บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์นี้ มีนักการศึกษา นักวิจัย ได้แสดงทัศนะตลอดจนทำวิจัยไว้ ซึ่งผู้วิจัยได้คัดเลือก รวบรวมจากหนังสือ วารสาร บทความ เอกสารและรายงานผลการวิจัย ดังต่อไปนี้

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของ อีเอสแอลไอ (ESLI ย่อมาจาก Elementary Science Learning by Investigating) กล่าวว่า ในการศึกษาวิทยาศาสตร์นั้น เด็กจำเป็นต้องมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วย ไม่ว่าจะอยู่ในระดับชั้นใดก็ตาม และการประเมินผลความก้าวหน้าในการเรียนของนักเรียนจะต้องคำนึงถึงเรื่อง ทักษะกระบวนการเท่า ๆ กับการเข้าใจในเนื้อหาวิชา ซึ่งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ของ ESLI นั้นประกอบด้วยทักษะดังต่อไปนี้ คือ

1. การสังเกต (Observation) หมายถึงการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสและการนำเสนอข้อมูลจากการรับรู้นั้น

2. การจัดกระทำต่อข้อมูล (Data Treatment) หมายถึงการเก็บรวบรวม การบันทึก การวิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลที่ได้มาด้วยตนเอง หรือกลุ่มหรือในชั้นเรียน

3. การพยากรณ์ และการตั้งสมมติฐาน (Prediction and Hypothesis Formation) หมายถึง แนวคิดที่นำไปสู่การตั้งสมมุติฐาน และวิธีที่จะทดสอบสมมติฐานนั้น การสร้างสมมุติฐานนั้นรวมถึงทักษะในการที่จะปฏิเสธหรือยอมรับสมมุติฐาน โดยอาศัยข้อมูลหรือหลักฐานที่เป็นข้อพิสูจน์ซึ่งรวบรวมมาได้

4. การจัดจำพวก (Classification) หมายถึง การจัดกลุ่ม โดยดูจากความแตกต่างและคล้ายคลึง ซึ่งรวมไปถึงการพิจารณาถึงคุณลักษณะที่สิ่งนั้นมีอยู่ด้วย

5. การบ่งชี้ (Identification) หมายถึง ความสามารถบอกสมาชิกภายในกลุ่มได้ โดยดูจากคุณสมบัติและลักษณะซึ่งผิดแผกไปจากกลุ่ม

6. การวัด (Measurement) หมายถึงความสามารถบอกปริมาณที่แน่นอนและถูกต้องโดยใช้ระบบการวัดที่เป็นมาตรฐาน และรู้ถึงความแตกต่างกันในด้านปริมาณ สามารถบอกได้ว่าอะไรมากกว่าหรือน้อยกว่า และกำหนดคุณค่าของปริมาณได้ นอกจากนี้ทักษะในด้านนี้ยังรวมถึงการเลือกหน่วยที่เหมาะสมในการวัด และปริมาณพอเหมาะที่จะใช้ในการทดลอง

7. การพัฒนาเทคนิควิธีปฏิบัติในห้องทดลอง (Development of Acceptable Laboratory Techniques) หมายถึงความสามารถในการสร้าง การเลียนแบบ และการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์อย่างง่าย ๆ การรู้จักเก็บรักษาเครื่องมือได้อย่างถูกต้อง และสามารถใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ในแบบที่ได้รับการสอน

8. การวิเคราะห์และการสังเคราะห์ (Analysis and Synthesis) หมายถึงความสามารถในการตรวจสอบพิจารณารายละเอียดของปัญหา หรือแนวคิดหรือสังกัป (Concept) และรวมถึงการนำข้อมูลย่อยมาพิจารณาร่วมกันเพื่อนำไปสู่หลักเกณฑ์กว้าง ๆ

9. การสื่อความหมาย(Communication) หมายถึงความสามารถในการมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับผู้อื่น เพื่อที่แสดงออกซึ่งความรู้สึกนึกคิดทั้งในรูปของนามธรรมและรูปธรรม[1]

โอเค และ ฟิล (Okey and Fiel) ได้ค้นคว้าเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และสรุปว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ครูวิทยาศาสตร์ควรมี 10 ประเภท คือ

1. การกำหนดตัวแปร (Identifying Variables) คือความสามารถที่จะบอกได้ว่าอะไรเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และอะไรเป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables) หรืออะไรที่เป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดผลนั้น

---

[1] Nell Garland, Brewer A.C, Thomas F. Edwards, Ann Marshall and Jerome J. Notkin, Elementary Science Learning by Investigation. Teacher's Edition, 2 nd. ed, (Rand Mc Nally & Company, 1973): 3.

2. การสร้างตารางข้อมูล (Constructing a Table of Data) คือความสามารถในการสร้างตารางข้อมูลจากข้อความต่าง ๆ หรือจากการทดลองได้อย่างถูกต้อง ในการสร้างตารางข้อมูลนั้น ส่วนมากนิยมขึ้นต้นด้วยตัวแปรอิสระ แล้วต่อมาจึงเป็นตัวแปรตาม และค่าตัวเลขมักนิยมจัดเรียงลำดับจากน้อยมาหามาก

3. การเขียนกราฟ (Constructing a Graph) คือความสามารถที่จะเขียนกราฟได้จากคำอธิบาย หรือจากตารางข้อมูล หรือจากการทดลอง ซึ่งในการเขียนกราฟ นิยมให้ตัวแปรอิสระอยู่บนแกน X และตัวแปรตามอยู่บนแกน Y

4. การอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ (Describing Relationships between Variables) คือความสามารถที่จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากกราฟที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้อง

5. การเก็บและรวบรวมข้อมูล (Acquiring and Processing Your Own Data) คือความสามารถในการทำการรวบรวมและเก็บข้อมูล สร้างตารางข้อมูล เขียนกราฟ และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้

6. การวิเคราะห์ขบวนการทำการทดลอง (Analyzing Investigations) คือความสามารถในการกำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม การควบคุมตัวแปรภายนอกสำหรับการทดลอง และการบ่งชี้สมมุติฐานที่จะทดสอบ เมื่อได้รับคำอธิบายเกี่ยวกับการทดลองนั้น

ตัวแปรอื่น ๆ นอกเหนือไปจากตัวแปรอิสระ อาจจะส่งผลกระทบกระเทือนต่อผลของการทดลอง ตัวแปรเหล่านี้เรียกว่า ตัวแปรที่ต้องควบคุม (Controlled Variables) ซึ่งในการทดลองทุกครั้ง เราต้องพยายามควบคุมไม่ให้ตัวแปรภายนอกเข้ามาส่งผลกระทบกระเทือนต่อการทดลอง

ตัวแปรภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Explicit Variables) กับตัวแปรที่ควบคุมไม่ให้ส่งผลต่อการทดลองไม่ได้ (Implicit Variables)

หลักเกณฑ์ในการควบคุมตัวแปรภายนอก คือ ถ้าหากไม่สามารถกำจัดออกไปจากการทดลองได้ ก็ทำให้มันมีผลต่อการทดลองทุกขั้นตอนเท่า ๆ กัน

7. การตั้งสมมุติฐาน(Constructing Hypothesis)คือความสามารถที่จะตั้งสมมุติฐานได้เมื่อกำหนดปัญหาให้

