ต้องเป็นรูปธรรมของความคิดที่ชัดเจนสื่อต่อคนอื่นได้ การศึกษาของไทยเราส่วนใหญ่แล้วเน้นความคิดในเชิงนามธรรมคือยังเป็นภาพภายในไม่สามารถนำออกมาเป็นภาพได้ จะยังไม่เรียกความคิดภายในนี้ว่าคิดเชิงผลิตภาพ แต่ถ้าเจ้าของความคิดนั้นสามารถนำเอาความคิดนั้นออกมาเป็นความคิดภายนอกได้จนเห็นรูปธรรม แล้วจึงเรียกคนผู้นั้นว่ามีความคิดเชิงผลิตภาพ

หลักสำคัญของการคิดเชิงผลิตภาพอยู่ที่รูปธรรมของความคิดหรือผลผลิตของความคิดเป็นสำคัญ ความคิดเชิงผลิตภาพจึงไม่ใช่ความคิดที่เกิดขึ้นได้ง่ายๆ แต่เป็นความคิดที่ต้องอาศัยการฝึกฝนประกอบด้วย เมื่อความคิดเชิงผลิตภาพมีจุดสำคัญอยู่ที่ผลผลิตหรือรูปธรรมของความคิด ความสำคัญของความคิดเชิงผลิตภาพจึงอยู่รูปธรรมนั้นอันได้แก่ ตัวความคิดเอง งานวิชาการ หรือ สิ่งประดิษฐ์ดังกล่าว

4.1.2 องค์ประกอบของการคิดเชิงผลิตภาพ

1. Situated Learning and Prepare Real Learning Context การเรียนรู้กับสภาพจริงหรือการเตรียมบริบทตามสภาพจริง โดยผู้สอนจะเป็นผู้เริ่มต้นด้วยการชี้แจงจุดมุ่งหมายของการเรียนแล้วนำเรื่องด้วยปัญหาต่างๆ (Problem-based Learning) ที่ครูหยิบยกขึ้นมาถามขั้นผู้เรียนว่า ใครเห็นว่าเป็นปัญหาหรือไม่เป็นปัญหาอย่างไร หรืออาจจะหยิบยกประเด็นที่แม้ไม่เป็นปัญหาแต่ก็ควรจะทำให้ดีขึ้นได้ หรืออีกกรณีหนึ่งอาจจะเป็นประสบการณ์ข้อคิดของผู้เรียนเองที่เคยพบมา เคยคิดมาก่อนหรือได้ยินได้ฟังมาแต่อยากรู้เพิ่มเติม ฯลฯ ในขั้นตอนนี้ครูจะต้องพยายามและสังเกตว่าสิ่งที่นำมาให้เด็กหรือให้คิดเองนั้นเป็นสิ่งที่ผู้เรียนสนใจจริงๆ จึงจะทำให้การเรียนรู้ประสบความสำเร็จและได้ผลดี

2. Self-Directed Learning and Cooperative Learning เมื่อได้ประเด็นเรื่องราว หัวข้อ สิ่งของ ที่เราอยากรู้ อยากทำแล้วครูจะให้ผู้เรียนคิดพิจารณาเองเพื่อให้ทุกคนชัดเจนในประเด็นของตนเองซึ่งอาจจะร่วมกันกำหนดจุดมุ่งหมาย ร่วมกันกำหนดเป้าหมายที่ผลลัพธ์ที่ต้องการได้ อยากเห็นอะไรจากสิ่งที่คิดและเสนอกันนั้น ในขั้นตอนนี้ครูต้องกระตุ้นให้เด็กคิดเองแล้วแลกเปลี่ยนกันอีกทีหนึ่ง การทดสอบแนวคิดในขั้นนี้คือการทดสอบจะสามารถชักจูง (Convince) ให้คนอื่นเขาเห็นตามได้หรือไม่ ในขั้นตอนนี้ผู้เรียนควรจะได้รับการสอนให้คิดให้ตลอดว่าปัญหาที่ตั้งไว้แต่ต้นจะคิดได้อย่างไร

3. Work-Based Learning and Collaborative Learning เมื่อปรับแก้โครงการจนเห็นภาพการดำเนินการชัดเจนแล้วขั้นตอนที่ 3 นี้ก็คือการลงมือทำและทำแบบร่วมมือในแนวคิด Collaborative-Based Learning ถือว่าการปฏิบัติงานไม่ว่างานอะไรต้องทำงานร่วมกันอยู่เสมอ การลงมือทำร่วมกันจึงเป็นสำคัญเพราะในชีวิตจริงไม่มีการทำงานใดที่ทำคนเดียว การให้ผู้เรียนได้หาประสบการณ์ตรงจากที่วางแผนตั้งแต่ขั้นตอนก่อน

4. Assess-Based and Follow-up ขั้นตอนนี้คือการประเมินและติดตามดูว่าผู้เรียนทำได้ผลเพียงไร ควรปรับปรุงอะไรบ้าง การประเมินที่ต้องอาศัยคนนอกมาช่วยด้วย เมื่อประเมินแก้ไขแล้วก็ต้องติดตามทุกอย่างว่าได้แก้ไขจริงดังตามที่กำหนดไว้หรือไม่ เพียงใด

5. Linkage Stage and Market the Product เมื่อได้ผลเป็นผลิตผลแล้วต้องเชื่อมโยงกับเหตุการณ์ผู้ใช้จริง ถ้าผู้ใช้เห็นด้วยและบอกได้ว่าใช้ได้แค่นั้นและจะเผยแพร่ได้แค่นั้น (Zhao, 2012) ในบางกรณีขั้นตอนนี้จะนำไปสู่การจัดการเรื่องการขายต่อไปด้วยเหตุนี้การคิดผลิตภาพหรือการคิดในเชิงผลิตภาพ (Productivity-based Thinking) จึงเป็นความจำเป็นของสังคมที่จะสร้างสรรค์สืบเนื่องและเชื่อมต่อสังคมให้ก้าวหน้าต่อไป

4.2 ขอบเขตของการคิดเชิงผลิตภาพ

ปัจจุบันสังคมไทยมีปัญหาด้านการคิดหลายอย่าง ซึ่งสะท้อนจากข่าวที่มีการนำเสนอในสื่อต่างๆ ปัญหาดังกล่าว ได้แก่ 1) คิดผิด คือการได้รับผลเสียจากการกระทำตามสิ่งที่คิดไว้แต่ไม่เป็นตามที่ติดอาจเกิดจากการคิดไม่รอบคอบ 2) คิดไม่เป็น คือการทำให้แบบความคิดของคนอื่นโดยไม่มีการดัดแปลงให้เหมาะสมกับตัวเอง หรือใช้ชีวิตอย่างเคยชินโดยไม่ต้องคิดอะไร 3) คิดแล้วไม่ทำ คือการรับรู้และทำความเข้าใจกับสิ่งที่ปัญหาจนมองเห็นสาเหตุที่มาที่ไปและผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้น แต่ไม่มีการแก้ไขปล่อยให้เกิดความผิดพลาดซ้ำๆ อยู่เรื่อย ถ้ามีการนำความคิดนั้นมาลงมือปฏิบัติอย่างจริงจังก็就不用เกิดปัญหาที่เคยเกิดแล้วได้อีก ความผิดพลาดจากการคิดแล้วไม่ทำเป็นมีความเกี่ยวข้องกับการขาดความสามารถด้านการคิดผลิตภาพของคนไทย