ก่อนที่จะตั้งสมมุติฐานต้องพิจารณาดูก่อนว่า มีอะไรบ้างที่เป็นตัวแปรในการทดลองนั้น และมีอะไรบ้างที่เป็นตัวแปรของสิ่งแวดล้อมของการทดลอง แล้วจัดเข้าหมวดหมู่ของตัวแปรทั้งสามชนิด และในการตั้งสมมุติฐานนั้นต้องควบคุมตัวแปรภายนอกให้หมด แล้วให้เหลือเพียงตัวแปรอิสระที่จะก่อให้เกิดผลนั้นเพียงอย่างเดียว จากนั้นจึงตั้งสมมุติฐานเพื่อทำการทดสอบ

ดังนั้นการตั้งสมมุติฐาน คือการคาดคะเนผลที่จะปรากฏเมื่อเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระ การคาดคะเนนี้อาจจะได้แนวทางมาจากความจริง ความคิดเห็นและประสบการณ์ ฯลฯ

8. การให้นิยามปฏิบัติการ (Defining Variables Operationally)คือความสามารถในการสร้างคำนิยามปฏิบัติการของตัวแปรต่าง ๆ การให้นิยามปฏิบัติการ ก็คือการกำหนดลงไปว่า ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในการทดลองนั้นจะสามารถวัดได้อย่างไร

9. การออกแบบการทดลอง (Designing Investigations) คือความสามารถที่จะออกแบบการทดลองได้ เมื่อกำหนดสมมุติฐานมาให้ การออกแบบการทดลองประกอบไปด้วย

- การให้นิยามปฏิบัติการของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม
- การกำหนดและควบคุมตัวแปรภายนอก
- การเลือกวัดค่าต่าง ๆ ของตัวแปรอิสระ

10. การทดลอง (Experimenting) คือ ความสามารถในการตั้งสมมุติฐาน ออกแบบการทดลอง และดำเนินการทดลองตามแบบการทดลองเพื่อที่จะรวบรวมข้อมูลสำหรับพิสูจน์สมมุติฐานเมื่อกำหนดปัญหาให้[1]

---

[1] James R.Okey and Ronald L. Fiel, Basic Process Skills Program, (Bloomington: Indiana University, 1973), PP. 1-10.

ซันด์ (Sund) ได้แบ่งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ควรให้เด็กได้พัฒนาออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ

1. ทักษะเกี่ยวกับวิธีหาความรู้ (Acquisitive Skills) ได้แก่ การฟัง การสังเกต การค้นคว้า การสอบถาม การสืบสวน การรวบรวมข้อมูล และการวิจัย

2. ทักษะเกี่ยวกับการรวบรวม (Organization Skills) ได้แก่การบันทึก การเปรียบเทียบความเหมือน ความแตกต่าง การจัดจำแนก การเรียบเรียงอย่างเป็นระเบียบ การเขียนโครงเรื่อง การพินิจ (Reviewing) การประเมินและการวิเคราะห์

3. ทักษะในด้านสร้างสรรค์ (Creativity Skills) ได้แก่การวางแผนล่วงหน้า การออกแบบปัญหา วิธีการใหม่ ๆ หรือเครื่องมือระบบใหม่ ๆ การประดิษฐ์ และการสังเคราะห์

4. ทักษะในด้านการกระทำ (Manipulative Skills) ได้แก่การใช้เครื่องมือ การระวังรักษา การสาธิต การทดลอง และการซ่อมเครื่องมือ

5. ทักษะในการสื่อความหมาย (Communicative Skills) ได้แก่การตั้งคำถาม การอภิปราย การบรรยาย การเขียนรายงาน การวิพากษ์วิจารณ์ ตลอดจนความสามารถในการสอนเพื่อน ๆ ได้[1]

สมาคม AAAS (American Association for the Advancement of Science) ได้แบ่งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการค้นคว้าพบสิ่งใหม่ ๆ มี 13 ทักษะ คือ

ก. ทักษะขั้นต้น (The Basic Process Skill) ได้แก่

1. การสังเกต (Observing)

2. การใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่อยู่และเวลา (Using Space/Time Relationships)

---

[1] Robert B. Sund and Leslie W. Trowbridge, Teaching Science by Inquiry, (Ohio: Charles E. Merrill Books, 1967), p.93.

3. การจัดจำพวก (Classifying)

4. การใช้จำนวนเลข (Using Numbers)

5. การวัด (Measuring)

6. การสื่อความหมาย (Communicating)

7. การทำนาย (Predicting)

8. การสรุปอ้างอิง (Inferring)

ข. ทักษะขั้นสูง (The Integrated Process Skill) ได้แก่

1. การควบคุมตัวแปร (Controlling Variables)

2. การแปลความหมายจากข้อมูล (Interpreting Data)

3. การสร้างสมมุติฐาน (Constructing Hypotheses)

4. การให้นิยามปฏิบัติการ (Defining Operationally)

5. การปฏิบัติการทดลอง[1] (Experimenting)

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 13 ทักษะ จึงขออธิบายรายละเอียด ดังนี้

1. การสังเกต เป็นทักษะขั้นพื้นฐานที่สุดของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นการใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 คือ ตา หู จมูก ลิ้น และกาย เข้าไปสำรวจวัตถุหรือ ปรากฏการณ์ธรรมชาติ

การสังเกต คือ ความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้คือ

1.1 สามารถที่จะบ่งชี้ (Identify) และบอกชื่อ (Name) คุณสมบัติของวัตถุหรือสถานการณ์โดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 และต้องสามารถใช้ประสาทสัมผัสได้อย่างถูกต้องกับสถานการณ์ ว่าตอนไหนจะใช้สัมผัสอะไรได้บ้าง

---

[1] The American Association for the Advancement of Science, Science A Prosess Approach, Commentary for Teacher, (Washington, D.C:AAAS, 1970), PP. 33-176.

1.2 สามารถที่จะรายงานผลของการสังเกตออกมาในรูปของจำนวน (Quantitative Terms) คือต้องมีการสังเกตพร้อมกับการวัดควบคู่กันไป เรียกว่าการสังเกตเพื่อทราบปริมาณ ซึ่งผลการสังเกตที่จะปรากฏออกมาในรูปของจำนวนได้นั้นต้องเกิดจากการสังเกตที่อ้างอิงไปถึงหน่วยมาตรฐานต่าง ๆ เช่น หน่วยของขนาด น้ำหนัก อุณหภูมิ เป็นต้น

1.3 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตได้ (Observable Changes) ของคุณสมบัติของวัตถุ การสังเกตโดยทั่วไปมักจะเกี่ยวข้องกับการกระทำบางอย่างที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นแก่วัตถุอยู่เสมอ ดังนั้นสิ่งที่ควรสังเกตอย่างระมัดระวังคือคุณลักษณะของสถานการณ์ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง กับลำดับก่อนหลังของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

1.4 สามารถที่จะแยกการสังเกตออกจากการสรุปอ้างอิง (Inferences) ได้ การสังเกตคือ การบ่งชี้ถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ได้จากการใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า โดยตรงเป็นการบันทึกหลักฐานตามความเป็นจริง โดยไม่ใส่ความคิดเห็นของเราลงไป แต่การสรุปอ้างอิงนั้นเกี่ยวข้องกับการตีความผลของการสังเกตที่ได้มา หรือกล่าวว่าการสังเกตเป็นพื้นฐานของการลงข้อสรุปใหม่ และการตั้งสมมุติฐานใหม่และเป็นเครื่องมือสำหรับทดสอบข้อสรุปหรือสมมุติฐาน ตัวอย่าง เมื่อเห็นถนนเปียกเราบอกเพื่อนว่า ฝนคงจะตกก่อนหน้านี้ การที่รู้ว่าถนนเปียกนั้นเป็นผลของการสังเกต แต่การที่บอกว่าฝนคงจะตกก่อนหน้านี้นั้น เป็นการสรุปอ้างอิง โดยการใส่ความคิดเห็นของเราลงไป ซึ่งเป็นการแปลความหมายจากสิ่งที่ได้พบเห็น ซึ่งเพื่อนอาจจะค้านเราได้ว่าอาจจะไม่ใช่ฝนตก อาจจะเกิดจากการล้างถนนก็ได้ จะเห็นได้ว่าการสรุปอ้างอิงนั้นก่อให้เกิดการขัดแย้งได้มากกว่าการสังเกต

2. การใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่อยู่ และเวลา ทักษะขั้นนี้เป็นกระบวนการที่พัฒนาทักษะในความสัมพันธ์ระหว่างที่ว่างและการเปลี่ยนแปลงในเวลา ซึ่งรวมทั้งการศึกษาถึงรูปร่าง สมมาตร การเคลื่อนที่ ทิศทาง และอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลง ฉะนั้นทักษะในขั้นนี้ คือความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้

2.1 สามารถวาดภาพสามมิติของวัตถุได้เหมือนของจริง

001366

2.2 สามารถบ่งชี้ บอกชื่อ และแสดงให้เห็นถึงสมมาตรของเส้น (Line Symmetry) ของวัตถุ 2 มิติ และสมมาตรของระนาบ (Plane Symmetry) ของวัตถุ 3 มิติได้ และสามารถมองเห็นภาพการผ่าตามขวางหรือการตัดของวัตถุได้

2.3 สามารถสร้างภาพ 3 มิติจากภาพ 2 มิติรูปสี่เหลี่ยมได้

2.4 สามารถสร้างภาพ 2 มิติ จากภาพ 3 มิติของกล่องสี่เหลี่ยมลงบนระนาบใด ๆ ได้ด้วยเงาของมิติที่ 3

2.5 จับเวลาของกิจกรรมต่าง ๆ ออกมาเป็น นาที และวินาทีได้

2.6 บอกและใช้กฎเพื่อหาความเร็วตามแนวเส้น (Linear Speed) ของจุดบนเส้นรอบวงของวัตถุทรงกลมที่กำลังหมุนได้

2.7 สร้างเวคเตอร์เพื่อแสดงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ได้ คือเรื่องการเปลี่ยนแปลงของทิศทางและอัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลง

ตัวอย่าง ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่อยู่กับเวลา เช่น การหาตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป

3. การจัดจำพวก คือความสามารถในการแยกวัตถุต่าง ๆ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ ออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยการหา เกณฑ์ในการจำแนก ซึ่งเกณฑ์ในการจำแนก คือ ความเหมือนกัน ความแตกต่างและความสัมพันธ์ของสิ่งนั้น ๆ ซึ่งการจัดจำพวกต้องอาศัยการสังเกตเป็นพื้นฐาน

การจัดจำพวกเป็นทักษะที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการกำหนดระบบในการรวบรวมวัตถุหรือเหตุการณ์ เช่น นักชีววิทยา แบ่งสิ่งมีชีวิตออกเป็น พืช และสัตว์ นักเคมีแบ่งสารเป็นกรดและด่าง นักฟิสิคส์แบ่งอนุภาคของสาร ออกโดยยึดเรื่อง มวล การนำไฟฟ้า และครึ่งชีวิต(Half life) นักดาราศาสตร์แบ่งดาวออกโดยยึดเรื่อง ขนาด และสี เป็นต้น

การจัดสิ่งของออกเป็นประเภทนี้ เป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษาวิทยาศาสตร์ เพราะจะทำให้เกิดความสะดวกในการศึกษา และบางครั้งเมื่อแบ่งอะไรก็ตามออกเป็นประเภทแล้วจะได้รับความรู้ใหม่เกิดขึ้นจากการแบ่งประเภทนั้นด้วย

4. การใช้จำนวนเลข เป็นทักษะขั้นพื้นฐานที่สำคัญของวิทยาศาสตร์ และแตกต่างจากทักษะขั้นพื้นฐานอื่น 7 ทักษะ คือ ทักษะการใช้จำนวนเลขเกี่ยวข้องกับทางคณิตศาสตร์

เพราะคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมืออันจำเป็นของวิทยาศาสตร์ เพราะเกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่าต่าง ๆ จากผลการทดลองเพื่อใช้ประโยชน์ในการแปลความและลงข้อสรุปได้

การใช้จำนวนเลข คือ ความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้

4.1 บอกชื่อจุดบนเส้นจำนวน (Number line) โดยใช้เลขจำนวนเต็ม บวก ลบ และศูนย์ และเลขทศนิยม

4.2 บ่งชี้จุดบนเส้นจำนวนได้เมื่อกำหนดเลขจำนวนเต็ม บวก ลบ และศูนย์ และเลขทศนิยมให้

4.3 บวก ลบ คูณ หาร จำนวน 2 จำนวน บนเส้นจำนวนได้

4.4 บอกและใช้กฎเกณฑ์สำหรับการหาค่าเฉลี่ย (Mean) ของจำนวนชุดหนึ่งได้ และสามารถเขียนออกมาในรูปของเส้นตรงของจำนวนได้ หาอัตราการเปลี่ยนแปลงในรูปของอัตราส่วนได้ และแปลงอัตราส่วนให้เป็นทศนิยมได้

5. การวัด เป็นการหาปริมาณของสิ่งที่เราสังเกตออกมาเป็นตัวเลขด้วยเครื่องมือสำหรับวัด ซึ่งการสังเกตล้วน ๆ ทำให้เราทราบแต่เพียงรูปร่างลักษณะและคุณสมบัติทั่วไปอย่างหยาบ ๆ ของสิ่งที่สังเกต แต่การวัดจะช่วยให้เราทราบปริมาณของสิ่งนั้น ๆ อีกด้วย การวัดยิ่งละเอียดเท่าใด ความรู้วิทยาศาสตร์ก็ยิ่งถูกต้องขึ้นเท่านั้น

การวัด คือความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้

5.1 ใช้เครื่องมือธรรมดาเพื่อวัด ความยาว ความกว้าง ความสูง มวล และเวลาได้

5.2 สามารถใช้กฎเกณฑ์เพื่อคำนวณหา จำนวนอนุพันธ์ (Derived quantities) จากการวัดตั้งแต่สองครั้งขึ้นไป โดยปกติแล้วจำนวนอนุพันธ์ไม่สามารถวัดโดยตรงได้ ต้องใช้การวัดหลายอย่างมาประกอบกันแล้วคำนวณหาค่าออกมา จำนวนอนุพันธ์ เช่น ความเร็ว พื้นที่ ความร้อน ความหนาแน่น ปริมาตร การวัดแบบนี้เรียกว่า การวัดทางอ้อม

5.3 สามารถแยกความหมายของความเที่ยงตรง (Accuracy) และความเชื่อถือได้ (Precision) ออกจากกันได้

ความเที่ยงตรงหมายถึง ผลของการวัดที่ตรงกับค่าจริงมากที่สุด ค่าจริงนี้อาจจะได้มาจากการวัดโดยระมัดระวังที่สุดโดยเครื่องมือที่ดีที่สุด

ความเชื่อถือได้ หมายถึง ความตรงกันของผลการวัดซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง โดยปกติแล้ว การวัดซ้ำกันนี้มักจะไม่ได้ค่าเดียวกันเสมอไป ดังนั้นในการรายงานผลการวัดจึงมักจะรายงานในรูปของค่าเฉลี่ย

ในการวัดย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับตัวประกอบ 3 ประการคือ รูปร่างลักษณะของสิ่งที่จะวัด ความละเอียดของเครื่องมือที่จะวัด และความสามารถของผู้วัด

5.4 สามารถคาดคะเนหรือประมาณค่าของการวัดที่ใกล้เคียงค่าจริง เช่น ถ้าท่านใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของอย่างหนึ่ง ปรากฏว่าระดับของของเหลวอยู่ระหว่างสเกล 25 °C กับ 26 °C เราสามารถประมาณอุณหภูมิได้ว่า 25.5 °C ซึ่งการประมาณค่าว่า 25.5 °C นี้ความถูกต้องมากกว่าจะรายงานออกมาว่า 25 °C หรือ 26 °C โดยปกติเราจะประมาณค่า $\frac{1}{10}$ ของสเกลที่เล็กที่สุดที่แบ่งไว้บนเครื่องมือวัดนั้น ๆ

การเลือกและใช้เครื่องมือวัดให้ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญมาก ในการวัดแต่ละครั้งต้องรู้จักเลือกวัดให้ได้ค่าเที่ยงตรง หรือเชื่อถือได้ หรือเพียงแต่ค่าประมาณ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับจุดมุ่งหมายของการวัด

6. การสื่อความหมาย เป็นกระบวนการขั้นพื้นฐานของงานของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจจะสื่อความหมายด้วยปากเปล่า การเขียนออกมาด้วยคำ แผนภาพ แผนที่ กราฟ สมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในการถ่ายทอดต้องชัดเจน ถูกต้องแม่นยำ ไม่กำกวม

การสื่อความหมาย คือความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้

6.1 อธิบายลักษณะและสมบัติของวัตถุด้วยรายละเอียดที่เพียงพอ จนผู้ฟังสามารถชี้บ่งวัตถุนั้น ๆ ได้

6.2 อธิบายการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของวัตถุได้

6.3 สร้างแผนที่เพื่อแสดงตำแหน่งของวัตถุ และระยะระหว่างวัตถุได้

6.4 เขียนกราฟแท่งหรือตัวเลขต่าง ๆ ที่ได้จากการวัด

6.5 อธิบายความสัมพันธ์และแนวโน้ม ของตัวแปรบนกราฟได้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรบนกราฟนี้ ให้สามารถอธิบายได้ทั้งกราฟแบบตัวแปรที่มีค่าต่อเนื่องกัน (Continuous Variables) ซึ่งได้แก่กราฟเส้นกับตัวแปรที่มีค่าไม่ต่อเนื่องกัน (Discontinuous Variables) ซึ่งได้แก่กราฟแท่ง

7. การทำนาย คือ การคาดคะเนผลที่เกิดขึ้นในอนาคตจากข้อมูลที่เรามีอยู่ ซึ่งการทำนายมีวิธีการใกล้เคียงกับกระบวนการขั้น สื่อความหมาย เพราะจะต้องเอาข้อมูลมาจัดเป็นตาราง และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร แล้วจึงทำนายผลออกมา

การทำนาย คือ ความสามารถที่จะ

7.1 ทำนายภายในขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่ (Interpolating) คือเรามีข้อมูลอยู่ชุดหนึ่ง และเราหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในข้อมูลได้แล้ว เราก็สามารถที่จะทำนายค่าต่าง ๆ ที่ไม่เกินขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่ได้ เช่นเราสังเกตและบันทึกไว้ว่าวันที่ 1 มกราคม ดวงอาทิตย์ขึ้นเวลา 7.22 น. วันที่ 1 กุมภาพันธ์ ดวงอาทิตย์ขึ้น 7.09 น. ฉะนั้นวันที่ 15 มกราคม ดวงอาทิตย์จะขึ้นเวลาเท่าใด ก็เป็นการทำนายภายในขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่

7.2 ทำนายนอกขอบเขตของข้อมูลที่มีอยู่ (Extrapolating) เช่นเมื่อเราแขวนน้ำหนัก 4 กรัม ทำให้สปริงยืดหดได้ 6 ซม. ถ้าแขวน 2 กรัม สปริงยืดหดได้ 3.2 ซม. ถามว่าถ้าแขวนน้ำหนัก 10 กรัม สปริงจะยืดหดได้เท่าใด ก็เป็นการทำนายนอกข้อมูล โดยเอาข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแล้วหาว่า 10 กรัม สปริงจะยืดได้เท่าไร

7.3 สามารถทดสอบผลของการทำนายได้ ด้วยการสังเกตซ้ำอีกครั้ง เพราะการทำนายเป็นการคาดคะเน ผลของการสังเกตในอนาคต ซึ่งการทำนายมีพื้นฐานอยู่บนการสังเกต การวัดและการสรุปอ้างอิงระหว่าง ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สังเกต การทำนายที่ไม่ได้มีพื้นฐานอยู่บนการสังเกตก็คือ การเดา ผลของการทำนายที่ถูกต้องแม่นยำมีผลมาจากการสังเกตอย่างละเอียดรอบคอบ ระมัดระวังและการวัดที่แม่นยำ

8. การสรุปอ้างอิง คือความสามารถที่จะ

8.1 ทำการสรุปอ้างอิง 1 แบบหรือหลาย ๆ แบบจากข้อมูลที่สังเกตมาได้

1 ชุด

8.2 บ่งชี้การสังเกตที่สนับสนุนการสรุปอ้างอิงนั้น ๆ

8.3 อธิบายและแสดงให้เห็นการสังเกตเพิ่มเติมเพื่อทดสอบการสรุปอ้างอิง

8.4 บ่งชี้การสรุปอ้างอิงที่ควรจะยอมรับ ไม่ยอมรับ หรือควรจะปรับปรุงภายหลังจากที่ได้สังเกตเพิ่มเติม ✓

พื้นฐานของการคิดอย่างชัดแจ้งและถูกต้องตามหลักตรรกวิทยา ก็คือการแยกการสังเกตออกจากการสรุปอ้างอิง เพราะว่าการสังเกตเป็นประสบการณ์ที่ได้มาจากการใช้ประสาทสัมผัส แต่การสรุปอ้างอิง คือการอธิบายสิ่งที่สังเกตได้ ตัวอย่างเช่น เรานั่งอยู่ในบ้าน มองเห็นน้ำฝนไหลลงมาตามชายคา มองเห็นแสงสว่างวูบขึ้นมานอกหน้าต่าง แล้วทันทีทันใดนั้นได้ยินเสียงดังสนั่นตามมา เราก็สรุปได้ว่าฟ้าผ่าอะไรอย่างหนึ่งใกล้ ๆ บ้านเรา อันนี้เป็นการสรุปอ้างอิงของเรา ซึ่งเป็นการอธิบายสิ่งที่สังเกตเห็น คือแสงวาบและเสียงดัง ซึ่งมันมีพื้นฐานอยู่กับประสบการณ์ในอดีตเรื่องแสงและเสียง และรวมทั้งความรู้ในเรื่องช่วงห่างของเวลา ที่เห็นแสงและได้ยินเสียงว่าเสียงห่างจากแสงเท่าใด ซึ่งการสรุปนี้ไม่จำเป็นจะต้องถูกต้องเสมอไป และการสรุปก็ขึ้นกับประสบการณ์เดิมของแต่ละคนด้วย ซึ่งถ้าเป็นทหารเพิ่งกลับจากสนามรบอาจจะไม่สรุปอย่างนี้ออกมาก็ได้