การคิดเชิงผลิตภาพ หมายถึง ความสามารถทางสมองของบุคคลในการทำภาพที่เกิดขึ้นให้ออกมาเป็นสิ่งที่เป็ผลิตภาพที่เป็นรูปธรรม ที่สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาหรือไปทำประโยชน์ในงานต่างๆ ได้ (นวลจิตต์ เขาวีรติพงศ์, 2559)

ตัวอย่างปัญหาบางอย่างที่เกิดขึ้นในสังคมไทย ที่แสดงว่าคนไทยยังขาดความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ ได้แก่ การทำอาชีพ หรือผลิตสินค้าในรูปแบบที่ซ้ำๆ กันจนทำให้สินค้าที่ผลิตได้มีราคาต่ำลง ปัญหาการปลูกยางพาราที่มีนโยบายส่งเสริมให้คนภาคต่างๆ ปลูกและกรีดยาง จนทำให้มีปริมาณยางมากจนล้นตลาดทำให้ราคาคงต่ำจนต้องออกมาประท้วงขอความช่วยเหลือจากรัฐบาล และต้องมีการคิดหาวิธีจะนำยางดิบไปใช้ทำสินค้าอะไรได้บ้าง ซึ่งก็คงเป็นปัญหาอยู่ ทั้งนี้เพราะคนปลูกยางคิดอย่างเดียว่าจะขายยางดิบ และผู้ที่คิดนโยบายเริ่มต้นที่จะสนับสนุนให้คนปลูกยางกันมากๆ ไม่ได้คิดเลยไปว่าเมื่อมีผลผลิตยางดิบออกมามากๆ แล้วจะเอายางดิบนั้นไปทำอะไร หรือเอาไปขายใคร จึงทำให้เกิดปัญหา เช่นเดียวกันกับปัญหาการจัดการเรียนรู้สาระการงานอาชีพเทคโนโลยีที่ไม่สามารถทำให้ผู้เรียนบรรลุเป้าหมายในการนำความรู้ความสามารถในการทำงานบ้าน งานเกษตร งานประดิษฐ์ งานช่าง มาผลิตเป็นสินค้าและนำไปประกอบเป็นอาชีพได้ มีผลให้ตลาดแรงงานของไทยมีจำนวนคนต่างด้าวมากกว่าคนไทย และการที่คนไทยยังติดนิสัยบริโภคมากกว่าผลผลิตนิยม คือ แสดงบทบาทเป็นผู้ใช้และผู้ซื้อมากกว่าผู้สร้างและผู้ขาย มีผลให้เศรษฐกิจของชาติไม่เจริญก้าวหน้าเท่าที่ควร การทำความเข้าใจกับความหมายและขอบข่ายของการคิดผลิตภาพจะช่วยนำทางให้เกิดการฝึกฝนพัฒนาคนไทยให้มีความสามารถในการคิดผลิตภาพได้มากขึ้น

การคิดเชิงผลิตภาพมีขอบข่ายเกี่ยวข้องกับการคิดและความสามารถอื่นๆ ได้แก่ การคิดวิเคราะห์ การคิดจินตนาการ การคิดสร้างสรรค์ การเชิงระบบ และความสามารถในการสื่อสารดังจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

4.2.1 การคิดเชิงผลิตภาพกับการคิดสังเคราะห์

การคิดสังเคราะห์เป็นการคิดรวมส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันเข้ามายุบรวมกันทำให้เกิดผลงานเป็นสิ่งที่ใหม่ขึ้น ซึ่งในการคิดผลิตภาพก็ต้องมีการผลิตผลงานเกิดขึ้นเช่นกัน การคิดผลิตภาพจึงต้องมีการคิดสังเคราะห์รวมอยู่ด้วย ผู้คิดจะต้องมองเห็นความสัมพันธ์ของสิ่งที่เป็นองค์ประกอบในการคิด นำไปสู่ความสามารถในการผลิตผลงานที่เป็นผลิตภาพได้

4.2.2 การคิดเชิงผลิตภาพกับการคิดจินตนาการ

การคิดจินตนาการเป็นความสามารถในการคิดสร้างภาพสิ่งของหรือเหตุการณ์โดยอาจมีข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งที่จินตนาการหรือเป็นการคิดอย่างอิสระก็ได้ ในการคิดผลิตภาพผู้คิดอาจใช้การคิดจินตนาการได้หลายขั้นตอน โดยในจุดเริ่มต้นหรือยังไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการผลิตมากนัก การใช้การคิดจินตนาการได้มาจากการใช้ความคิดอิสระ แต่ถ้าผู้คิดมีข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการผลิตมากแล้ว การใช้จินตนาการจะมีระบบและรูปแบบมากขึ้น

4.2.3 การคิดเชิงผลิตภาพกับการคิดสร้างสรรค์

การคิดสร้างสรรค์เป็นการคิดเชิงบวกเพื่อให้ได้ผลผลิตของการคิดเป็น สิ่งที่แปลกใหม่ไม่ซ้ำแบบใคร และสามารถนำไปใช้แก้ปัญาหรือไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการดำรงชีวิตในทิศทางที่ดีขึ้น คนที่มีความคิดสร้างสรรค์ถ้าได้แต่คิดไม่ทำความคิดสร้างสรรค์นั้นก็ไม่เกิดประโยชน์การคิดผลิตภาพจึงเป็นส่วนที่ผลักดันในการคิดสร้างสรรค์มีผลเป็นรูปธรรม และนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง หรือ

อาจเป็นไปได้ว่าการคิดสร้างสรรค์เป็นส่วนประกอบที่อยู่ในคิดผลิตภาพ ถ้าไม่มีพฤติกรรมการคิดสร้างสรรค์ก็ไม่มีแนวทางหรือไม่มีเป้าหมายว่าต้องการผลิตอะไร และถ้ามีแต่การคิดสร้างสรรค์ก็ไม่มีโอกาสในสิ่งที่คิดสร้างสรรค์นั้นเป็นความจริงขึ้นมา