ในการสรุปอ้างอิงของแต่ละคนไม่เหมือนกัน เนื่องจากต้องใช้ประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐาน ดังนั้นการสรุปข้อมูลชุดหนึ่งจึงสรุปได้หลายอย่าง และย่อมมีทั้งสรุปถูก และผิด ดังนั้นจึงต้องทำการสังเกตเพิ่มเติมเพื่อหาข้อมูลมาพิสูจน์การสรุปอ้างอิงของเรา

9. ✓ การควบคุมตัวแปร หมายถึงความสามารถในการทำสิ่งต่อไปนี้คือ

9.1 บ่งชี้ ตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งอาจจะมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมหรือคุณสมบัติทางกายภาพ หรือชีวภาพของระบบได้

9.2 บ่งชี้ตัวแปรต่าง ๆ ว่าเป็นตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม หรือตัวแปรที่ต้องควบคุมให้คงที่ในการทดลองนั้น ๆ

9.3 สามารถแยกออกได้ว่า สภาพการณ์ไหนที่ทำให้ตัวแปรมีค่าคงที่และสภาพการณ์ไหนที่ไม่ทำให้ค่าตัวแปรคงที่

9.4 สามารถสร้างวิธีการทดสอบ หาผลที่เกิดจากตัวแปรอิสระหนึ่งตัวหรือหลาย ๆ ตัว

9.5 สามารถบ่งชี้หรือบอกชื่อ ว่าตัวแปรใดที่ไม่ได้รับการควบคุมให้คงที่ในการทดลองนั้น ถึงแม้ว่าตัวแปรเหล่านั้นจะเปลี่ยนแปลงไปในแบบเดียวกันในทุก ๆ กรณี

ตัวแปรมี 3 ชนิด คือ

1. ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) เป็นตัวแปรที่เรากำหนดขึ้นหรือใส่ลงไปในการทดลองเพื่อดูผลของมัน

2. ตัวแปรตาม (Dependent Variables) เป็นตัวแปรที่เปลี่ยนไปตามตัวแปรอิสระ

3. ตัวแปรที่ถูกบังคับให้คงที่ (Controlled Variables) ตัวแปรชนิดนี้ไม่มีในธรรมชาติ แต่มนุษย์เป็นผู้ควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง เพื่อต้องการดูผลของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

ในการสืบสวนสอบสวนทางวิทยาศาสตร์ มีการใช้ขบวนการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ นี้เป็นอันมาก ซึ่งผลของการสืบสวนสอบสวนจะเที่ยงตรงและเชื่อถือได้ ตัวแปรต่าง ๆ ต้องได้รับการควบคุมอย่างระมัดระวัง ในการสืบสวนสอบสวนแต่ละครั้ง ควรจะดำเนินการเป็นขั้น ๆ ดังนี้ คือ เปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรอิสระอย่างมีระบบ คอยสังเกตและวัดผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในตัวแปรตาม และขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาที่เปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระ ในการปฏิบัติการทดลองจริง ๆ เป็นสิ่งที่ค่อนข้างยุ่งยากที่จะกระทำตามขั้นทั้งสามตามที่กล่าวมา แต่ผลการทดลองที่เที่ยงตรงและเชื่อถือได้นั้น มาจากการปฏิบัติตามขั้นทั้งสามนี้อย่างถูกต้องและระมัดระวัง

10. การแปลความหมายจากข้อมูล

ข้อมูล หมายถึงสิ่งที่บันทึกจากการสังเกต การวัด และการทดลอง ซึ่งถ้ามิได้จัดเป็นหมวดหมู่เรียกว่าข้อมูลดิบ แต่ถ้านำมาจัดเป็นหมวดหมู่ในรูปของตาราง แผนภูมิ เรียกว่าข้อมูลมีระบบ

การแปลความหมายจากข้อมูล เป็นการพิจารณาข้อมูลในแง่ต่าง ๆ แล้วใส่ความคิดเห็นส่วนตัวลงไป ว่าข้อมูลนี้ให้ความหมายอะไรบ้าง ซึ่งการแปลผลจากข้อมูลเป็นกระบวนการขั้นผสมผสานหลาย ๆ อัน ซึ่งมีทั้งการพยากรณ์ การลงความเห็น และการตั้งสมมุติฐาน

การแปลความหมายจากข้อมูลจึงมีความหมาย หมายถึงความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้

10.1 สามารถอธิบายถึงข้อสนเทศ (Information) ที่แสดงอยู่บนตารางข้อมูล หรือ กราฟได้

10.2 สามารถสร้างข้อสรุป หรือสมมุติฐานหนึ่งอย่าง หรือมากกว่า 1 อย่าง จากข้อสนเทศที่กำหนดให้ไว้ในตารางข้อมูล กราฟ รูปภาพ

10.3 สามารถอธิบายความหมายของข้อมูลที่จัดไว้ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ สามารถใช้ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน พิสัย และสามารถทำนาย สรุปอ้างอิง หรือตั้งสมมุติฐานจากข้อสนเทศที่ได้มานี้

ทักษะในการแปลความหมายจากข้อมูลนี้ เป็นทักษะที่สำคัญมากสำหรับนักเรียนเพราะสามารถนำไปใช้กับประสบการณ์ต่าง ๆ ทั้งในและนอกโรงเรียนได้ ซึ่งทักษะอันนี้มิใช่มีความสำคัญสำหรับวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่มีความสำคัญกับวิชาอื่น ๆ ด้วย และเป็นสิ่งที่เราต้องนำไปใช้ในชีวิตประจำวันเสมอ เช่นการดูข่าวจากโทรทัศน์ การอ่านแผนที่อากาศ การดูภาพในหนังสือพิมพ์หรือหนังสืออื่น ๆ

11. การสร้างสมมุติฐาน

สมมุติฐานเป็นความจริงชั่วคราว ที่เราสมมุติขึ้นโดยยังมิได้มีการทดสอบ ฉะนั้นจึงอาจจะผิดหรือถูกก็ได้เมื่อสมมุติฐานได้รับการทดสอบยืนยันว่าเป็นความจริงแล้ว สมมุติฐานนั้นจะเปลี่ยนสภาพเป็นทฤษฎี ความจริง หลัก หรือ กฎ แล้วแต่กรณี

การสร้างสมมุติฐาน คือความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้

11.1 สร้างสมมุติฐานซึ่งเป็นการสรุปรวบยอด จากผลการสังเกตหรือการสรุปอ้างอิง

11.2 สามารถสร้างหรือแสดงให้เห็นถึงวิธีที่จะทดสอบสมมุติฐานได้

11.3 สามารถแยกการสังเกตที่สนับสนุนสมมุติฐานและที่ไม่สนับสนุนสมมุติฐานออกจากกันได้

11.4 สามารถปรับปรุงสมมุติฐาน ภายหลังจากการสังเกตเพื่อทดสอบสมมุติฐานนั้น

การสังเกตเป็นสิ่งที่นำไปสู่การค้นพบสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ และเพื่อขยายขอบเขตความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเหล่านั้น จึงต้องมีการสรุปรวบยอดเพื่ออธิบายสิ่งที่สังเกตได้มา ขบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า การตั้งสมมุติฐานเพื่อทำการทดลอง