4.2.4 การคิดเชิงผลิตภาพกับการคิดเชิงระบบ

การคิดเชิงระบบเป็นการคิดเชิงองค์รวมหรือภาพรวม โดยตระหนักถึงองค์ประกอบย่อยที่มีความสัมพันธ์และมีหน้าที่เชื่อมโยงกันในลักษณะที่เรียกว่าระบบ ซึ่งประกอบด้วยสิ่งเหล่านี้

1. ความคิดและความเข้าใจในภาพรวมทั้งระบบ เป็นการมองภาพกว้างๆ ทั้งหมดของสิ่งที่คิด และพิจารณาว่าในสิ่งที่เป็นภาพกว้าง เรียกว่าระบบใหญ่ ประกอบด้วยระบบย่อยๆ อะไรอยู่บ้างและแต่ละระบบย่อยๆ นั้นมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันอย่างไร เช่น ถ้าพิจารณาร่างกายเป็นระบบใหญ่ที่ประกอบด้วยระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาท ระบบไหลเวียนโลหิต เป็นต้น

2. การคิดในลักษณะเชื่อมโยง เป็นการคิดมองแบบภาพรวม มองให้เห็นภาพทั้งหมด มีการสังเคราะห์มองเส้นปฏิสัมพันธ์ต่างๆ ของระบบทั้งในความสัมพันธ์เชิงลึก และความสัมพันธ์แนวกว้าง รวมทั้งความสัมพันธ์ซับซ้อนเป็นการเน้นการคิด แบบกระบวนกรหรือวิธีคิดแบบองค์รวม

3. การคิดเชิงเครือข่าย ทำให้ผู้คิดเห็นความสัมพันธ์แบบเครือข่ายและมองเห็นความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันภายในระบบนั้น รวมถึงสมาชิกของระบบที่มีการติดต่อเชื่อมโยงกัน เช่น ระบบต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ที่ทำงานเชื่อมโยงสัมพันธ์กัน แนวคิดนี้เป็นพื้นฐานของการพัฒนาองค์กรแห่งการเรียนรู้

4. การคิดที่มีความสัมพันธ์กับแนวคิดไซเบอร์เนติกส์ (Cybernetics) เป็นแบบแผนของเครือข่ายและการค้นพบวงจรป้อนกลับ (feed back loop) หรือเป็นวงจรชีวิตในลักษณะที่แต่ละองค์ประกอบส่งผลกระทบต่อกันประกอบถัดไปจนถึงองค์ประกอบสุดท้าย ป้อนผลกระทบกลับสู่องค์ประกอบตัวแรกของวงจร ทำให้เกิดความเข้าใจเรื่องระบบนิเวศ และเรื่องความสัมพันธ์ในชุมชน

การคิดที่ทำให้ผู้คิดมองเห็นความสัมพันธ์ภาพ และเกิดความเข้าใจต่อสัมพันธ์ภาพนั้นๆ ทำให้เกิดความเข้าใจเรื่องแบบแผน (pattern) และนำไปสู่การอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้

สรุปได้ว่าการคิดเชิงระบบ คือ การคิดในภาพรวมทำให้ผู้คิดเกิดความเข้าใจในความสัมพันธ์ขององค์ประกอบย่อยต่างๆ ที่มีความเชื่อมโยง และส่งผลกระทบต่อกันเป็นวงจรรวมกันอยู่ในลักษณะเป็นเครือข่าย และมีแบบแผนที่แน่นอน การคิดเชิงระบบนำไปสู่การเข้าใจปรากฏการณ์และการแก้ไขปัญหาได้

4.3 ลักษณะของคนที่มีความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ

ในทางการศึกษามีหลักในความเชื่อเกี่ยวกับมนุษย์อยู่ว่ามนุษย์มีความหลากหลาย คือ มีหลายประเภทแล้วแต่ความถนัดและสนใจของแต่ละบุคคล การทำความเข้าใจกับบุคคลแต่ละประเภทจึงต้องมีภาพเป้าหมายและภาพความคาดหวังที่ชัดเจน เราจึงจะเข้าใจลักษณะของคนๆ นั้นและในขณะเดียวกันก็ส่งเสริมให้เขาพัฒนาตัวเองให้มีลักษณะในแนวทางนั้นด้วย

ความคาดหวังต่อคนที่มีความคิดในเชิงผลิตภาพหรือคนที่มุ่งเน้นต่อการสร้างผลงาน (Cutcome-Based, Product-Based) นั้น ผู้เรียนจะพัฒนาตนเองและเติบโตไปด้วยเป้าหมายของการสร้างและผลิตสิ่งใหม่ๆ อยู่เสมอ ไม่หยุดนิ่งต่อการสร้าง การพัฒนา การลงมือทำ เพื่อให้ผลผลิตใหม่ๆ

ออกมาเสมอ บุคคลลักษณะนี้อาจจะไม่ใช้ชีวิตทั้งหมดเพื่อการศึกษา สร้างอย่างนักประดิษฐ์ในอดีตที่ทุ่มเททั้งชีวิตเพื่อการศึกษา แต่อย่างน้อยจะใช้ชีวิตส่วนใหญ่อย่างไม่หยุดนิ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานในแนวทางที่สนใจ เชื่อ และอยากเห็น

บุคคลเหล่านี้จะต้องเป็นคนช่างสังเกต เรียนรู้ และสงสัยในสิ่งแวดล้อมรอบตัวอยู่เสมอ พร้อมทั้งมุ่งมั่นในสิ่งที่จะทำซึ่งรวม 7 ลักษณะดังนี้ (ไพฑูรย์ สินลารัตน์, 2559) ดังภาพที่ 2.4

คุณสมบัติ 7 ประการของคนคิดเชิงผลิตภาพ
1. ช่างสังเกต 2. คิดต่อเนื่องได้ 3. มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ 4. เชื่อมโยงกับผลผลิต 5. คิดและทำด้วยพร้อมกันไป 6. มุ่งทำให้เสร็จ คิดให้ตลอด 7. พร้อมรับการทดสอบ/การประเมิน/และการตำหนิ

ภาพที่ 2.4 คุณสมบัติ 7 ประการของคนคิดเชิงผลิตภาพ

คุณสมบัติ 7 ประการของคนคิดเชิงผลิตภาพมีคำอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

คุณลักษณะประการที่ 1 คือ จะต้องช่างสังเกตสิ่งรอบตัว ไม่ละเลยมองข้ามสิ่งที่สัมผัส จับต้องและมองเห็น เมื่อสังเกตเห็นแล้วหรือเมื่อสัมผัสจับต้องแล้วนั้น จะทำให้เกิดการเรียนรู้ตามมาโดยจะนึกคิด นึกเห็น และนึกสัมผัสขึ้นได้ทันที แต่ถ้ามองข้ามไปก็จะไม่เรียนรู้อะไร การเรียนรู้จะทำให้ติดต่อหรือสนใจในสิ่งที่เห็นซึ่งจะช่วยให้คิดว่าทำอะไรต่อไป