ดังนั้นการตั้งสมมุติฐานจึงควรมีพื้นฐานมาจากการสังเกต หรือการสรุปอ้างอิงตัวอย่างของการสังเกต เช่นท่านสังเกตว่า ก้อนน้ำตาลละลายในน้ำร้อนได้เร็วกว่าในน้ำเย็น หรือตัวอย่างการตั้งสมมุติฐานจากการสรุปอ้างอิง เช่น ถ้าท่านคว่ำแก้วครอบเทียนไขที่กำลังลุกไหม้ เทียนไขจะลุกอยู่ระยะหนึ่งแล้วดับ ฉะนั้นเราอาจสรุปอ้างอิงเพื่ออธิบายการสังเกตนี้ว่า เทียนไขดับเพราะว่าออกซิเจนในอากาศที่อยู่ในแก้วนั้นถูกใช้หมดไป ฉะนั้นสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นโดยมีพื้นฐานอยู่บนข้อสรุปอ้างอิงนี้ก็อาจตั้งว่า เทียนไขที่ลุกไหม้ในครอบแก้วจะดับเมื่อออกซิเจนในแก้วถูกใช้หมดไป

เมื่อเราตั้งสมมุติฐานแล้ว ก็ต้องมีการทดสอบสมมุติฐานนั้น ซึ่งอาจใช้การสังเกตหลาย ๆ ครั้ง ในขอบข่ายของวัตถุหรือเหตุการณ์นั้น ตัวอย่างเช่น ตั้งสมมุติฐานไว้ว่าสารละลายทุกชนิดละลายในน้ำร้อนได้เร็วกว่าในน้ำเย็น เราก็ทำการทดสอบโดยการนำเอาสารให้มากชนิดที่สุดมาละลายในน้ำร้อน หรือน้ำเย็นแล้วจดเวลาของการละลายไว้ ถ้าหากปรากฏว่าสารชนิดใดชนิดหนึ่งละลายในน้ำร้อนด้วยอัตราเร็วเท่ากัน หรือช้ากว่าในน้ำเย็น เราก็ต้องปรับปรุงสมมุติฐานนั้นใหม่ นอกจากนี้การทดสอบสมมุติฐานซึ่งเกิดจากการสรุปอ้างอิงเป็นการทำการทดลองเพื่อหาข้อมูลมาสนับสนุนหรือคัดค้านสมมุติฐานนั้น ตัวอย่างที่ยกข้างต้น คือการลุกไหม้ของเทียนไขภายในครอบแก้ว เราก็ทำการทดสอบอากาศที่อยู่ภายในแก้วหลังจากเทียนดับว่ามีออกซิเจนเหลืออยู่อีกหรือไม่ ถ้าปรากฏว่ายังมีออกซิเจนเหลืออยู่อีกก็แสดงว่าสมมุติฐานของเราต้องปรับปรุงใหม่

ข้อมูลที่เราหามาเพื่อสนับสนุนสมมุติฐาน แต่ปรากฏว่าข้อมูลนั้นไม่สนับสนุนสมมุติฐานของเรา สมมุติฐานนั้นก็ควรปรับปรุงใหม่ หรือปฏิเสธสมมุติฐานแล้วก็สร้างขึ้นใหม่เลย อย่างในกรณีสารละลายในน้ำ ถ้าพบว่าสารบางชนิดไม่ละลายในน้ำร้อนได้เร็วกว่าในน้ำเย็น สมมุติฐานนั้นก็ควรปรับปรุงเป็นว่า "สารละลายส่วนมากจะละลายในน้ำร้อนได้เร็วกว่าในน้ำเย็น" ส่วนเรื่องเทียนไขก็ควรปรับปรุงสมมุติฐานใหม่เป็น "เทียนไขที่ลุกไหม้อยู่ในครอบแก้วจะดับเมื่อปริมาณออกซิเจนในอากาศที่อยู่ภายในแก้วลดลงเหลือเพียง 10 %" หรืออาจตั้งสมมุติฐานใหม่ว่า "เทียนไขที่ลุกไหม้อยู่ในครอบแก้วจะดับเมื่อปริมาณของกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่อยู่ภายในครอบแก้วเพิ่มขึ้น 3 %" ซึ่งสมมุติฐานเหล่านี้สามารถทดสอบได้ด้วยวิธีทำการทดลองใหม่ต่อไป

12. การให้นิยามปฏิบัติการ หมายถึง ความสามารถในการกระทำสิ่งต่อไปนี้

12.1 สามารถแยกนิยามปฏิบัติการ ออกจากนิยามที่มิใช่นิยามปฏิบัติการได้

12.2 สามารถบ่งชี้ถึงตัวแปร หรือคำซึ่งต้องใช้ในการให้นิยามปฏิบัติการแต่ละครั้ง เมื่อกำหนดสมมุติฐาน การสรุปอ้างอิง ปัญหา กราฟ หรือตารางข้อมูลให้

12.3 สามารถสร้างนิยามปฏิบัติการ ซึ่งอธิบายถึงขบวนการ (Procedure) สังกัป (Concept) วัตถุ หรือคุณสมบัติของวัตถุที่ใช้ในขบวนการนั้นอย่างสมบูรณ์

ความสามารถในการให้นิยามปฏิบัติการ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้คำต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการทำการทดลอง เพื่อการสื่อความหมายที่ถูกต้อง เพราะว่าการให้นิยามที่จำกัดจำนวนของสิ่งของที่จะพิจารณา และจำกัดประสบการณ์ที่จำเป็นต่าง ๆ ที่จะรวบรวมนั้นมีประโยชน์มากกว่าคำนิยามที่รวมเอาตัวแปรทุก ๆ อย่างเข้าไว้ด้วยกันหมด ตัวอย่างเช่นให้คำนิยามของกาซออกซิเจนว่าคือ กาซชนิดหนึ่งซึ่งทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นมา (สิ่งที่สังเกตเห็น) เมื่อแหย่ปลายชูปที่ติดไฟเป็นถ่านแดง (สิ่งที่กระทำ) เข้าไปในถังที่บรรจุกาซ กับนิยามที่ว่าออกซิเจนคือ ธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic Number)8 และมีน้ำหนักอะตอม (Atomic Weight) 16 จากสองนิยามนี้จะเห็นได้ว่า นิยามแรกนั้น สามารถทำให้ทราบได้ว่ากาซในถังนั้นเป็นออกซิเจนหรือไม่ ส่วนนิยามอันที่สองไม่สามารถทำให้ทราบได้ว่ากาซในถังนั้นเป็นออกซิเจนหรือไม่ ฉะนั้นนิยามอันแรกคือนิยามปฏิบัติการ ซึ่งสามารถกำหนดให้แตกต่างออกไป

ได้อีกแล้วแต่สถานการณ์ และความต้องการของผู้ทดลอง ฉะนั้นนิยามปฏิบัติการประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ เราทำอะไร และเราสังเกตอะไร

13. การปฏิบัติการทดลอง

การทดลองเป็นการพิสูจน์ยืนยันความจริง บางสิ่งหรือเป็นการพิสูจน์สมมุติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งการปฏิบัติการทดลอง หมายถึงความสามารถในการกระทำ ดังต่อไปนี้

13.1 สามารถบ่งชี้ตัวแปรต่าง ๆ ที่จะต้องควบคุม สามารถสร้างนิยามปฏิบัติการตามที่ต้องการ สามารถสร้างและแสดงให้เห็นถึงการทดสอบและการรวบรวมและการตีความข้อมูลได้เมื่อกำหนดสมมุติฐานให้ สามารถเขียนรายงานผลการทดลอง รวมทั้งการอภิปรายผลว่าข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มานั้นสนับสนุนสมมุติฐานหรือไม่

13.2 สามารถตั้งปัญหา สามารถสร้างการทดสอบเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลมาเพื่อตอบปัญหานั้น ๆ