คุณลักษณะประการที่ 2 คือ มีความคิดต่อเนื่อง เชื่อมโยง และนำไปสู่ประเด็นอื่นได้สืบเนื่องจากข้อแรก เมื่อรู้จักสังเกตแล้วจะต้องมีความสัมพันธ์ต่อ คือ การคิดต่อเนื่อง เพราะถ้าไม่คิดต่อเนื่องแล้วทุกอย่างก็จะหยุดลงแค่นั้น คนที่จะคิดในลักษณะที่จะผลิตอะไรได้นั้นจะต้องคิดต่อเนื่อง เชื่อมโยงและนำไปสู่ประเด็นอื่นๆ ได้ ความคิดใหม่ๆ จะเกิดขึ้น ความคิดที่มีผลงานอะไรก็จะตามมา คนที่จะรู้จักสังเกตได้นั้นต้องฝึกฝนอยู่เสมอ ต้องฝึกโดยคิดว่าเมื่อเราเห็นสิ่งนี้แล้วเราคิดอะไรต่อบ้าง สิ่งที่เขาติดต่อมีลักษณะอย่างไรในข้อนี้จะเห็นได้ว่าการคิดผลิตภาพจะเชื่อมโยงกับความคิดสร้างสรรค์อยู่มาก เราอาจกล่าวได้ว่าความคิดผลิตภาพเป็นส่วนต่อของความสร้างสรรค์ก็ได้

คุณลักษณะประการที่ 3 คือ การมองเห็นแนวทางแนวปฏิบัติ หรือแนวทางปรับปรุงมองเห็นขั้นตอนของการทำงานและมองเห็นว่าถ้าคิดถึงเรื่องนี้จะทำอย่างไร คุณสมบัติในข้อนี้ที่เห็นได้ชัดเจนและต้องการเน้นวิธีการปฏิบัติหรือการลงมือทำ การที่มีข้อสังเกตข้อสงสัยในสิ่งรอบตัว แล้วมองต่อไปได้ว่าข้อสงสัยนั้นน่าจะมีปัญหาอะไรและปัญหานั้นจะเกี่ยวข้องกับอะไรบ้างการมองว่าเกี่ยวข้องกับอะไรบ้างนั้นจะนำไปสู่การมองเห็นว่าแล้วจะทำอย่างไรต่อไปอาจจะเลิกกิจกรรมนั้น หรือเพิ่มเติมให้มากขึ้น (ให้ตีพ้อหรือตีมาก) หรือปรับเปลี่ยนให้ดีขึ้นอย่างไร เป็นต้น คนที่จะคิดทำอะไรได้นั้นจะมองเห็นเสมอว่าในเรื่องนี้ประเด็นนี้เราควรจะทำอย่างไรบ้าง

คุณลักษณะประการที่ 4 คือ เชื่อมโยงกับผลผลิต มองเห็นได้ชัดว่าถ้าลงมือทำอย่างใดอย่างหนึ่งแล้วจะได้อะไรขึ้นมา คำว่าได้ในนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นรูปธรรม (Matter หรือ Product อย่างเดียว) แต่ต้องเป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจ มองเห็น และจับต้องได้เช่น ความคิด ค่านิยม ความสามารถในการสรุปเรียบเรียงขึ้นใหม่ก็ได้

คุณลักษณะที่ 5 คือ คิดแล้วทำ ลงมือทำทันที ไม่รีรอลังเลคุณลักษณะข้อนี้เป็นคุณลักษณะที่สำคัญของคิดผลิตภาพเพราะเป้าหมายสุดท้ายของคิดในเชิงผลิตภาพก็คือ การมีผลผลิต (Product) ออกมาผลผลิตจะเป็นอะไรนั้นไม่ใช่ประเด็นสำคัญ หลักใหญ่ของการคิดผลิตภาพคือให้มีผล (Product) จากการกระทำซึ่งผลคือจะเป็นแนวคิด (ที่เกิดจากการศึกษา ค้นคว้า คิดต่อ จัดลำดับความคิดใหม่) วิธีการ (ที่เกิดจากการได้วิเคราะห์พัฒนาขึ้นใหม่) ที่พิจารณาแล้ว ผลงานวิชาการ (เช่น ตำรา หนังสือ เอกสารต่าง ๆ) ผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ (ที่เกิดจากการค้นคว้าทดลอง และได้ผลออกมาเป็นสิ่งของ เป็นต้น)

คุณลักษณะที่ 6 คิดให้ตลอด มุ่งทำงานให้แล้วเสร็จ คุณสมบัติข้อนี้สืบเนื่องจากข้อที่ 5 ที่จะต้องลงมือทำงานและคุณสมบัติที่ตามมา คือ ทำให้แล้วเสร็จ มีคนจำนวนไม่น้อยที่ลงมือทำแต่ไม่มี ความมุ่งมั่นให้สำเร็จ จึงจะทำให้คิดในเชิงผลิตภาพไม่สำเร็จสมบูรณ์ การฝึกคิดในลักษณะผลิตภาพ นอกจากฝึกให้ทำงานแล้วยังต้องฝึกให้ทำงานให้สำเร็จด้วยพร้อมกันไป

คุณลักษณะที่ 7 พร้อมรับการทดสอบ ประเมินหรือแม้ตำหนิผลงานหรือผลผลิตที่สำเร็จ สมบูรณ์ต้องพร้อมที่จะได้รับการทดสอบประเมินทั้งในเชิงของวิชาการและการนำไปใช้เพื่อให้ผลงานนั้นมี คุณค่าและนำไปใช้จริง โดยเฉพาะเมื่อเป็นชั้นเรียน ผู้สอนอาจไม่เชี่ยวชาญหรือไม่ชำนาญในเรื่องหรือ ผลผลิตที่นักเรียนทำขึ้นจึงต้องอาศัยคนนอกมาประเมิน ผู้เรียนจึงต้องพร้อมที่จะรับการทดสอบและ ประเมินเพื่อนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้นต่อไป นอกจากคุณสมบัติ 7 ประการนี้แล้ว สมพร โกมารทัต (2557) ยังเสนอคุณสมบัติของผู้สอนและผู้เรียนในเชิงผลิตภาพไว้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของผู้สอนและผู้เรียนในเชิงผลิตภาพ

คุณสมบัติของผู้สอน	บทบาทของผู้เรียน
1. เป็นผู้ประสานงาน	1. เป็นผู้ปฏิบัติที่ดี (Good Practice)
2. เป็นผู้อำนวยความสะดวก	2. เป็นผู้ที่มีความรับผิดชอบ
3. เป็นผู้ชี้แนะและชี้แนะ	(Responsible)
4. เป็นผู้คิดกิจกรรมให้ผู้เรียนตื่นตัวและกล้าแสดงออก	3. เป็นผู้มีความคิดดี (Positive Thinking)
5. เป็นผู้กระตุ้นให้กล้าพูด กล้าถาม กล้าทำ และให้	4. เป็นผู้ใฝ่รู้ (Learning-Oriented)
กำลังใจเมื่อผู้เรียนทำผิดพลาด	5. เป็นผู้มีมนุษยสัมพันธ์ (Sociable)
6. เป็นผู้สนับสนุนส่งเสริมและเติมเต็มศักยภาพของผู้เรียน	
7. เป็นผู้แสวงหาโอกาสให้ผู้เรียนแสดงผลงาน	
8. เป็นผู้แสวงหาความรู้อยู่ตลอดเวลา	

นอกจากนั้นแล้วเขา (Zhao) ผู้เขียนหนังสือเรื่อง “ผู้เรียนระดับโลก : ให้การศึกษาเชิง สร้างสรรค์และมีความสามารถทางการจัดการ” ยังได้เสนอลักษณะของผู้เรียนในเชิงคิดผลิตภาพว่าส่วน

ใหญ่เป็นคนมีความสุข มีความมั่นใจ มีความรับผิดชอบ มีความคิดสร้างสรรค์ มีแรงบันดาลใจ และรับรู้ได้ชัดเจนโดยเฉพาะครู นักเรียนในโรงเรียนนี้จะประดิษฐ์หนังสือใหม่ ขึ้นมา สร้าง Soundtrack และ Audio Slide ด้วย เขาไม่หยุดอยู่ที่หนังสือแต่เขาก้าวไปถึงฟิล์ม เอกสารสำคัญ เกมสื่อดิจิทัล นิทรรศการ ภาพวาด โปสเตอร์ ดนตรี นิยาม และสิ่งต่างๆ อีกมาก จนผู้ปกครองคนหนึ่งเล่าว่า “เมื่อเขาเดินเข้าไปในโรงเรียน High Tech High เขาจะรู้สึกเหมือนอยู่ในโรงงาน” (Zhao, 2012)

4.4 การวัดและประเมินผลความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ

การวัดและประเมินความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ สามารถวัดได้หลายแนวทางแต่ละแนวทางจะมีวิธีการวัดหลายวิธีซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดก็แตกต่างกันออกไป ความสามารถในการคิดผลิตภาพของผู้เรียนตามนิยามที่โพซูร์ย ลินลาร์ตัน (2559) ได้ให้นิยามไว้ว่าเป็นกระบวนการทางสมองของคนที่กำลังเป็นขึ้นอย่างเป็นขั้นตอนจากเห็นภาพในสมองและนำภาพนั้นออกมาเป็นรูปธรรมได้

แนวทางการประเมินการคิดเชิงผลิตภาพสามารถทำได้ตามแนวทางดังที่ทวิตต์คัตต์ จินดานุรักษ์ (2559) เสนอไว้ดังนี้

1. ประเมินการคิดเชิงผลิตภาพอยู่ในการเรียนการสอนปกติและงานการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน การประเมินการคิดเชิงผลิตภาพอยู่ในการเรียนการสอนปกติและงานการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เช่น ประเมินจากการทำงาน จากการทำโครงการของผู้เรียน การประเมินใช้ประเมินตามสภาพจริง ใช้การสอนหรือให้ทำกิจกรรมและประเมินไปพร้อมๆ กัน ผู้เรียนที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพจะสามารถทำความเข้าใจกับงานที่ได้รับ คิดหาแนวทางในการทำงานจนได้งานที่เป็นผลสำเร็จออกมา ครูอาจประเมินจากงานที่กำหนดให้ทำ สังเกตการทำงานของนักเรียน การลงมือทำงานในทันที ทำจนได้ผลงาน ส่งงานทันเวลา และผลงานมีคุณภาพ หรือประเมินจากการบ้านที่ให้ผู้เรียนทำ ผู้เรียนส่งการบ้านได้ตามกำหนดเวลา ผลงานของการบ้านที่ส่งมีคุณภาพ การประเมินในกิจกรรมปกติแบบนี้ช่วยให้ครูได้เห็นความสามารถของผู้เรียนในแต่ละคนว่ามีความสามารถอยู่ในระดับใด และควรให้การพัฒนาผู้เรียนคนใด ในระดับใด การประเมินแบบนี้ช่วยพัฒนาผู้เรียนได้ตลอดภาคเรียน

2. ประเมินการคิดเชิงผลิตภาพโดยใช้เครื่องมือหรือแบบทดสอบประเมินการคิดเชิงผลิตภาพ โดยเฉพาะการประเมินแบบนี้ต้องมีการสร้างแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพโดยเฉพาะ

- 2.1 หลักการและขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดความสามารถทางการคิดเชิงผลิตภาพ ทฤษฎีเกี่ยวกับ “การคิดเชิงผลิตภาพ” เพื่อนำมาเป็นกรอบหรือโครงสร้างของการคิดเชิงผลิตภาพเมื่อกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของโครงสร้างหรือองค์ประกอบของการคิดแล้วจะทำให้ได้ตัวชี้วัดหรือลักษณะพฤติกรรมเฉพาะที่เป็นรูปธรรมซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงโครงสร้างหรือองค์ประกอบของการคิดเชิงผลิตภาพ แล้วจะทำให้ได้ตัวชี้วัดหรือลักษณะพฤติกรรมเฉพาะที่เป็นรูปธรรมซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงโครงสร้างหรือองค์ประกอบของการคิดเชิงผลิตภาพ จากนั้นจึงเขียนข้อความตามตัวชี้วัดหรือลักษณะเฉพาะของพฤติกรรมแต่ละองค์ประกอบของการคิดผลิตภาพนั้นๆ

- 2.2 การพัฒนาแบบทดสอบความสามารถทางการคิดเชิงผลิตภาพมีขั้นตอนการดำเนินการสำคัญดังนี้

- 2.2.1 กำหนดจุดมุ่งหมายของแบบทดสอบสิ่งสำคัญของการสร้างแบบทดสอบก็คือการกำหนดจุดมุ่งหมายซึ่งผู้พัฒนาแบบทดสอบจะต้องพิจารณาจุดมุ่งหมายของการนำแบบทดสอบไป

ใช้ว่าต้องการใช้วัดความสามารถทางการคิดเชิงผลิตภาพทั่วไปหรือต้องการวัดความสามารถทางการคิดผลิตภาพเฉพาะรายวิชา เช่น ในวิชาวิทยาศาสตร์ หรือวิชาการงานพื้นฐานอาชีพ

2.2.2 กำหนดกรอบของการทดสอบและนิยามเชิงปฏิบัติการของการคิดเชิงผลิตภาพ ผู้พัฒนาแบบทดสอบควรศึกษาเอกสารแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความสามารถทางการคิดผลิตภาพตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ

ตามนิยามความหมายของการคิดเชิงผลิตภาพได้ว่าเป็นกระบวนการทางสมองของคนที่ก่อรูปขึ้นอย่างเป็นขั้นตอนจากการเห็นภาพนั้นในสมองและนำภาพนั้นออกมาเป็นรูปธรรมได้ รูปธรรมนี้อาจจะเป็นความคิดก็ได้ งานวิชาการก็ได้ สิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ก็ได้ แต่ต้องเป็นรูปธรรมของความคิดที่ชัดเจนสื่อต่อคนอื่นได้

คุณลักษณะของคนที่มีความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพมีคุณสมบัติ 7 ประการ คือ 1. ช่างสังเกต 2. คิดต่อเนื่องได้ 3. มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ 4. เชื่อมโยงกับผลผลิต 5. คิดและทำด้วยพร้อมกันไป 6. มุ่งทำให้เสร็จ และ 7. พร้อมรับการทดสอบ/การประเมิน/และการดำเนิน

3. ประเมินการคิดเชิงผลิตภาพโดยการบูรณาการตัวชี้วัดการคิดเชิงผลิตภาพร่วมกับการประเมินผลในวิชาอื่น ประเมินการคิดเชิงผลิตภาพโดยการบูรณาการตัวชี้วัดของการคิดผลิตภาพร่วมกับการประเมินผลในวิชาอื่น สามารถประเมินการคิดเข้าไปในการประเมินแต่ละวิชาได้หมดโดยไม่ต้องแยกการประเมินการคิดผลิตภาพออกมาโดยเฉพาะ และเป็นการสอดคล้องกับการจัดการเรียนการสอนที่บูรณาการคิดเข้ากับวิชาต่างๆ หรือกลุ่มสาระการเรียนรู้ต่างๆ ที่เรียนด้วยวิชาหรือกลุ่มสาระที่สามารถประเมินการคิดผลิตภาพได้โดยตรงเช่น กลุ่มสาระการงานพื้นฐานอาชีพ กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะเรื่องการสอนโครงงาน ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ประเมินโครงงานจะสะท้อนการประเมินการคิดผลิตภาพอยู่ด้วย

การประเมินการคิดเชิงผลิตภาพนั้น สิ่งที่มีความสำคัญอีกประการหนึ่งในการวัดและประเมินในด้านนี้ คือ การกำหนดตัวผู้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถของผู้เรียน ข้อมูลจากการวัดไม่ได้มาจากตัวผู้สอนแต่เพียงแหล่งเดียว บางครั้งผู้วัดอาจต้องเก็บข้อมูลจากเพื่อนร่วมชั้นหรือเพื่อนที่ทำงานในกลุ่มหรือจากผู้ที่นำผลงานไปใช้ เช่น การวัดการทำโครงงานสิ่งประดิษฐ์ผู้วัดอาจเป็นครูผู้สอน ซึ่งสามารถประเมินผลงานของผู้เรียน ขณะเดียวกันก็อาจเก็บข้อมูลจากตัวผู้เรียนว่ามีความเข้าใจในเรื่องที่เสนอมากน้อยเพียงใดประเมินจากเพื่อนในการทำงานกลุ่มร่วมกัน

4. แนวทางการประเมินความสามารถตามคุณสมบัติแต่ละด้าน

เกณฑ์คุณลักษณะ 7 ประการของผู้ที่มีความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ มีแนวทางในการประเมินได้ตามตารางที่ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์คุณลักษณะ 7 ประการของผู้ที่มีความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ

คุณลักษณะ	รายละเอียด	แนวทางการประเมิน
1. ช่างสังเกต	การรับรู้และการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งโดยใช้ประสาทสัมผัสหลายด้าน เพื่อให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งนั้นๆ ทั้งในด้านปริมาณและคุณลักษณะและรายงานข้อมูลตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์ โยไม่ตีความ	ผู้ผู้เรียนสังเกตสิ่งที่กำหนดให้ ให้รายงานสิ่งที่สังเกตได้ ประเมินความสามารถในการสังเกตตามเกณฑ์การให้คะแนน (Scoring Rubrics)
2. คิดต่อเนื่อง	คิดในสิ่งที่สนใจศึกษาที่ต้องการผลิตโดยไม่หยุดคิดเป็นการติดต่อเนื่อง เชื่อมโยงไปสู่ผลงานหรือชิ้นงานที่จะผลิต	ให้งานสังเกตสิ่งของ หรือสิ่งที่ต้องการศึกษา ให้คิดหาทางปรับปรุงสิ่งที่ศึกษาให้ดีขึ้น อาจเป็นสิ่งของ เครื่องใช้ และให้รายงานสิ่งที่คิดได้ตามลำดับความผิด ประเมินจากระดับความคิดที่ต่อเนื่อง
3. มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ	คิดปรับปรุงสิ่งเดิม มีข้อสังเกต ข้อสงสัยในสิ่งรอบตัว แล้วมองต่อไปได้ว่าข้อสงสัยนั้นน่าจะมีปัญหาอะไรและปัญหานั้นจะเกี่ยวข้องกับอะไรบ้าง และคิดปรับเปลี่ยนให้ดีขึ้นกว่าเดิม	ให้ผู้เรียนเสนอ สิ่งประดิษฐ์ชิ้นงานหรือสิ่งที่ต้องการทำ โดยสิ่งที่เสนอนั้นเป็นสิ่งที่มีความค่ามากกว่าสิ่งเดิมที่มีอยู่ ประเมินจากการวิเคราะห์สิ่งที่ต้องการทำ วิเคราะห์ปัญหาเดิมที่มีอยู่และเสนอสิ่งใหม่ ที่ดีกว่าเดิมจากความชัดเจนในการวิเคราะห์งานที่ทำ
4. คิดเชื่อมโยงกับผลิต	คิดเชื่อมโยงจากความคิดนามธรรมไปสู่ความคิดรูปธรรมเป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจมองเห็น และจับต้องได้เช่น ความคิด ค่านิยม ความสามารถในการสรุปเรียบเรียงขึ้นใหม่ก็ได้	ให้ผลิตชิ้นงาน สิ่งประดิษฐ์หรือสิ่งที่ต้องการทำ ให้ผู้เรียนกำหนดวัตถุประสงค์ของงานและรายงานการคิดที่ทำให้ได้ผลงาน ชิ้นงานหรือสิ่งที่ต้องการทำ ประเมินจากความสามารถในการคิด ในการทำสิ่งที่ต้องการให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้สามารถเชื่อมโยงจากแนวคิดไปสู่ผลงานที่ต้องการทำที่เป็นรูปธรรมได้
5. คิดแล้วทำ	ลงมือทำทันที ไม่รีรอลังเล ทำให้ได้ผลผลิตจากการกระทำ ซึ่งผลอาจจะเป็นแนวคิด วิธีการชิ้นงาน ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ หรือผลออกมาเป็นสิ่ง หรือนวัตกรรม	ให้ผลิตชิ้นงาน สิ่งประดิษฐ์หรือสิ่งที่ต้องการทำ ประเมินจากจากลงมือทำทันที ตั้งใจทำงาน

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

คุณลักษณะ	รายละเอียด	แนวทางการประเมิน
6. คิดให้ตลอด	คิดวางแผน คิดรายละเอียดของงาน มองเห็นภาพตั้งแต่ต้นจนจบ และ คาดหวังในผลงานที่จะเกิดขึ้นแล้วลงมือ ทำ ทำจนสำเร็จได้ผลงานหรือชิ้นงาน ออกมา	ให้ผลิตชิ้นงาน สิ่งประดิษฐ์หรือสิ่งที่ ต้องการทำให้ผู้เรียนเสนอผลงานที่ทำได้ และรายงานกระบวนการคิดจนได้ผลงาน ออกมา ประเมินจากผลงานหรือชิ้นงานที่ ทำได้ คุณภาพประสิทธิภาพของงาน และประเมินการคิดในทุกขั้นตอน ตั้งแต่ คิดวางแผนการทำงานขั้นตอนย่อย กระบวนการทำงานจนสำเร็จโดยลำดับ ความคิดที่ต่อเนื่อง ถูกต้อง เหมาะสมใน ขั้นตอนย่อยต่างๆ
7. พร้อมรับการ ทดสอบ	ผลงานหรือผลผลิตที่สำเร็จสมบูรณ์ต้อง พร้อมที่จะได้รับการทดสอบประเมินทั้ง ในเชิงของวิชาการและการนำไปใช้ เพื่อให้ผลงานนั้นมีคุณค่าและนำไปใช้ จริง ยอมรับในผลการประเมิน และ พร้อมปรับปรุงงาน	ประเมินผลงานผู้เรียนพิจารณาใน คุณภาพของผลงานประสิทธิภาพ ความ เหมาะสมความสวยงาม การใช้งาน พิจารณาการปรับปรุงงานจากงานเดิมให้ ดีขึ้นกว่าเดิม

5. การประเมินด้านการเป็นคนช่างสังเกต

ความสามารถในการสังเกต หมายถึง การรับรู้และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่ง หนึ่งโดยใช้ประสาทสัมผัสหลายด้าน เพื่อให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งนั้นๆ ทั้งในด้านปริมาณและ คุณลักษณะ และรายงานข้อมูลตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์โดยไม่ตีความ การประเมินด้านการเป็นคนช่าง สังเกตสามารถประเมินได้ตามเกณฑ์ได้ดังตารางที่ 2.7 ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์การประเมินด้านการเป็นคนช่างสังเกต

เกณฑ์การประเมินคุณภาพ (Rubric)

ขั้นตอนการสังเกต	ตัวบ่งชี้ทักษะการสังเกต	เกณฑ์การประเมินทักษะการสังเกต
1. รับรู้สิ่งที่สังเกต	1. มีความตั้งใจ สมาธิ และความเข้าใจในการสังเกต	1. ความตั้งใจ สมาธิ และความไวในการรับรู้ (มีมาก-น้อย)
2. ใช้ประสาทสัมผัสหลายทาง (หู ตา จมูก ลิ้น กาย) ในการรับรู้และสำรวจสิ่งที่สังเกต	2. สามารถใช้ประสาทสัมผัสหลายทางในการรับรู้และสำรวจสิ่งที่สังเกต	2. การใช้ประสาทสัมผัสในการรับรู้ (ใช้หลายทาง-ทางเดียว) - ความละเอียดในการสังเกต (มีมาก-น้อย)
3. รวบรวมข้อมูลการสังเกตทั้งด้าน คุณลักษณะและปริมาณ	3. สามารถรวบรวมข้อมูลการสังเกตได้ ทั้งด้านคุณลักษณะและปริมาณ	3. ลักษณะของข้อมูลการที่สังเกตได้ (มี ครบ-ไม่ครบทั้งด้านคุณลักษณะ & ปริมาณ) - ความละเอียดของข้อมูล
4. รายงานข้อมูลการสังเกตตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์	4. สามารถรายงานข้อมูลการสังเกตตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์	4. การรายงานข้อมูลที่สังเกต (รายงานตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์-ไม่ตรง)
5. รายงานข้อมูลการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล	5. สามารถรายงานข้อมูลการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล	5. การรายงานข้อมูลที่สังเกต (รายงานข้อมูลเชิงประจักษ์โดยไม่มีการตีความมีการตีความข้อมูล)

จากการศึกษาเอกสารข้างต้นสรุปได้ว่า ในการจัดการเรียนการสอนวิชาเคมีโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นอกจากจะช่วยให้นักเรียนทำความเข้าใจความรู้ทางเคมีและเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ดีแล้วยังเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกฝนการใช้ความคิดเชิงผลิตภาพได้ด้วยตามขั้นตอนการสอนของการใช้แบบจำลองเป็นฐานในการจัดการเรียนรู้

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 วิจัยภายในประเทศ

เชาวรินทร์ สีใหม่ และวัชรภรณ์ แก้วดี (2552) ได้ศึกษาผลของการใช้รูปแบบการสอนเชิงผลิตภาพที่มีต่อมโนทัศน์ทางธรณีวิทยาและความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นพบว่า 1) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ทางธรณีวิทยาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ทาง

กรณีศึกษาหลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเมโนทศทางกรณีศึกษาหลังเรียนเฉลี่ยร้อยละ 71.52 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือสูงกว่าร้อยละ 70 4) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการสร้างแบบจำลองใน 3 หน่วยการเรียนรู้เท่ากับ 2.73 2.81 และ 2.91 คะแนนตามลำดับ ซึ่งแสดงว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 หน่วยการเรียนรู้อยู่ในระดับดี

ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์ และคณะ (2556) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิด เรื่อง โครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่าเมื่อนักเรียนได้เรียนรู้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองอยู่ในกลุ่มที่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับเพิ่มขึ้นในทุกประเด็นที่ศึกษา

นิภาภรณ์ จันทะโยธา และสุวัตร นานันท์ (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาวิถีมโนคติวิทยาศาสตร์และการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง ของแข็ง ของเหลวและแก๊สของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่านักเรียนมีชนิดของความเข้าใจมโนคติวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น มีระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นและพัฒนาวิถีมโนคติวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดี แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสามารถสร้างความเข้าใจมโนคติของนักเรียนได้

อารยา คุ้มณกุล (2557) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีเรื่องสารชีวโมเลกุลด้วยการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนามโนทศทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่ามโนทศทางวิทยาศาสตร์เรื่องสารชีวโมเลกุลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสูงกว่าการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีมโนทศทางวิทยาศาสตร์เรื่องสารชีวโมเลกุลและความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ณัฐภรณ์ ทองคำพิพัฒน์กุล (2558) ได้ศึกษาการส่งเสริมแนวคิดเรื่องพันธะโคเวเลนต์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการใช้คำถามที่ช่วยให้เกิดการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน มีการใช้สื่อการเรียนรู้ที่หลากหลายและให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง มีปฏิสัมพันธ์กันกับเพื่อนในชั้นเรียน ทำให้นักเรียนสามารถพัฒนาแนวคิดเรื่องพันธะโคเวเลนต์ให้มีแนวคิดวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น

ธัญญา คงทน และคณะ (2558) ได้ศึกษาการพัฒนาแนวคิดเรื่องเคมีอินทรีย์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานโดยให้ความสำคัญกับการใช้คำถามที่ช่วยให้เกิดการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน ส่งเสริมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติจริง มีปฏิสัมพันธ์กันกับเพื่อนในชั้นเรียนใช้กระบวนการสร้าง แสดงออก ทดสอบ ประเมิน และขยายแบบจำลองที่สร้างขึ้น ประกอบกับการใช้สื่อ

การเรียนรู้ที่หลากหลายทำให้นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 45.8 สามารถพัฒนาแนวคิดเรื่องเคมีอินทรีย์ให้มีแนวคิดที่ถูกต้อง (SU) รองลงมาร้อยละ 29.5 มีแนวคิดถูกต้องบางส่วน (PU) ร้อยละ 15.8 มีแนวคิดถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU/SM) และร้อยละ 8.9 มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) โดยหัวข้อที่นักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องมากที่สุดคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและหัวข้อที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ ไอโซเมอร์

ลัทธวรรณ ศรีวิศา และคณะ (2558) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อมนต์ เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ในระบบสุริยะของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อมนต์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 สามารถพัฒนามนต์ เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ในระบบสุริยะของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยนักเรียนมีความเข้าใจมนต์ที่สมบูรณ์หลังการจัดการเรียนรู้เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 3.39 เป็นร้อยละ 52.11 มีความเข้าใจมนต์วิทยาศาสตร์บางส่วนหลังการจัดการเรียนรู้เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 15.28 เป็นร้อยละ 24.00 มีความเข้าใจมนต์ทางวิทยาศาสตร์เพียงบางส่วนและมีมนต์วิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อนหลังการจัดการเรียนรู้ลดลงจากร้อยละ 10.89 เป็นร้อยละ 10.39 มีความเข้าใจมนต์ทางวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อนหลังการจัดการเรียนรู้ลดลงจากร้อยละ 42.89 เป็นร้อยละ 10.89 และไม่มโนมนต์หลังการจัดการเรียนรู้จากร้อยละ 26.67 เป็นร้อยละ 2.44

5.2 วิจัยต่างประเทศ

โฮลลิงสวอร์ธ (Claeke Hollingsworth, 2002) ได้นำเสนอความรู้ในด้านแบบจำลองได้ 3 ประเภทได้แก่ ประเภทแรก ความเข้าใจทั่วไปในตัวแบบจำลองและการสร้างแบบจำลอง ประเภทที่ 2 ความเข้าใจเรื่องความจำเป็นของการใช้แบบจำลองในการสอนวิทยาศาสตร์ และประเภทที่ 3 วิธีการใช้แบบจำลองในการสอน กลุ่มตัวอย่างการวิจัยคือครูวิทยาศาสตร์ที่กำลังศึกษาในหลักสูตรการสอนของมหาวิทยาลัยเลียเดน ประเทศเนเธอร์แลนด์ เครื่องมือการวิจัยประกอบด้วยการสัมภาษณ์เดี่ยวแบบสอบถาม การอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น การฝึกปฏิบัติ ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองการเชื่อมโยงระหว่างกัน (IMTPS) สามารถพัฒนาความรู้ให้กับครูวิทยาศาสตร์ พัฒนาครูวิทยาศาสตร์ให้สามารถใช้แบบจำลองไปใช้ในการสอนวิทยาศาสตร์ได้ และสามารถเป็นกรอบในการออกแบบแผนการพัฒนาศักยภาพครูและสามารถนำแบบจำลองการเชื่อมโยงระหว่างกัน (IMTPS) ไปใช้ในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจว่า ครูสามารถพัฒนาความรู้ด้านแบบจำลองวิทยาศาสตร์ได้อย่างไร

จัสติ และดีเวล (Justi and Dviel, 2006) อาจารย์แผนกเคมีของมหาวิทยาลัยมินัสเจอเรีย ประเทศบราซิล และอาจารย์จากมหาวิทยาลัยเลียเดน ประเทศเนเธอร์แลนด์ตามลำดับ ได้ร่วมกันศึกษาวิจัยนักศึกษาคูในมหาวิทยาลัยของตนเองโดยใช้แบบจำลองรูปแบบเพื่อพัฒนาครูในการสอนแบบจำลองสามารถเชื่อมโยงระหว่างกัน โดยมีแนวคิดพื้นฐานว่าแบบจำลองช่วยให้สามารถมองเห็นกระบวนการที่เข้าใจยากหรือสิ่งที่เป็นนามธรรมได้ เช่น การเรียนเรื่อง DNA จึงมุ่งพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ให้สามารถใช้แบบจำลองในการสอนวิทยาศาสตร์ เช่น ภาพวาด สถานการณ์สมมติ และแบบจำลองจากของจริง จึงพัฒนาความรู้ให้กับครูวิทยาศาสตร์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ครั้งนี้คือ แบบจำลองการเชื่อมโยงระหว่างกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงผลิตภาพ

โดยศึกษาจากกิจกรรมการเรียนการสอนโดยให้นักเรียนสร้างแบบจำลองผลที่ได้จากงานวิจัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศมีความสอดคล้องกัน คือการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้มีโอกาสสร้างแบบจำลองนั้นมีส่วนทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ และมีการพัฒนาการคิดในรูปแบบต่าง ๆ เข้าใจในสิ่งที่เป็นามธรรมมากยิ่งขึ้นซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