ทักษะในการทดลองเป็นกระบวนการที่รวบรวมเอาทักษะเบื้องต้นและทักษะขั้นผสมเข้าไว้ด้วยกัน ปกติแล้วการทดลองจะเริ่มต้นด้วยการสังเกต ซึ่งจะนำไปสู่การตั้งคำถามเพื่อหาคำตอบ แต่บางครั้งนักวิจัยจะตั้งสมมุติฐานจากคำถามโดยตรง แต่ไม่ว่าเขาจะสร้างสมมุติฐานเพื่อทดสอบหรืออธิบายเพื่อสร้างการทดสอบ เพื่อตอบคำถามก็ตาม ลำดับขั้นต่อมาคือการกำหนดตัวแปรที่ต้องควบคุม สร้างนิยามปฏิบัติการ สร้างแบบทดลอง และวางแผนการทดลอง ดำเนินการทดลอง รวบรวมข้อมูล และตีความหมายจากข้อมูลและบางครั้งก็ปรับปรุงสมมุติฐานที่กำลังทดสอบนั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในต่างประเทศ

ปี ค.ศ. 1971 บัทโซ (Butzow) ได้ทดลองสอนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ โดยทดลองสอนเด็กนักเรียนในเกรด 8 จำนวน 92 คน ทำการสอนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ 5 บทแรก โดยใช้แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วัดทักษะของนักเรียนก่อนสอน (pre-test) และภายหลังสอน (post-test) พบว่า คะแนนจากการทดสอบสองครั้งแตกต่างกัน กล่าวคือ ผลปรากฏว่านักเรียนมีความสามารถในการสังเกต การเปรียบเทียบ การจัดจำพวก การวิเคราะห์ การวัด การสรุปอ้างอิง และการทดลองเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบด้วยว่านักเรียนที่มีระดับสติปัญญาดีจะมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดีด้วย[1]

ปี ค.ศ. 1972 วิดเด้น (Widden) ได้ศึกษาผลของหลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (SAPA: Science A Process Approach)โดยทดลองศึกษากับครู 26 คน นักเรียน 555 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 พวก คือกลุ่มทดลองครูจะสอนตามหลักสูตร SAPA และครูที่สอนจะได้รับการอบรมเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กลุ่มควบคุมครูจะสอนตามหลักสูตรเดิม และครูที่สอนไม่ได้รับการอบรมเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์คะแนนของนักเรียน ก่อนทำการสอนและหลังทำการสอนในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม พบว่าหลักสูตร SAPA มีผลต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน คือ นักเรียนใน

---

[1] John W. Butzow, "The Process Learning Components of Introductory Physical Science: A Pilot Study," Research in Education 6 (October 1971): 85.

กลุ่มทดลองมีทักษะกระบวนการดีกว่านักเรียนในกลุ่มควบคุม และทักษะเหล่านี้จะมีผลต่อนักเรียนที่เรียนอ่อนมากกว่านักเรียนที่เรียนดี แต่ไม่มีผลต่อความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่อย่างใด และพบว่าครูที่ได้รับการอบรมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มีทักษะกระบวนการดีขึ้น [1]

ปี ค.ศ. 1973 คอร์ (Kaur) ได้ศึกษาผลของการวัดทักษะในการสังเกตและการจัดจำพวกของนักเรียนเกรด 1 และ 3 และศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างทักษะทั้ง 2 นี้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้นี้เป็นนักเรียนชายเกรด1 และ 3 ชั้นละ 40 คนจากโรงเรียนประถมศึกษาในฟิลาเดลเฟีย (Philadelphia) ใช้เครื่องมือในการวิจัยคือ แบบทดสอบการวัดทักษะทางการจัดจำพวก (Classification Skills Test)กับแบบทดสอบการวัดทักษะด้านการสังเกต (Precise Observation Skills) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความสามารถในการสังเกตโดยใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ กันมีความสัมพันธ์กับอายุ คือเด็กชายเกรด 3 มีการใช้ประสาทสัมผัสดีกว่าเด็กเกรด 1 และเด็กเกรด 3 มีทักษะในการสังเกตดีกว่าเด็กเกรด 1 ส่วนทักษะการจัดจำพวกของเด็กเกรด 1 และ 3 ไม่แตกต่างกัน และยังพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างทักษะการสังเกตและการจัดจำพวก [2]

ปี ค.ศ. 1975 ควินและจอร์จ (Quinn and George) ได้ทำการวิจัยเพื่อที่จะประเมินผลวิธีการสอนการสร้างสมมุติฐานของเด็กในระดับประถมศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นมาตราส่วนวัดคุณภาพของสมมุติฐาน (Hypothesis Quality Scale) ซึ่งสร้างโดยผู้วิจัย และเครื่องมือนี้มีค่าความเที่ยง 0.94 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนเกรด 6 ของโรงเรียนคาธอลิก (Catholic school) ในเขตที่มีสถานภาพ

---

[1] Marvin Frank Widden, "A Product Evaluation of Science - A Process Approach," Dissertation Abstract 32 (January 1972): 3583-A.

[2] Rajinder Kaur, "Evaluation of the Science Processes Skills of Observation and Classification," Dissertation Abstract 34 (July 1973): 186-A.

ทางสังคมต่ำ 2 ห้องเรียน และจากโรงเรียนคาธอลิกในเขตที่มีสถานภาพทางสังคมสูง 2 ห้องเรียน ทำการศึกษาโดยแบ่งนักเรียนเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีสถานภาพทางสังคมสูง และกลุ่มที่มีสถานภาพทางสังคมต่ำ ในแต่ละกลุ่มแยกเป็นกลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้สอนการสร้างสมมุติฐาน และกลุ่มทดลองซึ่งสอนการสร้างสมมุติฐาน จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covarience) พบว่า นักเรียนที่ได้รับการสอนการตั้งสมมุติฐาน จะมีทักษะในการตั้งสมมุติฐานที่มีคุณภาพดีกว่าพวกที่ไม่ได้รับการสอน และความสามารถในการตั้งสมมุติฐานมีความสัมพันธ์กับสถานภาพทางสังคม สติปัญญา คะแนนผลสัมฤทธิ์ในการเรียน ความสามารถในการอ่าน และเพศ กล่าวคือ นักเรียนที่มาจากครอบครัวที่มีฐานะทางเศรษฐกิจดี จะมีทักษะในการตั้งสมมุติฐานดีกว่านักเรียนที่มาจากครอบครัวที่มีฐานะทางเศรษฐกิจต่ำ นักเรียนที่มีสติปัญญาดี มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ในการเรียนสูง มีความสามารถในการอ่านสูง จะมีทักษะในการตั้งสมมุติฐานได้ดีกว่านักเรียนที่มีสติปัญญาไม่ดี มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ในการเรียนต่ำ มีความสามารถในการอ่านน้อย และพบว่านักเรียนหญิงที่มีสถานภาพทางสังคมต่ำจะมีทักษะในการตั้งสมมุติฐานต่ำกว่านักเรียนชาย แต่นักเรียนหญิงที่มีสถานภาพทางสังคมสูง จะมีทักษะในการตั้งสมมุติฐานดีกว่านักเรียนชาย[1]

ปี ค.ศ. 1976 ธีลและจอร์จ (Thiel and George) ได้ศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อาจมีอิทธิพลต่อการใช้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ในการพยากรณ์ของเด็กระดับประถมศึกษา กลุ่มตัวอย่างประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ นักเรียนเกรด 3,4,5 อย่างละ 30คน รวม90 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบวัดทักษะการพยากรณ์ซึ่งสร้างโดย ธีล (Thiel) จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Varience) และทดสอบตามวิธีของ ดันแคน (Duncan -test) พบว่าระดับขั้นและชนิดของกฎเกณฑ์ในการพยากรณ์ซึ่งได้แก่การจำแนกและการจัดลำดับ ไม่มีผลต่อทักษะในการพยากรณ์ นอกจากนี้ ธีล และจอร์จ (Thiel and George) ได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ว่าอาจจะเสริมทักษะในการพยากรณ์ให้กับเด็ก ซึ่งมีความคิดในระดับรูปธรรม (Concrete

---

[1]Mary Ellen Quinn and Kenneth D. George, "Teaching Hypothesis Formation," Science Education 59 (July - September 1975): 289-296.

พลสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Operation) ได้โดยผ่านกระบวนการสอนวิทยาศาสตร์ [1]

ปี ค.ศ. 1977 เกเบิ้ลและรับบ้า (Cable and Rubba) ได้วิจัยเกี่ยวกับผลของการสอนและประสบการณ์การฝึกสอน ที่มีต่อความสามารถในทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ โดยศึกษากับนักศึกษาครูแผนกวิชาประถมศึกษาในมหาวิทยาลัยอินเดียนา (Indiana University) ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาฟิสิคส์ ปีการศึกษา 1975 จำนวน 58 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบวัดทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ของครูซึ่งปรับปรุงโดย AAAS จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม พบว่า นักศึกษาครูที่ได้รับการฝึกทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม จะมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ในทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์สูงกว่า ผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกเพิ่มเติม จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าครูสามารถจะฝึกให้มีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์เหล่านี้ได้ถ้าได้รับการเน้นหนักทางทักษะในวิชาวิทยาศาสตร์ [2]

ปี ค.ศ. 1978 สตีเวน และเอทวูด (Stevens and Atwood) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์กับทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ โดยทดลองกับกลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนเกรด 7 จำนวน 345 คน, เกรด 8 จำนวน 196 คน และเกรด 9จำนวน 529 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบวัดทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ (The Test of Science Process)และแบบวัดความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์ (Science Interest Inventory)จากผลการทดสอบค่าความแตกต่างของคะแนนก่อนการสอนและหลังการสอนของแบบวัดทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ และ

---

[1]Robert P. Thiel and Kenneth D. George, "Some Factors Affecting the Use of the Science Process Skill of Prediction by Elementary School Children," Journal of Research in Science Teaching 13 (March 1976): 155-166.

[2]Dorothy L. Gable and Peter A. Rubba, "The Effect of Early Teaching and Training Experience on Physics Achievement, Attitude Towards Science and Science Teaching, and Process Skill Proficiency," Science Education 61 (Oct. - Dec. 1977):503 - 511.

แบบวัดความสนใจวิชาวิทยาศาสตร์ พบว่านักเรียนทั้ง 3 ระดับมีคะแนนจากการทดสอบ 2 ครั้ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า นักเรียนที่มีความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์สูง จะมีคะแนนทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์สูงด้วย นั่นคือ อาจใช้คะแนนความสนใจในวิชาวิทยาศาสตร์เป็นตัวทำนายทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้[1]

งานวิจัยภายในประเทศ

ปี พ.ศ. 2517 สัญญา ทิพย์เสนา ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการสอนแบบสืบสวน-สอบสวน (Inquiry) โดยเน้นทักษะกระบวนการพื้นฐาน (Basic Process) กับการสอนแบบเดิม โดยทดลองสอนกับนักศึกษาครูระดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาปีที่ 1 จำนวน 67 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุม 33 คน ใช้วิธีสอนแบบเดิม กลุ่มทดลอง 34 คน ใช้วิธีสอนแบบสืบสวน-สอบสวน ใช้เวลาสอนติดต่อกัน 2 ภาคการศึกษา จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การทดสอบค่าที (t-test) พบว่า กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานไม่แตกต่างกัน และกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุม [2]

ในปีเดียวกันนั้น อุทัย ชีวะธนรักษ์ ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสอนแบบสืบสวน - สอบสวน โดยเน้นทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นสูง (Integrated Process Skill) กับการสอนแบบเดิม กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาการ

---

[1] Truman J. Stevens and Ronald K. Atwood, "Interest Scores as Predictors of Science Process Performance for Junior High Students," Science Educations 62 (Jul - Sept. 1978): 303-308.

[2] สัญญา ทิพย์เสนา, "การเปรียบเทียบผลการสอนแบบสืบสวน-สอบสวน (โดยเน้นทักษะเบื้องต้นของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์) กับการสอนแบบเดิมในวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไประดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา" (วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2517).

ศึกษาปีที่ 1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จำนวน 67 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง 34 คน ใช้วิธีสอนแบบสืบสวน-สอบสวน แบบครูเป็นผู้สืบสอบ (Passive inquiry) ส่วนกลุ่มควบคุมจำนวน 33 คน ใช้วิธีสอนแบบเดิม จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทดสอบค่าที (t-test) พบว่า

1. กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นสูงไม่แตกต่างกัน
2. กลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุม
3. ทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นสูงภายหลังการสอนสูงกว่าก่อนทำการสอน[1]

ปี พ.ศ. 2518 สุมาลี พิตรากูล ได้ศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างกิริยาร่วมทางวาจากับการเรียนรู้ทักษะขั้นสูงของกระบวนการวิทยาศาสตร์ระดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา โดยทดลองกับนักศึกษาวิทยาลัยครูธนบุรีชั้นปีที่ 1 ระดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบวิเคราะห์กิริยาร่วมทางวาจาระหว่างครูและนักเรียนของแฟลนเดอร์ และแบบสอบทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ขั้นสูง จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม และการทดสอบค่าที (t-test) พบว่า เพศชายและหญิงมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ไม่แตกต่างกัน และหลังจากการสอนบทเรียนฝึกทักษะเชิงซ้อนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แล้ว กลุ่มที่ได้รับการสอนโดยใช้อัตราส่วนระหว่างการใช้อิทธิพลทางอ้อมต่ออิทธิพลทางตรงในระดับต่ำ และปานกลาง มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทักษะเชิงซ้อนของกระบวนการวิทยาศาสตร์ สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการสอนโดยใช้

---

[1]อุทัย ชีวะธนรักษ์, "การเปรียบเทียบผลการสอนแบบสืบสวน-สอบสวน (โดยเน้นทักษะขั้นสูงของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์) กับการสอนแบบเดิมในวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ระดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา" (วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2517).

อัตราส่วนระหว่างการใช้อิทธิพลทางอ้อมต่ออิทธิพลทางตรงในระดับสูง[1]

จากผลงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ได้มีนักการศึกษาและนักวิจัยชาวต่างประเทศได้ศึกษาไว้เป็นจำนวนมากและในประเทศไทยก็มีผู้ศึกษาไว้เช่นเดียวกัน แต่ส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับผลของทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ที่มีต่อนักเรียน องค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ยังไม่มีผู้ใดศึกษาเปรียบเทียบทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนต่าง ระดับชั้นในหลักสูตรที่เน้นทักษะกระบวนการ ผู้วิจัยจึงเห็นเป็นการสมควรที่จะศึกษาเรื่องทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนต่างระดับกัน คือชั้น ม.ศ.1 และ ม.1 ที่ใช้หลักสูตรเล่มเดียวกันว่าความสามารถของนักเรียนทั้ง 2 ระดับต่างกันหรือไม่ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแปรของนักเรียนในเรื่องเพศด้วย

---

[1] สุมาลี พิตรากูล, "ความสัมพันธ์ระหว่างกริยาร่วมทางวาจากับการเรียนรู้ทักษะเชิงซ้อนของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ระดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษา" (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต แผนกวิชามัธยมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2518).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย