

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามลำดับหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
 - 1.1 สาระและมาตรฐานการเรียนรู้
 - 1.2 คุณภาพของผู้เรียน เมื่อจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
 - 1.3 ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. จิตวิทยาศาสตร์
 - 2.1 ความหมายของจิตวิทยาศาสตร์
 - 2.2 องค์ประกอบของจิตวิทยาศาสตร์
 - 2.3 คุณลักษณะของจิตวิทยาศาสตร์
3. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 - 3.1 ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 - 3.2 ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
 - 3.3 ลักษณะของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
4. สถิติสหสัมพันธ์คาโนนิคัล
 - 4.1 ความหมายของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล
 - 4.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล
 - 4.3 ประโยชน์ของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล
 - 4.4 คำศัพท์ที่ควรรู้จักเกี่ยวกับสหสัมพันธ์คาโนนิคัล
 - 4.5 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล
 - 4.6 การคำนวณสหสัมพันธ์คาโนนิคัล
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลาย เหมาะสมกับระดับชั้น โดยได้กำหนดสาระและมาตรฐาน ไว้ดังนี้

สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต

มาตรฐาน ว 1.1 เข้าใจหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ทำงานสัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของตนเองและดูแลสิ่งมีชีวิต

มาตรฐาน ว 1.2 เข้าใจกระบวนการและความสำคัญของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ การใช้เทคโนโลยีชีวภาพที่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 2.2 เข้าใจความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลกนำความรู้ไปใช้ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

สาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร

มาตรฐาน ว 3.1 เข้าใจสมบัติของสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร การเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยา มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่

มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง และแรงนิวเคลียร์ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีคุณธรรม

มาตรฐาน ว 4.2 เข้าใจลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุในธรรมชาติมีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก

มาตรฐาน ว 6.1 เข้าใจกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวโลกและภายในโลก ความสัมพันธ์ของกระบวนการต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และลักษณะของโลก มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 7 ดาราศาสตร์และอวกาศ

มาตรฐาน ว 7.1 เข้าใจวิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซีและเอกภพการปฏิสัมพันธ์ภายในระบบสุริยะและผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ การสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 7.2 เข้าใจความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศที่นำมาใช้ในการสำรวจอวกาศ และทรัพยากรธรรมชาติ ด้านการเกษตรและการสื่อสาร มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างมีคุณธรรมต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอนสามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อม มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

คุณภาพผู้เรียนที่จบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

1. เข้าใจการรักษาคุณภาพของเซลล์และกลไกการรักษาคุณภาพของสิ่งมีชีวิต
2. เข้าใจกระบวนการถ่ายทอดสารพันธุกรรม การแปรผัน มิวเทชัน วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตและปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต ในสิ่งแวดล้อมต่างๆ
3. เข้าใจกระบวนการ ความสำคัญและผลของเทคโนโลยีชีวภาพต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
4. เข้าใจชนิดของอนุภาคสำคัญที่เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ การเกิดปฏิกิริยาเคมีและเขียนสมการเคมี ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
5. เข้าใจชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและสมบัติต่างๆ ของสารที่มีความสัมพันธ์กับแรงยึดเหนี่ยว
6. เข้าใจการเกิดปิโตรเลียม การแยกแก๊สธรรมชาติและการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ การนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมไปใช้ประโยชน์และผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
7. เข้าใจชนิด สมบัติ ปฏิกิริยาที่สำคัญของพอลิเมอร์และสารชีวโมเลกุล
8. เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบต่างๆ สมบัติของคลื่นกล คุณภาพของเสียงและการได้ยิน สมบัติ ประโยชน์และโทษของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสีและพลังงานนิวเคลียร์
9. เข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลกและปรากฏการณ์ทางธรณีที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
10. เข้าใจการเกิดและวิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซี เอกภพและความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศ
11. เข้าใจความสัมพันธ์ของความรู้วิทยาศาสตร์ที่มีผลต่อการพัฒนาเทคโนโลยีประเภทต่างๆ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ส่งผลให้มีการคิดค้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ก้าวหน้า ผลของเทคโนโลยีต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม
12. ระบุปัญหา ตั้งคำถามที่จะสำรวจตรวจสอบ โดยมีการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ สืบค้นข้อมูลจากหลายแหล่ง ตั้งสมมติฐานที่เป็นไปได้หลายแนวทาง ตัดสินใจเลือกตรวจสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้

13. วางแผนการสำรวจตรวจสอบเพื่อแก้ปัญหาหรือตอบคำถาม วิเคราะห์ เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์หรือสร้างแบบจำลองจากผลหรือความรู้ที่ได้รับจากการสำรวจตรวจสอบ

14. สื่อสารความคิด ความรู้จากผลการสำรวจตรวจสอบโดยการพูด เขียน จัดแสดง หรือใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

15. อธิบายความรู้และใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการดำรงชีวิต การศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม ทำโครงการหรือสร้างชิ้นงานตามความสนใจ

16. แสดงถึงความสนใจ มุ่งมั่น รับผิดชอบ รอบคอบและซื่อสัตย์ในการสืบเสาะหาความรู้ โดยใช้เครื่องมือและวิธีการที่ได้ผลถูกต้องเชื่อถือได้

17. ตระหนักในคุณค่าของความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใช้ในชีวิตประจำวัน การประกอบอาชีพ แสดงถึงความชื่นชม ภูมิใจ ยกย่อง อ้างอิงผลงาน ชิ้นงานที่เป็นผลจากภูมิปัญญาท้องถิ่นและการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย

18. แสดงความซาบซึ้ง ห่วงใย มีพฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้และรักษาทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมอย่างรู้คุณค่า เสนอตัวเองร่วมมือปฏิบัติกับชุมชนในการป้องกัน ดูแลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น

19. แสดงถึงความพอใจ และเห็นคุณค่าในการค้นพบความรู้ พบคำตอบ หรือแก้ปัญหาได้

20. ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ แสดงความคิดเห็นโดยมีข้อมูลอ้างอิงและเหตุผลประกอบเกี่ยวกับผลของการพัฒนาและการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีคุณธรรม ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอนสามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัดช่วงชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4 - มัธยมศึกษาปีที่ 6

1. ตั้งคำถามที่อยู่บนพื้นฐาน ของความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ หรือความสนใจ หรือจากประเด็นที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ที่สามารถทำการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้ อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้
2. สร้างสมมติฐานที่มีทฤษฎีรองรับ หรือคาดการณ์สิ่งที่จะพบ หรือสร้างแบบจำลอง หรือสร้างรูปแบบ เพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบ
3. ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่ต้องพิจารณาปัจจัยหรือตัวแปรสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อ ปัจจัยอื่น ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ และจำนวนครั้งของการสำรวจ ตรวจสอบ เพื่อให้ได้ผลที่มีความ เชื่อมั่นอย่างเพียงพอ
4. เลือกวัสดุ เทคนิควิธี อุปกรณ์ ที่ใช้ในการสังเกต การวัด การสำรวจตรวจสอบอย่าง ถูกต้องทั้งทางกว้างและลึกในเชิงปริมาณและคุณภาพ
5. รวบรวมข้อมูลและบันทึกผลการสำรวจตรวจสอบอย่างเป็นระบบถูกต้อง ครอบคลุม ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยตรวจสอบความเป็นไปได้ ความเหมาะสมหรือความผิดพลาด ของข้อมูล
6. จัดกระทำข้อมูล โดยคำนึงถึงการรายงานผลเชิงตัวเลขที่มีระดับความถูกต้องและ นำเสนอข้อมูลด้วยเทคนิควิธีที่เหมาะสม
7. วิเคราะห์ข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และประเมินความสอดคล้องของข้อสรุป หรือ สารสำคัญ เพื่อตรวจสอบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้
8. พิจารณาความน่าเชื่อถือของวิธีการและผลการสำรวจตรวจสอบ โดยใช้หลักความ คลาดเคลื่อน ของการวัดและการสังเกต เสนอแนะการปรับปรุงวิธีการสำรวจตรวจสอบ
9. นำผลของการสำรวจตรวจสอบที่ได้ ทั้งวิธีการ และองค์ความรู้ที่ได้ไปสร้างคำถาม ใหม่ นำไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่และในชีวิตจริง
10. ตระหนักถึงความสำคัญ ในการที่จะต้องมีส่วนร่วมรับผิดชอบการอธิบายการลง ความเห็น และการสรุปผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ที่นำเสนอต่อสาธารณชนด้วยความถูกต้อง
11. บันทึกและอธิบายผลการสำรวจตรวจสอบอย่างมีเหตุผล ใช้พยานหลักฐานอ้างอิง หรือค้นคว้าเพื่อเติม เพื่อหาหลักฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และยอมรับว่าความรู้เดิม อาจมีการ เปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีข้อมูลและประจักษ์พยานใหม่เพิ่มเติมหรือโต้แย้งจากเดิม ซึ่งท้าทายให้มีการ ตรวจสอบอย่างระมัดระวังอันจะนำมาสู่ การยอมรับเป็นความรู้ใหม่
12. จัดแสดงผลงาน เขียนรายงาน และ/หรืออธิบายเกี่ยวกับแนวคิด กระบวนการ และ ผลของโครงการหรือชิ้นงานให้ผู้อื่นเข้าใจ

ตาราง 1 แสดงการวิเคราะห์จิตวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
จากตัวชี้วัดช่วงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 - มัธยมศึกษาปีที่ 6 ในสาระที่ 8
ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ตัวชี้วัดในสาระที่ 8 ธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	จิตวิทยาศาสตร์	ทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์
1. ตั้งคำถามที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้และ ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ หรือความสนใจ หรือจากประเด็นที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ที่สามารถ ทำการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้ อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้	- ความสนใจ - ครอบคลุมและ เชื่อถือได้	- ตั้งคำถาม - สำรวจตรวจสอบ - ศึกษาค้นคว้า
2. สร้างสมมติฐานที่มีทฤษฎีรองรับ หรือ คาดการณ์สิ่งที่จะพบ หรือสร้างแบบจำลอง หรือ สร้างรูปแบบ เพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบ		- สร้างสมมติฐาน - คาดการณ์ - สร้างแบบจำลอง - สร้างรูปแบบ - การสำรวจตรวจสอบ
3. ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่ต้องพิจารณาปัจจัย หรือตัวแปรสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อบัจจัยอื่น ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ และจำนวนครั้งของการ สำรวจ ตรวจสอบ เพื่อให้ได้ผลที่มีความเชื่อมั่น อย่างเพียงพอ	- ความเชื่อมั่น	- ค้นคว้ารวบรวม ข้อมูล - การสำรวจ ตรวจสอบ
4. เลือกวัสดุ เทคนิควิธี อุปกรณ์ ที่ใช้ ในการสังเกต การวัด การสำรวจตรวจสอบ อย่างถูกต้องทั้งทางกว้างและลึกในเชิงปริมาณ และคุณภาพ		- เลือกวัสดุ เทคนิควิธี อุปกรณ์ - การสังเกต - การวัด - การสำรวจตรวจสอบ
5. รวบรวมข้อมูลและบันทึกผลการสำรวจ ตรวจสอบอย่างเป็นระบบถูกต้องครอบคลุม ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยตรวจสอบ ความเป็นไปได้ ความเหมาะสมหรือความ ผิดพลาดของข้อมูล	- เป็นระบบถูกต้อง	- รวบรวมข้อมูล - บันทึกผล - การสำรวจตรวจสอบ - ตรวจสอบ ความเป็นไปได้

ตาราง 1 (ต่อ)

ตัวชี้วัดในสาระที่ 8 ธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	จิตวิทยาศาสตร์	ทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์
6. จัดกระทำข้อมูล โดยคำนึงถึงการรายงาน ผลเชิงตัวเลขที่มีระดับความถูกต้อง และนำเสนอข้อมูลด้วยเทคนิควิธีที่เหมาะสม	ความถูกต้อง	จัดกระทำข้อมูล การรายงานผล นำเสนอข้อมูล
7. วิเคราะห์ข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และ ประเมินความสอดคล้องของข้อสรุป หรือ สาระสำคัญ เพื่อตรวจสอบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้		- วิเคราะห์ข้อมูล - แปลความหมาย ข้อมูล - ประเมินความ สอดคล้อง - ตรวจสอบกับ สมมติฐาน
8. พิจารณาความน่าเชื่อถือของวิธีการและผล การสำรวจตรวจสอบ โดยใช้หลัก ความคลาดเคลื่อน ของการวัดและการสังเกต เสนอแนะการปรับปรุงวิธีการสำรวจตรวจสอบ	- ความน่าเชื่อถือ	- การสำรวจตรวจสอบ - การวัด - การสังเกต - การสำรวจตรวจสอบ
9. นำผลของการสำรวจตรวจสอบที่ได้ ทั้งวิธีการ และองค์ความรู้ที่ได้ไปสร้าง คำถามใหม่ นำไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ ใหม่และในชีวิตจริง		- การสำรวจตรวจสอบ - สร้างคำถาม - แก้ปัญหา
10. ตระหนักถึงความสำคัญ ในการที่จะต้องมี ส่วนร่วมรับผิดชอบ การอธิบาย การลง ความเห็น และการสรุปผลการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ ที่นำเสนอต่อสาธารณชนด้วย ความถูกต้อง	- มีส่วนร่วมรับผิดชอบ - ความถูกต้อง	- การอธิบาย - การลงความเห็น - การสรุปผล

ตาราง 1 (ต่อ)

ตัวชี้วัดในสาระที่ 8 ธรรมชาติของ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	จิตวิทยาศาสตร์	ทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์
11. บันทึกและอธิบายผลการสำรวจตรวจสอบ อย่างมีเหตุผล ใช้พยานหลักฐานอ้างอิงหรือ ค้นคว้าเพื่อเติม เพื่อหาหลักฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และยอมรับว่าความรู้เดิม อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีข้อมูลและประจักษ์พยานใหม่เพิ่มเติมหรือ โต้แย้งจากเดิม ซึ่งท้าทายให้มีการตรวจสอบ อย่างระมัดระวัง อันจะนำมาสู่ การยอมรับ เป็นความรู้ใหม่	- มีเหตุผล - ใช้พยานหลักฐานอ้างอิง - เชื่อถือได้ - ยอมรับว่าความรู้เดิม อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ - ระมัดระวัง - การยอมรับเป็น ความรู้ใหม่	- บันทึกและอธิบาย - ค้นคว้าเพื่อเติม - การสำรวจตรวจสอบ
12. จัดแสดงผลงาน เขียนรายงาน และ/หรือ อธิบายเกี่ยวกับแนวคิด กระบวนการ และ ผลของโครงการหรือชิ้นงานให้ผู้อื่นเข้าใจ		- จัดแสดงผลงาน - เขียนรายงาน - อธิบายเกี่ยวกับ แนวคิด กระบวนการ และผล

จิตวิทยาศาสตร์

ความหมายของจิตวิทยาศาสตร์ (Scientific mind)

กรมวิชาการ (2545, หน้า 143) คำว่า จิตวิทยาศาสตร์ เป็นคุณลักษณะหรือลักษณะนิสัย
ของบุคคลที่เกิดขึ้นจากการศึกษาหาความรู้ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มาจากคำว่า
Scientific Mine ในภาษาอังกฤษ ซึ่งจิตวิทยาศาสตร์ประกอบด้วยคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่
ความสนใจใฝ่รู้ ความมุ่งมั่น อดทน รอบคอบ ความซื่อสัตย์ การมีใจกว้างยอมรับฟังความคิดเห็น
มีความคิดสร้างสรรค์ มีความสงสัยและกระตือรือร้นที่จะหาคำตอบ ยอมรับเมื่อมีประจักษ์พยาน
หรือเหตุผลที่เพียงพอ

วิสเซอร์ (Visser, 2000) กล่าวว่า จิตวิทยาศาสตร์ (scientific mind) ประกอบด้วย
เจตคติ (attitude) และทักษะทางการคิด (cognitive) เกี่ยวกับการย้อนคิดเกี่ยวกับ ความคิดของตน
(meta-cognitive) ที่มีลักษณะเป็นนิสัยของจิตใจในการวิพากษ์วิจารณ์ความรู้ของผู้รู้หรือความรู้
เดิมที่มีอยู่ ซึ่งแสดงถึงความมีจริยธรรมและสุนทรียศาสตร์ในระดับสูงของบุคคล

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้กล่าวว่า จิตวิทยาศาสตร์ (scientific mind/scientific attitudes) เป็นคุณลักษณะหรือลักษณะนิสัยของบุคคลที่เกิดขึ้นจากการศึกษาหาความรู้ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความสนใจใฝ่รู้ ความมุ่งมั่น อดทนรอบคอบ ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์ ประหยัด การร่วมแสดงความคิดเห็นและยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ความมีเหตุผล การทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์

ฮอนเดอร์ริช (Honderich, 1995) กล่าวว่า จิตวิทยาศาสตร์ (scientific mind) หมายถึง การคิดที่อยู่บนพื้นฐานวิธีการทางวิทยาศาสตร์และทัศนคติการมองโลกแบบวิทยาศาสตร์ ดังนี้ วิทยาศาสตร์มีความสำคัญมากกว่าศิลปะในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับโลกหรือเหตุการณ์ที่ต้องทำความเข้าใจ วิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นวิธีการทางปัญญาเพียงวิธีการเดียวที่ได้รับการยอมรับ ปัญหาทางปรัชญาเป็นปัญหาทางวิทยาศาสตร์และควรจะสามารถจัดการได้ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์

“Scientific” หมายถึง สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ชั้นนำหรือเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ ซึ่งในที่นี้หมายถึง ความรู้ที่ได้มาจากการศึกษาทางวิทยาศาสตร์

“Mind” หมายถึง แหล่งของจิตสำนึก ความคิด ความรู้สึก ความโน้มเอียง หรือวิธีการคิดของบุคคล

“Scientific mind” หมายถึง จิตสำนึก ความคิด ความรู้สึก ความโน้มเอียง หรือวิธีการคิดของบุคคลที่ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่ชี้นำ

UNESCO (2005) ได้กล่าวไว้ว่า จิตวิทยาศาสตร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือทัศนคติทั่วไปของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น ทัศนคติด้านศิลปะ ด้านบริหารธุรกิจ ด้านจิตใจ ด้านไหวพริบ ด้านศีลธรรมและจริยธรรม ซึ่งเป็นทัศนคติที่มีอยู่ในแต่ละคน

ดังนั้น จิตวิทยาศาสตร์ คือ ความรู้สึกของบุคคลที่มีต่อการคิด การกระทำและการตัดสินใจ ที่จะแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏให้เห็นเป็นพฤติกรรม ซึ่งนักวิทยาศาสตร์จะใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์มาแก้ปัญหาด้านอื่นๆ เพื่อศึกษาหาความรู้ให้ได้ผลและทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความรู้ ความเข้าใจทางด้านวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น

องค์ประกอบของจิตวิทยาศาสตร์ (Scientific Mind)

สไมลี (Smily, n.d.) ระบุองค์ประกอบของจิตวิทยาศาสตร์ (Scientific Mind) ประกอบด้วย

1. ความมีเหตุมีผล (Rationality)
2. ความอยากรู้อยากเห็น (Curiosity)

3. ความเป็นใจกว้าง (Open-Mindedness)
4. การคิดพิจารณาอย่างละเอียดรอบคอบ (Suspended Judgment)
5. ความเป็นกลาง (Objectivity)
6. การคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Critical Thinking)
7. ความมุ่งมั่น (Persistence)
8. การคิดค้นด้วยตนเอง (Inventiveness)
9. ความเห็นอกเห็นใจผู้อื่น (Caring)
10. ความซื่อสัตย์ (Honesty)
11. ความถ่อมตน (Humility)

วิสเซอร์ (Visser, 2000) ระบุองค์ประกอบของ จิตวิทยาาสตร์ (Scientific Mind) ประกอบด้วย

1. มีจิตวิญญาณของการสืบเสาะหาความรู้ (The spirit of inquiry)
2. มีจิตวิญญาณของการร่วมมือ (The spirit of collaboration)
3. การค้นหาเพื่อความดีงาม (ความประสานกลมกลืน, การประหยัด, ส่วนรวม)(The quest for beauty (harmony, parsimony, wholeness))
4. ความปรารถนาที่จะเข้าใจและกระทำโดยใช้ความคิดอย่างลึกซึ้ง (The desire to understand and do so profoundly)
5. มีจิตวิญญาณของการสร้างสรรค์ (The creative spirit)
6. การส่งเสริมให้เกิดการวิพากษ์วิจารณ์ (The urge to be critical)
7. มีจิตวิญญาณของความพยายาม ท่วมเท (The spirit of transcend)
8. มีจิตวิญญาณของการสร้างความรู้ต่อยอดจากความรู้เดิม (The spirit of building on prior knowledge)
9. การแสวงหาความเป็นหนึ่งเดียว (The search for unity)
10. การสร้างเรื่องราวจากความรู้และความสามารถของมนุษย์ (The building of the story human knowledge and ability)
11. มีจิตวิญญาณของการสร้างความรู้ (The spirit of construction)

โรว์แลนด์ (Rowland, n.d.) ได้ระบุองค์ประกอบของจิตวิทยาาสตร์ (Scientific Mind) ประกอบด้วย

1. เชื่อว่าความรู้สามารถพิสูจน์ได้ (Verifiable Knowledge)
2. การพิจารณาอย่างละเอียดรอบคอบเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือ และข้อกำหนดของเหตุการณ์เพื่อการตัดสินใจ (judgments of trustworthiness, and provision of evidence for making such judgments)
3. มีความคิดวิพากษ์วิจารณ์ มีจิตสำนึกที่จะไม่ลำเอียง (critical mindset; a conscious attempt to be unbiased or to become aware of and acknowledge one's biases)
4. ความสามารถในการปรับตัวและเปิดใจกว้าง (adaptability and openness of mind)
5. ความอยากรู้อยากเห็น (curiosity)
6. การรู้จักปฏิเสธความเชื่อที่ไม่มีการพิสูจน์ (the ability to recognize and an attitude to reject dogma)
7. เสาะแสวงหาความเข้าใจจากสาเหตุ (seeking to understand root causes, not just symptoms)
8. การมีส่วนร่วมในสังคมวิทยาศาสตร์ (participation in a scientific community)
9. ความเข้าใจและใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ เช่น ใช้ภาษาและเครื่องมือเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ (an understanding and use of science, for example, the use of scientific tools and language)

รอย (Roy, n.d.) ได้กล่าวถึงจิตวิทยาาสตร์ใน 2 มิติ คือ มิติความคิด (thought) และจิตสำนึก (conscience) ของการแสวงหาความรู้โดยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ที่สมบูรณ์ โดยสรุปเป็นองค์ประกอบของจิตวิทยาาสตร์ (Scientific Mind) ได้ดังนี้

1. มีความสนใจในธรรมชาติ (interesting nature)
2. มีความอยากรู้อยากเห็น (inquisitive)
3. มีความคิดสร้างสรรค์ (creative)
4. มีการคิดอย่างอิสระด้วยหลักตรรกะ (Logical freethinking)
5. มีการคิดวิเคราะห์อย่างวิพากษ์วิจารณ์ (critical analysis)
6. มีการคิดเข้าใจได้ด้วยตนเอง (Intuition)

สสวท. (2546, หน้า 14 - 15) กล่าวว่า คุณลักษณะที่ชี้บ่งจิตวิทยาศาสตร์ (Scientific Mind) ได้แก่ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์

1. เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นลักษณะนิสัยของผู้เรียนที่คาดหวังจะได้รับการพัฒนา โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คุณลักษณะของเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

- 1.1 ความสนใจใฝ่รู้หรือความอยากรู้อยากเห็น
- 1.2 ความมุ่งมั่น อดทน รอบคอบ
- 1.3 ความซื่อสัตย์
- 1.4 ความประหยัด
- 1.5 ความใจกว้าง ร่วมแสดงความคิดเห็นและรับฟังความคิดของผู้อื่น
- 1.6 ความมีเหตุผล
- 1.7 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

2. เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ เป็นความรู้สึกที่ผู้เรียนมีต่อการทำกิจกรรมการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ด้วยกิจกรรมที่หลากหลาย คุณลักษณะของเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย

- 2.1 พอใจในประสบการณ์การเรียนรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์
- 2.2 ศรัทธาและซาบซึ้งในผลงานทางวิทยาศาสตร์
- 2.3 เห็นคุณค่าและประโยชน์ของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 2.4 ตระหนักในคุณและโทษของการใช้เทคโนโลยี
- 2.5 เรียนหรือเข้าร่วมกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์อย่างสนุกสนาน
- 2.6 เลือกใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการคิดและปฏิบัติ
- 2.7 ตั้งใจเรียนวิชาวิทยาศาสตร์
- 2.8 ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีคุณธรรม
- 2.9 ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยใคร่ครวญ ไตร่ตรองถึงผลดีและ

ผลเสีย

เคอร์ติส, เวลล์ และวิลเลียม (วรวิทย์ ดันทนะเทวินทร์, 2534, หน้า 27 อ้างอิงใน Curtis, Well and William, 1960) ได้รวบรวมลักษณะของบุคคลที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

1. ไม่มีความเชื่อเรื่องเกี่ยวกับโชคลาง ความลึกลับที่อธิบายไม่ได้
2. มีอุดมคติและความกระตือรือร้น อยากรู้เกี่ยวกับเหตุการณ์ต่างๆ ไปที่เกิดขึ้น โดยชอบทดสอบความจริงที่เคยมีผู้คนว่าไว้แล้วมีการสังเกตอย่างละเอียดถี่ถ้วน
3. มีนิสัยรักความจริงและเชื่อเหตุการณ์ที่ตนได้ทดสอบแล้วคือ



4. มีนิสัยที่จะประมาณเหตุผลและมีความเชื่อมั่น เชื่อสัจยต่อหลักวิชาและเหตุผล
เพียงพอในการกระทำ

5. ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น เป็นผู้ที่มีใจกว้าง และยินดีที่จะทำการทดลอง
เพื่อพิสูจน์ความจริงได้เสมอ

ซอนเดอร์ (วรวิทย์ ตันทนะเทวินทร์, 2534, หน้า 27 อ้างอิงใน Saunders, 1955)
ได้กล่าวถึงเจตคติทางวิทยาศาสตร์ว่ามีคุณลักษณะ ดังนี้

1. มีระเบียบวินัยในการดำเนินชีวิต
2. รู้จักสังเกต
3. ไม่ลำเอียงในการทดลอง
4. รู้จักสื่อข่าวสารที่ได้รับ
5. ระมัดระวังความผิดพลาดอันอาจเกิดขึ้นและรู้จักวิธีที่จะป้องกัน
6. มีจิตใจกว้างขวาง
7. มีความพร้อมที่จะหาความรู้เพิ่มเติมอยู่เสมอ
8. มีความเต็มใจที่จะทดสอบความจริง
9. มีความรอบคอบในการสรุป เมื่อมีหลักฐานเพียงพอ
10. มีทักษะในการตั้งสมมติฐานจากข้อเท็จจริงอย่างเพียงพอ

วิกเตอร์ (สมจิต สวธนไพบุลย์ และคณะ, 2546, หน้า 89 อ้างอิงใน Victor, 1980)
ได้กล่าวถึงลักษณะของผู้มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

1. ความอยากรู้อยากเห็น
2. พยายามหาหลักฐานต่างๆ ที่เชื่อถือได้
3. มีใจกว้าง
4. มีความหนักแน่น
5. ไม่ตัดสินใจด้วยอารมณ์
6. ไม่ลงข้อสรุปเมื่อยังมีหลักฐานไม่เพียงพอ
7. เคารพในความคิดเห็นของคนอื่น
8. ไม่เชื่อคำพูดที่ยังไม่มีข้อพิสูจน์
9. ไม่เชื่อโชคลาง
10. ยึดถือความจริง
11. เต็มใจที่จะตอบข้อซักถามของคนอื่น

ไดเดอร์ริค (วรวิทย์ ตันทนะเทวินทร์, 2534, หน้า 28-29 อ้างอิงใน Diederich, 1967) ได้กล่าวถึงลักษณะของบุคคลที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

1. ไม่ยอมเชื่ออะไรง่าย ๆ จะต้องถามเสียก่อนเมื่อมีความสงสัย
2. มีความเชื่ออยู่ในใจเสมอว่าจะต้องมีแนวทางแก้ปัญหาได้
3. เชื่อในสิ่งที่สามารถพิสูจน์ยืนยันได้เท่านั้น
4. มีความเที่ยงตรงโดยปราศจากความคิดเห็นหรืออารมณ์ของตน
5. มีความพอใจที่จะยอมรับในสิ่งใหม่ๆ ถ้าสิ่งใหม่นั้นมีค่าและเหตุผล
6. มีความตั้งใจที่จะเปลี่ยนแนวคิดเห็นของตนเองอยู่เสมอ
7. มีความถ่อมตัวหรือยอมรับในข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
8. มีความซื่อสัตย์ต่อความจริง
9. มีเจตคติเชิงปรนัยหรือมีความเป็นปรนัยในการแปลความหมายข้อมูล
10. พอใจยอมรับวิธีการทางวิทยาศาสตร์มาอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ
11. ไม่เชื่อโชคลางหรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์
12. แสวงหาความรู้เพิ่มเติมอยู่เสมอ
13. ไม่ด่วนตัดสินใจในสิ่งใดๆ หรือมีรอบคอบในการตัดสิน
14. สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสมมติฐานกับคำตอบของปัญหา
15. สามารถมองเห็นความสำคัญของสิ่งต่างๆ ตามลำดับความสำคัญ
16. มีข้อตกตงเบื้องต้นในการทำงานใดๆ
17. มีความเชื่อในโครงสร้างทฤษฎี
18. ยอมรับเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น
19. ยอมรับทฤษฎีความน่าจะเป็น
20. ยอมรับข้อสรุปที่มีเหตุผล

บรรทม เครือวัลย์ (2530, หน้า 21-22) ได้นำคุณลักษณะของผู้ที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ของฮานีย์ ซึ่งมีลักษณะอยู่ทั้งหมด 8 ด้านมาวิเคราะห์ร่วมกับคุณลักษณะด้านการยอมรับข้อจำกัดของ ปัญญา สุขศรีงาม (2529, หน้า 15) ที่ได้ให้ความหมายของการยอมรับข้อจำกัดไว้ 4 ด้าน ไว้ดังนี้

1. ความอยากรู้อยากเห็น (curiosity)
2. ความมีเหตุผล (rationality)
3. มีความรอบคอบในการตัดสินใจ (suspending judgement)

4. ความใจกว้าง (open-mindedness)

5. มีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ (critical mindedness)

6. ความเป็นปรณัย (objectivity)

7. ความซื่อสัตย์ (honesty)

8. การยอมรับในข้อจำกัด (humility) หมายถึง การยอมรับข้อจำกัดต่างๆ ในการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

8.1 ข้อจำกัดในเรื่องวิธีการศึกษาแบบอุปนัย ซึ่งอาศัยการสรุปจากข้อมูลที่มีอยู่ ถ้าข้อมูลที่มีมากพอและถูกต้อง การสรุปก็ถูกต้องและเชื่อถือได้

8.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับกับการวัด โดยยอมรับว่าในการวัดในทางวิทยาศาสตร์ จะต้องมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ

8.3 ข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่องค่านิยมต่างๆ เช่น ด้านความสวยงาม ความดี ความยุติธรรม ฯลฯ ซึ่งทางวิทยาศาสตร์ไม่สามารถศึกษาได้

8.4 ข้อจำกัดเกี่ยวกับสิ่งศึกษา ศึกษาเฉพาะในสิ่งที่สมมุติข้อขึ้นมาจากอาศัย การกำหนดสมบัติของสิ่งเหล่านั้น จึงไม่ใช่สิ่งที่เป็นจริงอย่างสมบูรณ์

กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ (2545) ได้จำแนกองค์ประกอบของจิตวิทยาาสตร์ ที่คาดหวังว่าจะได้รับการพัฒนาขึ้นในตัวนักเรียนโดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ต่างๆ มีดังนี้

1. ความสนใจใฝ่รู้

2. ความซื่อสัตย์

3. ความอดทน มุ่งมั่น

4. การมีใจกว้างยอมรับฟังความคิดเห็น

5. ความคิดสร้างสรรค์

6. มีความสงสัยและกระตือรือร้นที่จะหาคำตอบ

7. ยอมรับเมื่อมีประจักษ์พยานหรือเหตุผลที่เพียงพอ

สุวัฒน์ นิยมคำ (2531, หน้า 257) ได้กล่าวถึงลักษณะเจตคติทางวิทยาศาสตร์ อาจจำแนกได้ 9 ข้อ ดังนี้

1. มีความอยากรู้อยากเห็น

2. ชอบสงสัยและชอบซักถาม

3. มีเหตุผล

4. มีใจกว้าง ยอมรับฟังความคิดเห็นของคนอื่น และเปลี่ยนความคิดเมื่อมีหลักฐานอื่น
ดีกว่า

5. มีความซื่อสัตย์ ยึดความถูกต้องตามความเป็นจริง
6. มีความพยายามและอดทนในการหาคำตอบ
7. มีการพิจารณาอย่างรอบคอบก่อนตัดสินใจลงข้อสรุป
8. ไม่ใช้อวด
9. ไม่เชื่อสิ่งที่เห็นหรือธรรมชาติ

ธีระชัย ปุณณโชติ (2536, หน้า 61) ได้ระบุเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้ ดังต่อไปนี้

1. มีความอยากรู้อยากเห็น สนใจใฝ่รู้สิ่งใหม่ๆ อยู่เสมอ
2. มีความสงสัย ไม่เชื่อสิ่งใดโดยง่าย
3. มีใจกว้าง ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้คนที่แตกต่างไปจากตน
4. มีเหตุผลไม่มุงาย
5. ไม่ด่วนสรุป หรือ ลงความเห็นในเรื่องใดโดยปราศจากข้อมูลหรือหลักฐานที่เพียงพอ
6. มีใจเป็นกลาง ไม่ลำเอียงหรืออคติ
7. มีความปรารถนาที่จะทดลองตรวจสอบสิ่งที่พิสูจน์มาแล้ว ว่าเป็นจริงในสถานการณ์

อื่นๆ อีก

8. มีความเชื่ออยู่เสมอว่าจะต้องมีทางที่จะแก้ไขปัญหาค้นหาได้
9. มีความซื่อสัตย์ เช่น การพิจารณาตัดสินโดยอาศัยข้อมูลอย่างตรงไปตรงมาและไม่นำผลงานของผู้อื่นมาเป็นของตนเอง

พัชรา ทวีวงศ์ ณ อยุธยา (2537, หน้า 25) ได้สรุปว่า เจตคติทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วยคุณลักษณะดังต่อไปนี้

1. ความอยากรู้อยากเห็น
2. ความมีเหตุผล
3. ความเพียรพยายาม
4. ความซื่อสัตย์
5. ความมีระเบียบรอบคอบ
6. ความใจกว้าง
7. การใช้ความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์
8. การยอมรับในข้อจำกัด
9. การยอมรับในสิ่งที่ค้นพบ

ภพ เลหาไพบูลย์ (2537, หน้า 12-13) ได้สรุปคุณลักษณะของผู้ที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ดังนี้

1. ความอยากรู้อยากเห็น
2. ความเพียรพยายาม
3. ความมีเหตุผล
4. ความซื่อสัตย์
5. ความมีระเบียบรอบคอบ
6. ความใจกว้าง

บิลเลห์ และซาคาไรเดส (อุษา คำประกอบ, 2530, หน้า 45-46 อ้างอิงใน Billeh and zakhariades, 1975, pp.155-156) ได้สรุปลักษณะของผู้ที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ว่าประกอบด้วย 6 ประการ คือ

1. มีเหตุผล (rationality)
2. มีความอยากรู้อยากเห็น (curiosity)
3. มีใจกว้าง (open - mindedness)
4. ไม่เชื่อโชคลางหรือลัทธิไสยศาสตร์ (aversion to superstition)
5. มีความซื่อสัตย์ (objectivity - intellectual honesty)
6. มีความละเอียดรอบคอบในการตัดสินใจ (suspended judgement)

สมหวัง พริยานุวัณน์ และจันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช (สุวัฒน์ นิยมคำ, 2531, หน้า 259 อ้างอิงใน สมหวัง พริยานุวัณน์ และจันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช, 2524) ได้จำแนกเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้ 6 ประการ ดังนี้

1. มีเหตุผล ชอบแสวงหาสาเหตุของสิ่งต่างๆ
2. ชอบสงสัย ชอบตรวจตรา และประเมินกรรมวิธี กลวิธีและประสบการณ์ต่างๆ
3. มีใจกว้าง ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น
4. ช่างสังเกต
5. มีความคิดเห็น และลงข้อสรุปบนรากฐานของข้อมูลที่เพียงพอและเชื่อถือได้
6. มีความอยากรู้อยากเห็น ไม่พอใจคำตอบที่ไม่สมเหตุสมผล

วรรณทิพา รอดแรงคำ และพิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ (2524, หน้า 8) ได้กล่าวไว้เกี่ยวกับ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้ คือ

1. มีเหตุผล
2. อยากรู้ อยากเห็น
3. มีใจกว้าง
4. ซื่อสัตย์และมีใจเป็นกลาง
5. มีความเพียรพยายาม
6. มีความรอบคอบก่อนตัดสินใจ

อุษา คำประกอบ (2530, หน้า 48) ได้สรุปคุณลักษณะผู้ที่มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้ คือ

1. ความมีเหตุผล
2. ความอยากรู้ อยากเห็น
3. ความใจกว้าง
4. ความซื่อสัตย์ และใจเป็นกลาง
5. ความเพียรพยายาม
6. ความละเอียดรอบคอบก่อนตัดสินใจ

จากการศึกษาองค์ประกอบจิตวิทยาศาสตร์จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสังเคราะห์องค์ประกอบจิตวิทยาศาสตร์ ออกมาดังตาราง 1 เพื่อนำไปองค์ประกอบที่ได้ไปสร้างและพัฒนาตัวชี้วัดคุณลักษณะจิตวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พร้อมทั้งใช้ตัวชี้วัดคุณลักษณะจิตวิทยาศาสตร์ที่ได้มาสร้างเป็นเครื่องมือศึกษาคุณลักษณะจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในสถานศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 39 ต่อไป

ตาราง 2 (ต่อ)

องค์ประกอบ	๒๕๖๕-๒๕๖๖		
	๒๕๖๕	๒๕๖๖	๒๕๖๗
วัดเตอร์ (สมจิต สวธน์โพธิ์ และคณะ, 2546, หน้า 89 อ้างอิงใน Victor, 1980)	✓	✓	✓
ไดเดอร์ริค (วรวิทย์ ต้นทนะเทวินทร์, 2534, หน้า 28-29 อ้างอิงใน Diederich, 1967)	✓	✓	✓
บิลเลห์ และซาคาไรเดส (อุษา คำประกอบ, 2530, หน้า 45-46 อ้างอิงใน Billeh and zakhariades, 1975, pp. 155-156)	✓	✓	✓

ตาราง 2 (ต่อ)

องค์ประกอบ

[illegible]

จากตาราง 2 จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยสามารถสังเคราะห์องค์ประกอบคุณลักษณะจิตวิทยาศาสตร์ได้ 11 องค์ประกอบ ดังนี้ องค์ประกอบที่ 1 ความสนใจ ใฝ่รู้ องค์ประกอบที่ 2 ความอยากรู้อยากเห็น องค์ประกอบที่ 3 ความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน องค์ประกอบที่ 4 ความเปิดใจกว้าง องค์ประกอบที่ 5 ความมีเหตุผล องค์ประกอบที่ 6 ความละเอียดรอบคอบและมีระเบียบ องค์ประกอบที่ 7 ความซื่อสัตย์ องค์ประกอบที่ 8 ความรับผิดชอบ องค์ประกอบที่ 9 การมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ องค์ประกอบที่ 10 การมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ องค์ประกอบที่ 11 การยอมรับในข้อจำกัด

คุณลักษณะของจิตวิทยาศาสตร์

ความสนใจใฝ่รู้

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความสนใจใฝ่รู้ ไว้ดังนี้

ปราโมทย์ ธรรมสโรช (2535, หน้า 4) ได้ให้ความหมายของความสนใจในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีว่า หมายถึง ความโน้มเอียงที่เข้าร่วมหรือความตั้งใจของนักเรียนที่จะแสดงพฤติกรรมหรือทำกิจกรรมต่างๆ เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีในห้องเรียนและนอกห้องเรียนหรือในชีวิตประจำวันต่างๆ

สมชาย อุ่นอนันต์ (2539, หน้า 9) ให้ความหมายของความสนใจทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีว่า หมายถึง ความรู้สึกชอบ หรือความพอใจของบุคคลเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งในห้องเรียนและนอกห้องเรียน หรือในชีวิตประจำวัน

โกมล เรืองฤทธิ์กุล (2542, หน้า 8) ได้ให้ความหมายของความสนใจทางวิทยาศาสตร์ว่าหมายถึง การแสดงออกถึงความเอาใจใส่ต่อเนื้อหาสาระ หรือปัญหาต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์ ความสนใจทางวิทยาศาสตร์ วัดได้โดยการกำหนดหัวข้อที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ให้แล้วนักเรียนเลือกว่าสนใจเรื่องที่กำหนดให้เพียงใด

อรวรรณ พลายนะหาร (2545, หน้า 6) ให้ความหมายของความสนใจในวิทยาศาสตร์ว่าเป็นความรู้สึกชอบและพอใจต่อวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจมีเพียงชั่วขณะหรือถาวร

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่านที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของความสนใจใฝ่รู้ว่า หมายถึง ความรู้สึกพอใจ ชื่นชอบ เอาใจใส่ และสมัครใจเข้าร่วมกิจกรรมหรือแสวงหาความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ รวมทั้งมี ความซาบซึ้งและตระหนักในคุณค่าของธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งความรู้วิทยาศาสตร์

ตัวชี้วัดความสนใจใฝ่รู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2546, หน้า 137-139) ได้กำหนดคุณลักษณะความสนใจใฝ่รู้ ไว้ดังนี้

1. มีความใส่ใจและพอใจใคร่จะสืบเสาะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์และปัญหาใหม่ๆ อยู่เสมอ

2. มีความกระตือรือร้นต่อกิจกรรมและเรื่องต่างๆ

3. ชอบทดลองค้นคว้า

4. ชอบสนทนา ชักถาม ฟัง อ่าน เพื่อให้ได้รับความรู้เพิ่มขึ้น

สullivan ลังซ์ออง (2523, หน้า 341-343 อ้างอิงใน BSCS, 1970) ได้กำหนดคุณลักษณะความสนใจใฝ่รู้ไว้ดังนี้

1. แสดงออกถึงความพอใจที่จะสืบเสาะหาความรู้ หรือความคิดใหม่ๆ

2. แสดงถึงความพอใจที่จะได้ข้อมูลหรือความคิดใหม่ๆ เพิ่มเติม

3. แสดงออกถึงความพอใจที่จะได้ข้อสรุปที่มีข้อมูลหรือหลักฐานที่น่าเชื่อถือได้สนับสนุน

4. แสดงออกถึงความสนใจในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ที่กำลังเป็น ปัญหา

สำคัญอยู่ในชีวิตประจำวัน

5. แสดงออกถึงความพอใจที่จะหาคำตอบในสิ่งที่ตนอยากรู้

ความอยากรู้อยากเห็น

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความอยากรู้อยากเห็นไว้ ดังนี้

นาริรัตน์ พงษ์พิมาย (2537, หน้า 6) กล่าวว่าความอยากรู้อยากเห็น หมายถึง คุณลักษณะอย่างหนึ่งของบุคคลซึ่งสามารถประเมินได้จากพฤติกรรมที่แสดงออกในลักษณะของการยอมรับฟังความคิดเห็นของบุคคลอื่นๆ ที่ต่างจากความคิดเห็นของตน และพร้อมที่จะทำความเข้าใจกับบุคคลที่มีความคิดเห็นแตกต่างจากตน

สมหวัง พิธิยานุวัฒน์ และจันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช (2524, หน้า 33) กล่าวถึงคุณลักษณะของผู้มีความอยากรู้อยากเห็นว่า นักวิทยาศาสตร์ต้องเป็นผู้มีความอยากรู้อยากเห็นเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ เพื่อแสวงหาคำตอบที่มีเหตุผลในข้อหาต่างๆ และจะมีความยินดีมากที่ได้ค้นพบความรู้ใหม่

สายพิน ศรีสวรรณรัตน์ (2540, หน้า 5) กล่าวถึงความอยากรู้อยากเห็นว่าหมายถึง คุณลักษณะอย่างหนึ่งของบุคคลที่แสดงออกการให้ความสนใจ เมื่อมีสิ่งใหม่ๆ แปลกๆ มากระตุ้น และแสดงความสนใจที่จะรู้จัก หรือทำความเข้าใจกับสิ่งเหล่านั้นมากขึ้น

ฮิลการ์ด (Hilgard, 1962, p.132) ได้ให้ความหมายของความอยากรู้อยากเห็นว่าเป็น บุคคลิกภาพที่แสดงถึงแรงจูงใจของบุคคลต่อสิ่งเร้าใหม่ๆ และยังจัดเป็นแรงขับ (drive) ของบุคคล ที่จะทำให้เกิดแรงจูงใจที่จะสำรวจสิ่งต่างๆ อยู่เสมอ พฤติกรรมการสำรวจ (exploratory behavior) นี้ น่าจะเป็นส่วนช่วยให้บุคคลมีความสามารถในการอ่านเพิ่มมากขึ้น

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่านที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของความอยากรู้อยากเห็น หมายถึง ความต้องการที่จะรู้หรือปรารถนาที่จะเสาะแสวงหาความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ตนสนใจหรือต้องการค้นพบสิ่งใหม่ ซึ่งผู้มีความอยากรู้อยากเห็นจะแสดงออกจากการถามคำถามหรือมีความสงสัยในสิ่งที่ตนเองสนใจอยากรู้มีความกระตือรือร้นในการเสาะแสวงหาข้อมูล

ตัวชี้วัดความอยากรู้อยากเห็น

บิลเลห์ และซาคาริแอดส์ (สุวัฒน์ นิยมคำ, 2531, หน้า 258 อ้างอิงใน Billech and Zakhariades, 1975, pp.155 -156) ได้กำหนดคุณลักษณะความอยากรู้อยากเห็น ไว้ดังนี้

1. มีความต้องการที่จะเข้าใจในสถานการณ์ใหม่ๆ ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความรู้ที่มีอยู่
2. มีความต้องการที่จะถามว่า“ทำไม” และ “อย่างไร” ต่อปรากฏการณ์ต่างๆ
3. มีความต้องการที่จะหาความรู้เพิ่มเติมอยู่เสมอ

ทบวงมหาวิทยาลัย (2525, หน้า 4-6) ได้กำหนดคุณลักษณะความอยากรู้อยากเห็น ไว้ดังนี้

1. มีความพยายามที่จะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์ใหม่ๆ ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความรู้ที่มีอยู่เดิม
2. ตระหนักถึงความสำคัญของการแสวงหาข้อมูลเพิ่มเติม
3. ช่างซัก ช่างถาม ช่างอ่าน เพื่อให้ได้คำตอบเป็นความรู้ที่สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น
4. ให้ความสนใจในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญในชีวิตประจำวัน

พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ (2545, หน้า 13-14) ได้กำหนดคุณลักษณะความอยากรู้อยากเห็น ไว้ดังนี้

1. มีความพยายามที่จะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์ใหม่ๆ ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความรู้ที่มีอยู่เดิม
2. ตระหนักถึงความสำคัญของการแสวงหาข้อมูลเพิ่มเติม
3. ช่างซัก ช่างถาม ช่างอ่าน เพื่อให้ได้คำตอบเป็นความรู้ที่สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น
4. ให้ความสนใจในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญในชีวิตประจำวัน

ความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความเพียรพยายาม มุ่งมั่นและอดทนไว้ดังนี้

นำพร ไวว่อง (2537, หน้า 14) ให้ความหมายของความอดทนว่า หมายถึง ความสามารถของร่างกาย ความคิด จิตใจ ที่จะทนต่อการปฏิบัติกิจกรรมหรือหน้าที่อย่างใด ที่สมเหตุสมผลให้ต่อเนื่องและบรรลุสำเร็จได้ ความอดทนนี้เป็นพลังอันหนึ่งที่จะผลักดันงานให้ไปสู่จุดหมายปลายทางที่แท้จริง

จรีรัตน์ นันทยทวิกุล (2538, หน้า 5) กล่าวถึงความอดทนว่าหมายถึง ความสามารถของร่างกาย ความคิดและจิตใจที่จะอดทนต่อการปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ ได้นานๆ จนทำให้สำเร็จได้โดยไม่คำนึงถึงอุปสรรคใดๆ มีร่างกายแข็งแรง มีจิตใจเข้มแข็ง ควบคุมตนเองได้ดี เมื่อเกิดความเหนื่อยอ่อนและเกียจคร้าน

สายพิน ศรีสวรรณรัตน์ (2540, หน้า 4) ให้ความหมายความอดทนว่าหมายถึง คุณลักษณะอย่างหนึ่งของบุคคลที่แสดงออกในลักษณะความสามารถทางร่างกาย ความคิด และจิตในที่จะทนต่อ การปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ ให้สำเร็จได้โดยไม่หวั่นกลัวต่ออุปสรรค และเมื่อเริ่มต้นงานใดก็จะพยายามทำงานบรรลุความสำเร็จ และสามารถบังคับตนเองเมื่อเกิดความเหนื่อยอ่อนและเกียจคร้านได้

ธีรวุฒิ เอกะกุล (2541, หน้า 36) กล่าวถึงพฤติกรรมของผู้มีความอดทนไว้ว่า สามารถปฏิบัติงานที่ยากให้สำเร็จได้ ปฏิบัติงานโดยไม่ย่อท้อต่ออุปสรรค และพยายามเอาชนะอุปสรรค ปฏิบัติงานจนสำเร็จไม่ทิ้งขว้างกลางคัน

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน หมายถึง ความปรารถนาที่จะเข้าถึงความจริงที่ถูกต้อง มุ่งมั่น เพียรพยายาม และไม่ท้อถอยเมื่อมีอุปสรรคหรือความล้มเหลว มีความตั้งใจ แน่วแน่ต่อการเสาะแสวงหาความรู้อย่างต่อเนื่อง อดทนต่อการโจมตีคัดค้านและความผิดพลาดต่างๆ เพื่อบรรลุจุดหมายของปัญหาที่ถูกต้องได้

ตัวชี้วัดความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2546, หน้า 137-139) ได้กำหนดคุณลักษณะความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน ไว้ดังนี้

1. ยอมรับผลการกระทำของตนเองไม่ว่าจะเป็นผลดีหรือผลเสีย
2. ทำงานที่ได้รับมอบหมายให้สมบูรณ์ตามกำหนดและตรงต่อเวลา
3. เว้นการกระทำอันเป็นผลเสียหยาต้อส่วนรวม

4. ทำงานเต็มความสามารถ
5. ไม่ทอดทิ้งในการทำงานเมื่อมีอุปสรรคหรือล้มเหลว
6. มีความอดทนแม้การดำเนินการแก้ปัญหาจะยุ่งยากและใช้เวลา

สุนันท์ สังข์อ่อง (2523, หน้า 341- 343 อ้างอิงใน BSCS, 1970) ได้กำหนดคุณลักษณะความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน ไว้ดังนี้

1. ตระหนักและยอมรับในขีดจำกัดของตนเอง
2. ตระหนักดีว่าทุกสิ่งทุกอย่างอาจเปลี่ยนแปลงได้ในวันข้างหน้า
3. ตระหนักถึงความสำคัญของการแสวงหาความรู้จากแหล่งต่างๆ
4. ตระหนักถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ อันเป็นผลจากความเพียรพยายามของมนุษย์
5. แสดงออกถึงความเชื่อว่าวิทยาศาสตร์นั้นมีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมที่เราอยู่
6. ไม่คิดแปลงหรือแก้ไขข้อมูลที่ค้นพบ แม้ว่าข้อมูลนั้นจะไม่สนับสนุน สมมติฐานของตนเอง
7. แสดงออกถึงความเข้าใจว่าการค้นคว้าวิจัยและทดลองทางวิทยาศาสตร์ ต้องใช้ความอดทน
8. ตระหนักถึงขีดจำกัดของความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน
9. ตระหนักถึงความสำคัญของวิธีแสวงหาความรู้ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และธรรมชาติของวิทยาศาสตร์
10. แสดงความเชื่อว่าการค้นคว้าหรือประดิษฐ์สิ่งใหม่ๆ นั้นควรจะได้ตระหนักและเข้าใจถึงความเชื่อเก่าๆ ด้วย

พิมพ์นธ์ เดชะคุปต์ (2545, หน้า 13-14) ได้กำหนดคุณลักษณะความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน ไว้ดังนี้

1. ทำกิจการงานที่ได้รับมอบหมายอย่างสมบูรณ์
2. ไม่ทอดทิ้ง เมื่อการทดลองมีอุปสรรคหรือล้มเหลว
3. มีความตั้งใจแน่วแน่ต่อการเสาะแสวงหาความรู้

คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ทบวงมหาวิทยาลัย (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2525, หน้า 216-217) ได้กำหนดคุณลักษณะความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน ไว้ดังนี้

1. นำวิธีการหลายอย่างมาใช้ตรวจสอบปัญหา
2. ดำเนินการแก้ปัญหาจนถึงที่สุดหรือจนกว่าจะได้รับคำตอบ
3. ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือการทดลองซ้ำแม้ข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องหรือตรงกับการคาดคะเน

ความเปิดใจกว้าง

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความเปิดใจกว้าง ไว้ดังนี้

นภาพร สิ้นสวัสดิ์ (2535, หน้า 112) กล่าวถึงพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความมีใจกว้างว่าเป็นผู้ไม่หวั่นความรู้ และรู้จักถ่ายทอดความรู้ สามารถรับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้งหรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่นในการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน ไม่ยึดมั่นในความคิดเห็นของตนเอง ยอมรับการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีเหตุผลที่เหมาะสมกว่า รับฟังความคิดเห็นที่ตัวเองไม่เข้าใจและพร้อมที่จะทำความเข้าใจ

สมหวัง พิธิยานุวัฒน์ และจันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช (2524, หน้า33) ให้ความหมายลักษณะของความใจกว้างว่า นักวิทยาศาสตร์ต้องเป็นผู้มีใจกว้างที่จะรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น รับฟังคำวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้งข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น โดยไม่ยึดมั่นในความคิดเห็นของตนเองฝ่ายเดียว ยอมรับการเปลี่ยนแปลง ยอมรับพิจารณาข้อมูล หรือความคิดเห็นที่ยัง สรุปรูปไม่ได้ พร้อมจะหาข้อมูลเพิ่มเติม

นารินทร์ พงษ์พิมาย (2537, หน้า 6) ให้ความหมายของความใจกว้างว่า หมายถึง คุณลักษณะอย่างหนึ่งของบุคคล ซึ่งสามารถประเมินได้จากพฤติกรรมที่แสดงออกในลักษณะของการยอมรับฟังความคิดเห็นของบุคคลอื่นที่ต่างจากความคิดเห็นของตน และพร้อมที่จะทำความเข้าใจบุคคลที่มีความคิดเห็นแตกต่างจากตน

ศิริภรณ์ เม่นม้วน (2543, หน้า 8) ให้ความหมายของใจกว้างและยอมรับความคิดเห็นใหม่ๆ ว่าหมายถึง คุณลักษณะที่แสดงถึงการเป็นผู้มีใจกว้าง รับฟังความคิดเห็นหรือข้อโต้แย้งที่มีเหตุผลของผู้อื่น ไม่ยึดมั่นในความคิดของตนเองเป็นใหญ่ ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นอาจมีเหตุผลดีกว่าของเราก็ได้

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของความเปิดใจกว้าง หมายถึง การยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ยอมรับการวิพากษ์วิจารณ์ และยินดีให้มีการพิสูจน์ข้อเท็จจริง ยินดีที่จะค้นหาข้อมูลเพิ่มเติมตามเหตุผลข้อเท็จจริงโดยไม่ยึดมั่นในแนวความคิดของตน เต็มใจที่จะรับรู้ ความคิดเห็นใหม่ๆ และเต็มใจที่จะเผยแพร่ความรู้และความคิดเห็นแก่ผู้อื่น

ตัวชี้วัดความเปิดใจกว้าง

บิลเลห์ และซาคาริแอดส์ (สุวัณท์ นิยมคำ, 2531, หน้า 258 อ้างอิงใน Billech and Zakhariades, 1975, pp.155 -156) ได้กำหนดคุณลักษณะความเปิดใจกว้าง ไว้ดังนี้

1. เต็มใจที่จะทบทวน หรือเปลี่ยนความคิดเห็น และข้อสรุป
2. มีความปรารถนาที่จะรับรู้ความรู้ความคิดเห็นใหม่ๆ
3. ยอมรับความคิดเห็นหรือวิธีการแปลกๆ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2546, หน้า137-139) ได้กำหนดคุณลักษณะความเปิดใจกว้าง ไว้ดังนี้

1. รับฟังวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น
2. ไม่ยึดมั่นในความคิดของตนเองและยอมรับการเปลี่ยนแปลง
3. รับฟังความคิดเห็นที่ตนเองยังไม่เข้าใจพร้อมที่จะทำความเข้าใจ
4. ยอมรับพิจารณาข้อมูลหรือความคิดที่ยังสรุปแน่นอนไม่ได้และพร้อมที่จะหาข้อมูล

สุนันท์ สังข์อ่อง (2523, หน้า 341-343 อ้างอิงใน BSCS, 1970) ได้กำหนดคุณลักษณะความเปิดใจกว้าง ไว้ดังนี้

1. แสดงความเต็มใจที่จะยอมรับฟังการวิพากษ์วิจารณ์จากผู้อื่น
 2. ตระหนักถึงความสำคัญของการแสวงหาข้อมูลเพิ่มเติม
 3. ตระหนักและยอมรับในข้อจำกัดของความรู้ที่คนพบในปัจจุบัน
 4. ตระหนักถึงคุณค่าของวิทยาศาสตร์ อันเป็นผลทำให้มีผลผลิตที่ใช้ในปัจจุบันมากมาย
- คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์

ทบวงมหาวิทยาลัย (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2525, หน้า 216-217) ได้กำหนดคุณลักษณะความเปิดใจกว้าง ไว้ดังนี้

1. พิจารณาและประเมินความคิดเห็นที่ผู้อื่นเสนอมา
2. ประเมินหลักฐานที่ขัดแย้งกับสมมติฐานที่ตนตั้งขึ้น
3. พิจารณาแนวทางต่างๆ ที่เป็นไปได้ เพื่อสำรวจปัญหา
4. พิจารณาทั้งทางด้านที่สนับสนุนและคัดค้านเพื่อประเมินสถานการณ์

ความมีเหตุผล

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความมีเหตุผล ไว้ดังนี้

ศุภลักษณ์ วัฒนวิทวัส (2542, หน้า 24) ได้ให้ความหมายของความมีเหตุผลว่า หมายถึง การแสดงความคิดเห็น การตรวจสอบความถูกต้อง และการยอมรับคำอธิบาย อย่างมีเหตุผล โดยการแสวงหาข้อมูลจากการสังเกตหรือการทดลองที่เชื่อถือได้มาสนับสนุนอย่างเพียงพอ ก่อนที่จะยอมรับหรือให้คำอธิบายใดๆ

พันธ์ ทองชุมนุม (2547, หน้า 4) ได้ให้ความหมายของควมมีเหตุผลว่า หมายถึง ยอมรับในคำตอบหรือคำอธิบายที่ได้รับการศึกษาอย่างเป็นระบบและขั้นตอน มีข้อมูลสนับสนุนอย่างเพียงพอ หากความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่เกิดขึ้น ตรวจสอบความถูกต้องสมเหตุสมผลของแนวคิดต่างๆ กับแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ แสวงหาหลักฐานหรือข้อมูลจากการสังเกตหรือการทดลอง เพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านคำอธิบาย มีหลักฐานเพียงพอก่อนที่จะสรุปเสมอ เห็นคุณค่าในการใช้เหตุผลและยินดีให้มีการพิสูจน์ตามหาเหตุผลและข้อเท็จจริง

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542, หน้า 12-13) ได้ให้ความหมายของควมมีเหตุผลว่า หมายถึง ยอมรับในคำอธิบายเมื่อมีหลักฐานหรือข้อมูลเพียงพออธิบายหรือแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล หากความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่เกิดขึ้น ตรวจสอบความถูกต้องสมเหตุสมผลของ แนวคิดต่างๆ กับแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ แสวงหาหลักฐานและข้อมูลจากการสังเกต หรือการทดลองเพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านคำอธิบาย มีหลักฐานเพียงพอก่อนที่จะสรุปเสมอ เห็นคุณค่าในการใช้เหตุผล ยินดีให้มีการพิสูจน์ตามหาเหตุผล ข้อเท็จจริง

สุโขทัยธรรมมาธิราช (2537, หน้า 26-27) ได้ให้ความหมายของควมมีเหตุผลว่า หมายถึง การยอมรับในคำอธิบาย เมื่อมีหลักฐานหรือข้อมูลมาสนับสนุนอย่างเพียงพออธิบายหรือแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล หากความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่เกิดขึ้น ตรวจสอบความถูกต้องสมเหตุสมผลของแนวคิดต่างๆ กับแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ หาหลักฐานจากการสังเกตและการทดลองเพื่อสนับสนุนคำอธิบาย มีหลักฐานและข้อมูลอย่างเพียงพอ ก่อนที่จะสรุปผลเห็นคุณค่าของการใช้เหตุผลและพร้อมที่จะให้ผู้อื่นตรวจสอบผลงานของตน

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของควมมีเหตุผล หมายถึง การตระหนักรู้ เห็นความสำคัญและยึดมั่นในหลักเหตุผล ปราศจากที่จะใช้ความคิดอย่างมีเหตุผล ยอมรับและต้องการคำอธิบายที่มีเหตุผล ไม่เชื่อเรื่องที่ขาดประจักษ์พยานที่น่าเชื่อถือ มีความสงสัยและต้องการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงในสิ่งต่างๆ

ตัวชี้วัดควมมีเหตุผล

บิลเลห์ และซาคาริแอดส์ (สุวัฒน์ นิยมคำ, 2531, หน้า 258 อ้างอิงใน Billech and Zakhariades, 1975, pp.155-156) ได้กำหนดคุณลักษณะควมมีเหตุผล ไว้ดังนี้

1. เชื่อในคุณค่าของเหตุผล
2. มีแนวโน้มที่จะทดสอบความเชื่อเก่าๆ
3. แสวงหาสาเหตุจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ
4. ยอมรับคำวิพากษ์วิจารณ์ที่มีเหตุผล
5. ทำทนายให้มีการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2546, หน้า 137-139) ได้กำหนดคุณลักษณะความมีเหตุผล ไว้ดังนี้

1. ยอมรับในคำอธิบายเมื่อมีหลักฐานหรือข้อมูลมาสนับสนุนเพียงพอ
2. พยายามอธิบายสิ่งต่างๆ ในแง่เหตุและผลไม่เชื่อโชคลางหรือคำทำนายที่สามารถมาอธิบายตามวิธีทางวิทยาศาสตร์ได้
3. อธิบายหรือแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล
4. ตรวจสอบความถูกต้องหรือความสมเหตุสมผลของแนวความคิดต่างๆ กับแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้
5. รวบรวมข้อมูลเพียงพอก่อนที่จะลงข้อสรุปเรื่องราวต่างๆ

คณะกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ทบวงมหาวิทยาลัย (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2525, หน้า 216-217) ได้กำหนดคุณลักษณะความมีเหตุผล ไว้ดังนี้

1. ตรวจสอบความคิดของตนจากแหล่งที่น่าเชื่อถือ
 2. เสาะหาหลักฐานจากการสังเกตและ/หรือทดลองเพื่อสนับสนุนหรือคัดค้านคำอธิบาย
 3. รวบรวมข้อมูลมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อนที่จะลงข้อสรุป
 4. ยอมรับในคำอธิบายเมื่อมีหลักฐานสนับสนุนหนักแน่นพอ
- พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2545, หน้า 13-14) ได้กำหนดคุณลักษณะความมีเหตุผล ไว้ดังนี้

1. เชื่อในความสำคัญของเหตุผล
 2. ไม่เชื่อโชคลาง คำทำนาย หรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ต่างๆ ที่ไม่สามารถอธิบายตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์
 3. แสวงหาเหตุผลของเหตุการณ์ต่างๆ และหาความสัมพันธ์ของสาเหตุนั้นกับผลที่เกิดขึ้น
 4. ต้องการที่จะรู้ว่าปรากฏการณ์ต่างๆ นั้นเป็นอย่างไร และทำไมจึงเป็นเช่นนั้น
- ความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบ

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบไว้ดังนี้

ศุภลักษณ์ วัฒนวิทวัส (2542, หน้า 24) ได้ให้ความหมายของความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบว่า หมายถึง การจัดระบบการทำงานอย่างเป็นระบบ อีกทั้งมีความละเอียดรอบคอบ ก่อนตัดสินใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง หากมีข้อผิดพลาดก็สามารถที่จะตรวจสอบหาข้อผิดพลาดได้โดยง่าย

พันธุ ทองชุมนุญ (2547, หน้า 4) ได้ให้ความหมายของความละเอียดรอบคอบและมีระเบียบว่า หมายถึง การวางแผนเป็นขั้นตอนต่างๆ ของการปฏิบัติงาน การบันทึกข้อมูล นำวิธีที่หลากหลายและเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับมาจัดกระทำต่อทุกขั้นตอน มีการวิเคราะห์ไตร่ตรอง จุดดีจุดด้อยของวิธีที่จะนำมาใช้ และมีความละเอียดรอบคอบก่อนการตัดสินใจทุกครั้ง

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542, หน้า 12-13) ได้ให้ความหมายของความละเอียดรอบคอบและมีระเบียบว่า หมายถึง การวางแผนการทำงานและจัดระบบการทำงาน นำวิธีการหลายๆ วิธีมาตรวจสอบผลการทดลอง ไตร่ตรอง พินิจพิเคราะห์ ละเอียดถี่ถ้วนในการทำงาน ทำงานอย่างมีระเบียบเรียบร้อย มีความละเอียดรอบคอบก่อนการตัดสินใจ

สุโขทัยธรรมาราช (2537, หน้า 26-27) ได้ให้ความหมายของความละเอียดรอบคอบและมีระเบียบว่า หมายถึง ทำงานอย่างเป็นระบบ มีระเบียบรอบคอบ จัดระบบในการทำงาน ใช้วิธีการศึกษาหลายวิธีในการตรวจสอบผลการทดลอง ไตร่ตรอง พินิจพิเคราะห์อย่างละเอียดถี่ถ้วน ในการทำงานก่อนตัดสินใจ

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบ หมายถึง ความสามารถในการใช้วิจารณญาณก่อนที่จะตัดสินใจใดๆ ไม่ยอมรับ สิ่งหนึ่งสิ่งใดว่าเป็นจริงทันที ถ้ายังไม่มีหลักฐานที่เชื่อถือได้ หลีกเลี่ยงการตัดสินใจและการสรุปที่รวดเร็วเกินไป พิจารณาจากหลักฐานและข้อมูลรอบด้าน สังเกตอย่างละเอียดรอบคอบ และใช้วิธีการหลากหลายในการทดลองพิสูจน์

ตัวชี้วัดความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบ

บิลเลห์ และซาคาริแอดส์ (สุวัฒน์ นิยมคำ, 2531, หน้า 258 อ้างอิงใน Billech and Zakhariades, 1975, pp.155-156) ได้กำหนดคุณลักษณะความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบไว้ดังนี้

1. ไม่เต็มใจที่จะสรุปก่อนที่จะมีหลักฐานเพียงพอ
2. ไม่เต็มใจที่จะยอมรับความจริงต่างๆ เมื่อไม่มีข้อสรุปสนับสนุนมาพิสูจน์ให้เห็นจริง
3. หลีกเลี่ยงการสรุปและการตัดสินใจอย่างรวดเร็ว

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2546, หน้า 137-139) ได้กำหนดคุณลักษณะความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบ ไว้ดังนี้

1. เห็นคุณค่าของความมีระเบียบและรอบคอบ
2. นำวิธีการหลายๆ วิธี มาตรวจสอบผลหรือวิธีการทดลอง
3. มีการใคร่ครวญ ไตร่ตรอง พินิจพิเคราะห์

4. มีความละเอียดถี่ถ้วนในการทำงาน
5. มีการวางแผนการทำงานและจัดระบบการทำงาน
6. ตรวจสอบความเรียบร้อยหรือคุณภาพของเครื่องมือก่อนการทดลอง
7. ทำงานอย่างมีระเบียบและเรียบร้อย

คอสโลว์ และเนย์ (ณัฐพงษ์ เจริญทิพย์, 2524, หน้า 31-34 อ้างอิงใน Koslow and nay, n.d.) ได้กำหนดคุณลักษณะความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบ ไว้ดังนี้

1. มองหาความไม่สอดคล้องกันระหว่างข้ออธิบายปลีกย่อยกับบทสรุป
2. สืบค้นหาข้อเท็จจริงจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้หลายๆ แหล่ง
3. ใช้หลักฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือจากการปฏิบัติการมาสนับสนุนหรือคัดค้านข้ออธิบายต่างๆ
4. ใช้คำถามที่มีลักษณะเสาะหาข้อเท็จจริงและเหตุผล ประเภทที่เริ่มต้นด้วยอะไร ที่ไหน ทำไม เมื่อไร และอย่างไร
5. มีความพอใจที่จะขอทบทวนความถูกต้องของข้ออธิบายที่หย่อนด้วย หลักฐานหรือข้อสนับสนุน

คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ทบวงมหาวิทยาลัย (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2525, หน้า 216-217) ได้กำหนดคุณลักษณะความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบ ไว้ดังนี้

1. นำวิธีการหลายอย่างมาใช้ตรวจสอบปัญหา
2. ดำเนินการแก้ปัญหาจนถึงที่สุดหรือจนกว่าจะได้รับคำตอบ
3. ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือการทดลองซ้ำแม้ข้อมูลดังกล่าวจะสอดคล้องหรือตรงกับการคาดคะเน

ความซื่อสัตย์

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความซื่อสัตย์ ไว้ดังนี้

สมหวัง พิธิยานุวัฒน์ และจันทร์เพ็ญ เอื้อพานิช (2524, หน้า 33) กล่าวว่า นักวิทยาศาสตร์ต้องเป็นผู้มีความซื่อสัตย์ บันทึกผลหรือข้อมูลตามความเป็นจริงด้วยความละเอียดถูกต้องผู้อื่นสามารถตรวจสอบในภายหลังได้ เห็นคุณค่าของการเสนอข้อมูลด้วยความเป็นจริง

นภาพร ลินสวัสดิ์ (2535, หน้า 112) ให้คุณลักษณะของเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ด้านความซื่อสัตย์ว่า ความซื่อสัตย์มีการแสดงออกโดยไม่บันทึกผลหรือข้อมูลตามความเป็นจริง ไม่เอาความคิดเห็นของตนไปเกี่ยวข้อง ไม่ลำเอียงในการตีความหมายผลที่ได้จากการทดลอง และไม่อ้างผลงานของผู้อื่นเป็นของตน

ศิริภรณ์ เม่นมัน (2543, หน้า 8) ให้ความหมายของความซื่อสัตย์ว่า หมายถึง คุณลักษณะนิสัยที่แสดงถึงการรายงานสิ่งที่สังเกตได้ตามความเป็นจริง ไม่เปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขข้อมูล

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของความซื่อสัตย์ หมายถึง การนำเสนอข้อมูลตามความเป็นจริงด้วยการสังเกตและบันทึกผลต่างๆ โดยปราศจากความลำเอียงหรืออคติ กล่าวหาญในการนำเสนอข้อมูลตามความจริง มีความมั่นคงหนักแน่นต่อผลที่ได้จากการพิสูจน์ ไม่แอบอ้างผลงานของผู้อื่น

ตัวชี้วัดความซื่อสัตย์

บิลเลห์ และซาคาริแอดส์ (สุวัฒน์ นิยมคำ, 2531, หน้า 258 อ้างอิงใน Billech and Zakhariades, 1975, pp.155-156) ได้กำหนดคุณลักษณะความซื่อสัตย์ไว้ดังนี้

1. สังเกตและบันทึกผลต่างๆ โดยปราศจากความลำเอียงหรืออคติ
2. ไม่นำสภาพสังคมหรือเศรษฐกิจและการเมืองมาเกี่ยวข้องกับการตีความหมาย
3. ไม่ยอมให้ความชอบหรือความไม่ชอบส่วนตัวมีอิทธิพลเหนือการตัดสินใจใดๆ ในทางวิทยาศาสตร์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2546, หน้า 137-139) ได้กำหนดคุณลักษณะความซื่อสัตย์ไว้ดังนี้

1. เสนอความจริงถึงแม้ผลที่แตกต่างจากผู้อื่น
2. เห็นคุณค่าของการเสนอข้อมูลตามความจริง
3. บันทึกผลข้อมูลตามความจริงและไม่ใช้ความคิดเห็นของตนเองไปเกี่ยวข้อง
4. ไม่แอบอ้างผลงานของผู้อื่นว่าเป็นผลงานของตนเอง

คอสโลว์ และเนย์ (ณัฐพงษ์ เจริญทิพย์, 2524, หน้า 31-34 อ้างอิงใน Koslow and nay, n.d.) ได้กำหนดคุณลักษณะความซื่อสัตย์ไว้ดังนี้

1. รายงานการสังเกตหรือผลการทดลองอย่างตรงไปตรงมา
2. แสดงกิตติกรรมประกาศในผลงานของบุคคลอื่นที่นำมาใช้หรืออ้างอิง
3. พิจารณาข้อมูลที่มีอยู่หรือที่ได้มาในหลายแง่มุมก่อนที่จะสรุปความหรือยุติ

คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ ทบวงมหาวิทยาลัย (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2525, หน้า 216-217) ได้กำหนดคุณลักษณะความซื่อสัตย์ไว้ดังนี้

1. รายงานสิ่งที่สังเกตได้แม้ว่าสิ่งที่รายงานนั้นจะขัดต่อสมมติฐานของตน
2. เปิดเผยเจ้าของผลงานที่ตนนำมาใช้ต่อผู้อื่น
3. ไม่เปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขข้อมูลที่ตนค้นพบ แม้ว่าข้อมูลนั้นจะไม่สนับสนุนสมมติฐานของตน

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2545, หน้า 13-14) ได้กำหนดคุณลักษณะความซื่อสัตย์ ไว้ดังนี้

1. สังเกตและบันทึกผลต่างๆ โดยปราศจากความลำเอียงและอคติ
2. ไม่นำสภาพสังคม เศรษฐกิจ และการเมืองมาเกี่ยวข้องกับการตีความหมายทางวิทยาศาสตร์

3. ไม่ยอมให้ความชอบ หรือไม่ชอบส่วนตัวว่ามีอิทธิพลเหนือการตัดสินใจใดๆ
4. มีความมั่นคง หนักแน่น ต่อผลที่ได้จากการพิสูจน์
5. เป็นผู้ซื่อตรง อดทน ยุติธรรม และละเอียดรอบคอบ

ความรับผิดชอบ

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของความรับผิดชอบ ไว้ดังนี้

กรมวิชาการ (2528, หน้า 121) ได้ให้ความหมายของความรับผิดชอบว่า หมายถึง ความรู้สึกสำนึกในจิตใจว่าเมื่อพูดอะไรแล้วต้องยอมรับผลที่เกิดขึ้นทั้งผิดและชอบ มิใช่รับแต่ชอบอย่างเดียวแล้วโยนความผิดให้ผู้อื่น และอีกความหมายหนึ่งหมายถึง เมื่อรู้หน้าที่ที่ตนจะต้องปฏิบัติแล้ว ก็มุ่งมั่นตั้งใจที่จะทำหน้าที่ด้วยความผูกพันด้วยความพากเพียร ด้วยความอดทน ด้วยความไม่ลำเอียง รอบคอบ เพื่อให้ประสิทธิผลสำเร็จตามความมุ่งหมาย ทั้งต้องพยายามที่จะปรับปรุงการปฏิบัติหน้าที่ให้ดียิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช (2538, หน้า 5) ได้ให้ความหมายของความรับผิดชอบว่า หมายถึง การยอมรับผลการกระทำของตนเองและการสามารถควบคุมตนเองได้ของบุคคลใดบุคคลหนึ่ง ผู้ที่มีระดับความรับผิดชอบอยู่ในระดับสูงนั้น หมายถึง ผู้ที่มีคุณสมบัติสองประการนี้ อยู่ในระดับสูง ส่วนผู้ที่มีความรับผิดชอบอยู่ในระดับต่ำจะเป็นผู้ที่มีคุณสมบัติสองประการนี้ต่ำ

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์ (2539, หน้า 90) กล่าวว่าความรับผิดชอบ มักจะได้รับการนำไปใช้ตีความหมายเสมอ คือ มักจะใช้ในลักษณะของการจับผิดการกระทำของผู้อื่นเพื่อมาลงโทษ เช่นมักพูดว่า ใครรับผิดชอบเรื่องนี้ ซึ่งหมายความว่า ความรับผิดชอบ คือ ความสามารถในการตอบโต้เรื่องทุกเรื่องที่ทำหายทุกโอกาสที่ผ่านมาในชีวิตเรา

วิภาพร มาพบสุข (2540, หน้า 103) ได้ให้ความหมายของความรับผิดชอบว่า หมายถึง การกระทำหรือการปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ ที่ได้รับมอบหมายด้วยความเต็มใจ และมีการวางแผนอย่างดี ไม่ต้องให้ใครว่ากล่าวตักเตือน และพร้อมที่รับทั้งผลดีและไม่ดีในกิจกรรมที่ตนกระทำลงไป

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของ ความรับผิดชอบ หมายถึง ความมุ่งมั่นและตั้งใจที่จะปฏิบัติงานในหน้าที่ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความพากเพียร มีความละเอียดรอบคอบ เอาใจใส่ มีระเบียบวินัยในตนเอง ยอมรับผลการกระทำของตนด้วยความเต็มใจทั้งผลดีและผลเสีย

ตัวชี้วัดความรับผิดชอบ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2546, หน้า 137-139) ได้กำหนดคุณลักษณะความรับผิดชอบ ไว้ดังนี้

1. ยอมรับผลการกระทำของตนเองไม่ว่าจะเป็นผลดีหรือผลเสีย
2. ทำงานที่ได้รับมอบหมายให้สมบูรณ์ตามกำหนดและตรงต่อเวลา
3. เว้นการกระทำอันเป็นผลเสียต่อส่วนรวม
4. ทำงานเต็มความสามารถ
5. ไม่ทอดทิ้งในการทำงานเมื่อมีอุปสรรคหรือล้มเหลว
6. มีความอดทนแม้การดำเนินการแก้ปัญหาจะยุ่งยากและใช้เวลา

สุนันท์ สังข์อ่อง (2523, หน้า 341-343 อ้างอิงใน BSCS, 1970) ได้กำหนดคุณลักษณะความรับผิดชอบ ไว้ดังนี้

1. ช่วยเหลือกลุ่มในการทำกิจกรรมเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้
 2. แสดงความเต็มใจที่จะกระทำกิจกรรมนอกเหนือจากที่กำหนดให้เรียนในชั้นเรียน
 3. ต้องการข้อมูลยืนยันหรือสนับสนุนก่อนจะลงข้อสรุปใดๆ
 4. เสนอแนวทางในการแก้ปัญหา
 5. แสดงความพอใจที่จะแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้อื่น
 6. แสดงความเต็มใจที่จะยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น
 7. ใช้เหตุผลประกอบการวิพากษ์วิจารณ์
 8. ริเริ่มทำกิจกรรมเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อกลุ่ม
- การมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ ไว้ดังนี้

พะยอม ตันมณี (2524, หน้า10) ได้ให้ความหมายของการมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ว่า หมายถึง ความสามารถในการตอบคำถามในลักษณะต่างๆ ได้แก่ การตระหนักในข้อตกลงเบื้องต้น การตีความข้อมูล การอนุมาน การสรุปความ การประเมินข้อโต้แย้ง

สุดา ธาราพิทักษ์ (2534, หน้า 52) ได้ให้ความหมายของการมีความคิดเชิงวิพากษ์ วิจารณ์ว่า หมายถึง การพิจารณาทดสอบความคิดว่าบกพร่องผิดถูกอย่างไร เพื่อเลือกขัดเกลา ความคิดให้ดีที่สุด เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สุโขทัยธรรมมาธิราช (2537, หน้า 26-27) ได้ให้ความหมายของการมีความคิดเชิงวิพากษ์ วิจารณ์ว่า หมายถึง ความพยายามที่จะหาข้อมูลสนับสนุนหลักฐานหรือข้ออ้างอิงต่างๆ ก่อนตัดสินใจหรือลงข้อสรุปใดๆ หรือไม่ยอมรับความคิดเห็นด้านใดๆ โดยปราศจากข้อมูลมาสนับสนุนอย่างเพียงพอ รู้จักแย้งและหาหลักฐานมาสนับสนุนความคิดเห็นของตน

อรพรรณ ลือบุญชัย (2538, หน้า 28) ได้ให้ความหมายของการมีความคิดเชิง วิพากษ์วิจารณ์ว่าหมายถึง การคิดใคร่ครวญ ไตร่ตรองซึ่งเป็นการคิดที่เริ่มต้นจากสถานการณ์ มีความยุ่งยากและสิ้นสุดลงด้วยสถานการณ์ มีความชัดเจนมีเป้าหมายในการวิเคราะห์ความรู้ เพื่อ ตัดสินใจเชื่อ หรือปฏิบัติ

บีเยอร์ (Beyer, 1985, หน้า 298) ได้ให้ความหมายของการมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ ว่าหมายถึง ความสามารถที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว เพราะการอาศัยความระมัดระวังการเข้าใจ ความหมายอย่างยี่ดมั่น และการวิเคราะห์ข้อมูลหรือความเชื่ออย่างเป็นปรนัย (objective) เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจที่ตรงและคุณค่าของข้อมูล ความรู้หรือความเชื่อมั่นนั้นๆ

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของการมี ความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ หมายถึง ความตั้งใจที่จะพิจารณาข้อมูลโดยไม่เห็นคล้อยตามในทันที กล้าคิดแตกต่างหรือตั้งข้อสงสัยในความถูกต้องของข้อมูล พยายามหาข้อสนับสนุน หลักฐานหรือ ข้ออ้างอิง เพื่อประเมินและตัดสินใจว่าสิ่งใดควรเชื่อถือ สามารถแยกแยะข้อคิดเห็นออกจาก ข้อเท็จจริง และตัดข้อมูลที่ไมเกี่ยวข้องหรือไม่สมเหตุผลผลออกไป ซึ่งจะนำมาสู่การแสวงหา คำตอบ ที่สมเหตุผลผลมากกว่าข้ออ้างเดิม

ตัวชี้วัดการมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์

ฟลาสเซอร์ และเวส (Frasser and West, 1961, p.222) ได้กำหนดคุณลักษณะการมี ความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ ไว้ดังนี้

1. ตั้งตัวที่จะมีความต้องการประเมินข้อมูล
2. เต็มใจในการทดสอบความคิดเห็น
3. พิจารณาที่จะพิจารณาข้อคิดเห็นทั้งหมด

ฟิลี (Fili, 1976, p.5) ได้กำหนดคุณลักษณะการมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ ไว้ดังนี้

1. แยกความแตกต่างระหว่างข้อเท็จจริงและความรู้สึกหรือความคิดเห็นที่แฝงไว้ด้วย
ค่านิยม

2. พิจารณาความเชื่อถือได้ของแหล่งข้อมูล

3. พิจารณาความถูกต้องตามข้อเท็จจริงของข้อความนั้น

4. แยกความแตกต่างระหว่างข้อมูล ข้อคิดเห็น หรือเหตุผลที่เกี่ยวข้อง และไม่เกี่ยวข้อง
กับเหตุการณ์

5. ค้นหาสิ่งที่เป็นอคติ และข้อลำเอียง

6. ระบุถึงข้ออ้างหรือข้อสมมติฐานที่ไม่ได้รับการกล่าวไว้ก่อน

7. ระบุถึงข้อคิดเห็น หรือข้อโต้แย้งที่ยังคลุมเครือ

8. ตระหนักในสิ่งที่ไม่คงที่ตามหลักการของเหตุผลหรือการใช้เหตุผลผิดๆ

9. แยกแยะความแตกต่างระหว่างข้อคิดเห็นที่สามารถพิสูจน์ความถูกต้องได้ และ
ที่พิสูจน์ไม่ได้

10. พิจารณาความมั่นคงหนักแน่นในข้อโต้แย้งและข้อคิดเห็น

เชาวิ ลาวัลย์ (2536, หน้า 66-67) ได้กำหนดคุณลักษณะการมีความคิดเชิง
วิพากษ์วิจารณ์ ไว้ดังนี้

1. มองหาความแตกต่างระหว่างความเชื่อกับความจริงและความคิดเห็น

2. ค้นหาแหล่งที่มาของข้อมูล

3. ค้นหาความจริงได้

4. ไม่ถือเอาบุคคลใดบุคคลหนึ่งมาเป็นแบบฉบับในการตัดสินใจว่าใครดีใครเลว

5. เข้ากับสิ่งที่กลับกัน หรือผกผันกัน

6. เห็นความสำคัญของการตั้งสมมติฐาน

7. ไม่สรุปเกินความจริง

เครก (Kreck, 1966, pp.108-111) ได้กำหนดคุณลักษณะการมีความคิดเชิง
วิพากษ์วิจารณ์ ไว้ดังนี้

1. ใช้คำที่มีลักษณะอธิบายเหตุการณ์

2. ค้นหาคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น

3. ตระหนักว่าปรากฏการณ์บางอย่าง นักวิทยาศาสตร์อธิบายยังไม่ได้เหมาะสม

4. ไม่ยกเป็นเรื่องของธรรมชาติในการอธิบาย

5. ไม่เชื่อเรื่องวิญญาณ
6. ตระหนักว่าคำอธิบายของนักวิชาการใดๆ อาจถูกต้องในวันนี้ และอาจปรับปรุงใหม่ได้ถ้ามีหลักฐานใหม่ที่ดีกว่า

7. ยอมรับความคิดเมื่อมีหลักฐานใหม่ที่ดีกว่า
8. ไม่ใช้การเดาในการหาข้อเท็จจริง
9. ทดลองซ้ำเพื่อตรวจสอบข้อเท็จจริง
10. หาหลักฐานเพิ่มเติมเมื่อหลักฐานไม่เพียงพอ
11. ละทิ้งความคิดที่ผิดๆ
12. เต็มใจที่จะรับการตรวจสอบ
13. เล่าและแสวงหาแหล่งและความรู้ที่ถูกต้อง
14. พิจารณาคำกล่าวของคนอื่น
15. ไม่ยอมอ้างความเชื่อเมื่อยังไม่มีหลักฐานพิสูจน์
16. สอบถามเกี่ยวกับความเชื่อหรือความกลัวที่ไม่มีเหตุผล
17. ตั้งสมมติฐานในการแก้ปัญหา
18. เสนอวิธีการตรวจสอบสมมติฐาน
19. ตระหนักในความสำคัญของความรู้ที่เชื่อถือได้
20. เชื่อมมั่นในวิธีการทางวิทยาศาสตร์

การมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ไว้ดังนี้

สายพิน ศรีสุวรรณรัตน์ (2540, หน้า 4) ให้ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ว่า หมายถึงคุณลักษณะอย่างหนึ่งของบุคคลที่แสดงออกในลักษณะการใช้วิธีใหม่ๆ ในการแก้ปัญหา การแสดงออกริเริ่มที่ไม่ซ้ำแบบใคร ชอบดัดแปลง ชอบแสวงหาความรู้ใหม่ๆ สามารถค้นคว้าและแสวงหาคำตอบได้หลายวิธี

ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์ (2542, หน้า 157) กล่าวว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เป็นคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของบุคคล อันเป็นผลมาจากการบ่มเพาะความคิดสร้างสรรค์ โดยทั่วไปแล้วใช้เป็นเชื้อและปรุงแต่งด้วยสมรรถวิสัยทางวิทยาศาสตร์กับเทคโนโลยี จนเป็นผลให้บุคคลสามารถคิดสร้างผลงาน ที่มีคุณประโยชน์ต่อสังคมและมวลมนุษยชาติได้ในที่สุด

ยุวธิดา คำปวน (2545, หน้า 4) ให้ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถของนักเรียนในการคิดเกี่ยวกับเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างหลากหลาย ทิศทางแปลกใหม่ และมีคุณค่า

พิลทซ์ และซันด์ (Piltz and Sund, 1974, p.4) ได้กล่าวถึง ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า หมายถึง แนวทางการคิดและการกระทำของบุคคลในการเรียนรู้ปัญหา โดยใช้หลักการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลผลิตของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ นอกจากจะเน้นถึงความคิดริเริ่มในการพัฒนาการเพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตใหม่แล้วยังเน้นถึงคุณค่าอีกด้วย ผลผลิตจึงเป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่าใครมีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ หมายถึง ความรู้สึกพึงพอใจ นิยมชมชอบและเห็นคุณค่าในความคิดริเริ่มแปลกใหม่ หลากหลาย มีความต้องการคิดอย่างอิสระและใช้จินตนาการ ประารถนาที่จะคิดเข้าใจได้อย่างลึกซึ้งด้วยตนเอง กล้าเสี่ยงไม่กลัวความผิดพลาด

ตัวชี้วัดการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

ลูโก และเฮอร์เชย์ (Lugo and Herrshey, 1989 อ้างอิงใน ผุสดี ภูอินทร์, 2526, หน้า 71) ได้กำหนดคุณลักษณะการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ไว้ดังนี้

1. ชอบสิ่งแปลกใหม่
2. มีความมั่นใจในตนเอง
3. มีความเปิดกว้างที่จะเปิดรับสถานการณ์ใหม่
4. มีความอดทน
5. มีอารมณ์ขัน
6. ไม่ตึงเครียด

ไรซ์ (Rice, 1970, p.4) ได้กำหนดคุณลักษณะการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ไว้ดังนี้

1. เป็นผู้มีความไวพริบ
2. มีความสามารถในการประยุกต์ มีการตอบสนองที่แสดงออกถึงความคิดริเริ่ม
3. มีอิสระในการคิดและการแสดงออก
4. สนใจที่จะรับประสบการณ์ต่างๆ และสังเคราะห์สิ่งที่พบเห็น

อารี รังสินันท์ (2526, หน้า 63) ได้กำหนดคุณลักษณะการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ไว้ดังนี้

1. อยากรู้อยากเห็นมีความกระหายใคร่รู้อยู่เป็นนิจ
2. ชอบแสวงหา ชอบสำรวจ ศึกษาค้นคว้าและทดลอง
3. ชอบซักถามและถามด้วยคำถามแปลกๆ

4. ช่างสงสัย มองสิ่งต่างๆ ด้วยความสนใจอยากรู้อยากเห็นอยู่เสมอ
5. ช่างสังเกต มองเห็นลักษณะที่ผิดปกติผิดปกติหรือช่องว่างที่หายไปได้อย่างง่ายและรวดเร็ว

6. ชอบแสดงออกมากกว่าเก็บกดถ้าสงสัยสิ่งใดจะถามหรือพยายามหาคำตอบ โดยไม่รังรอ

7. มีอารมณ์ขันอยู่เสมอ มองสิ่งต่างๆ ในแง่มุมที่แปลก
8. สนุกสนานเมื่อใช้ความคิด
9. มีสมาธิในสิ่งที่ตนสนใจ
10. สนใจสิ่งต่างๆ อย่างกว้างขวาง
11. มีความเป็นตัวของตัวเอง

กระทรวงศึกษาธิการ (2534, หน้า 15) ได้กำหนดคุณลักษณะการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ไว้ดังนี้

1. เป็นตัวของตัวเอง มีความอิสระ ไม่ชอบตามใคร ไม่คล้อยตามความคิดเห็นของคนอื่นอย่างง่ายดาย กล้าคิด กล้าแสดงออก ชอบแบแสดงความเห็น ชอบคลุกในสังคม ถือตัวเองเป็นศูนย์กลาง
2. รักที่จะก้าวหน้า เต็มใจทำงานหนัก อุทิศเวลาให้งาน ความมานะบากบั่นที่จะทำงานที่ซับซ้อนให้สำเร็จจนได้ เปิดรับประสบการณ์อย่างไม่หลีกเลี่ยง มีประสบการณ์อย่างกว้างขวาง ความเต็มใจเสี่ยงอยากรู้อยากเห็น ตื่นตัวที่จะรับรู้ตลอดเวลา กระตือรือร้น ขยันหมั่นเพียร มีแรงจูงใจสูง มีอุดมโนทัศน์สูง
3. ไวต่อปัญหา รับรู้เร็วและง่าย มองการณ์ไกล มีความสามารถในการคิดหลายแง่หลายมุม มีความสามารถในการแก้ปัญหา ใช้ความคิดอย่างคล่องแคล่ว มีความยืดหยุ่นพร้อมที่จะเปลี่ยนวิธีเก่ามาสู่แนวใหม่ หรือวิธีการใหม่ ช่างสงสัย มีนิสัยที่ชอบคิดหาคำตอบ
4. มีความสามารถในการใช้สมาธิ มีความสามารถในการพินิจพิเคราะห์ อย่างถี่ถ้วน
5. มีความคิดริเริ่ม ชอบคิด ชอบทำสิ่งที่ซับซ้อนและแปลกใหม่ ชอบความยุ่งยากซับซ้อน และสามารถหาคำถามที่ต้องการจะรู้
6. ยอมรับในสิ่งที่ไม่แน่นอนและสิ่งที่เป็นข้อขัดแย้ง อดทนต่อสิ่งที่ยังไม่แน่ชัด ไม่ขาดกำลังใจต่อสิ่งที่ยังไม่ทราบ สิ่งทีลึกลับและน่าสงสัย กลับรู้สึกพึงพอใจ และตื่นเต้นที่จะเผชิญกับสิ่งเหล่านั้น

7. มีความอดทนต่อความไม่เป็นระเบียบหรือกฎเกณฑ์ไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอและไม่ชอบถูกบังคับ

8. มีอารมณ์ขัน ชอบเดินเล่นไปเรื่อย ๆ มีจินตนาการ
การยอมรับในข้อจำกัด

มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการยอมรับในข้อจำกัด ไว้ดังนี้

สุโขทัยธรรมาธิราช (2537, หน้า 26-27) ได้ให้ความหมายของการยอมรับในข้อจำกัดว่า หมายถึง การยอมรับในข้อจำกัดของการแสวงหาความรู้ความจริงที่พบวันนี้ว่า อาจเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต และไม่ยอมรับข้อสรุปใดๆ อย่างไม่มีเหตุผล

บรรทม เครือวัลย์ (2530, หน้า 21-22) ได้ให้ความหมายของการยอมรับในข้อจำกัดว่า หมายถึง การยอมรับข้อจำกัดต่างๆ ในการ แสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

แมคเคน และซีเกิล (Carrin McCain and Frwin M. Segal, 1969, p.168 อ้างอิงใน สุวัฒน์ นิยมคำ, 2531, หน้า 58) ได้ให้ความหมายของการยอมรับในข้อจำกัดว่า หมายถึงขอบเขตของวิทยาศาสตร์ทำให้ ไม่อาจตอบคำถามบางคำถามได้ เพราะการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์จะใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งต้องมีการทดสอบ พิสูจน์ให้เห็นจริงได้ เทคโนโลยีและเครื่องมือที่ยังไม่สมบูรณ์ในปัจจุบัน ทำให้วิทยาศาสตร์ มีขอบเขต ไม่อาจทดสอบ วิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้สมบูรณ์ทั้งหมด อีกทั้งความรู้วิทยาศาสตร์จะต้องผ่านเข้ามาทางประสาทสัมผัสเท่านั้น นักวิทยาศาสตร์จะสังเกตธรรมชาติและพิสูจน์ ทดสอบ แล้วจึงอธิบาย ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ต่างๆ อย่างมีเหตุผล สิ่งที่ไม่อาจสัมผัสได้ หรือพิสูจน์ให้เห็นจริงได้ จึงอยู่นอกเหนือขอบเขตของวิทยาศาสตร์นั่นเอง

จากแนวคิดของนักการศึกษาหลายท่าน ที่กล่าวมาอาจสรุปความหมายของ การยอมรับในข้อจำกัด หมายถึง การยอมรับข้อจำกัดต่างๆ ในการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้แก่ ข้อจำกัดในเรื่องวิธีการศึกษาแบบอุปนัย ข้อจำกัดเกี่ยวกับการวัด ข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่อง ค่านิยมต่างๆ ข้อจำกัดเกี่ยวกับสิ่งศึกษา

ตัวชี้วัดการยอมรับในข้อจำกัด

บรรทม เครือวัลย์ (2530, หน้า 21-22) ได้กำหนดคุณลักษณะการยอมรับในข้อจำกัด ไว้ดังนี้

1. ข้อจำกัดในเรื่องวิธีการศึกษาแบบอุปนัย ซึ่งอาศัยการสรุปจากข้อมูลที่มีอยู่ ถ้าข้อมูลที่มีมากพอและถูกต้อง การสรุปก็ถูกต้องและเชื่อถือได้
2. ข้อจำกัดเกี่ยวกับการวัด โดยยอมรับว่าในการวัดในทางวิทยาศาสตร์ จะต้องมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ

3. ข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่องค่านิยมต่างๆ เช่น ด้านความสวยงาม ความดี ความยุติธรรม ซึ่งทางวิทยาศาสตร์ไม่สามารถศึกษาได้

4. ข้อจำกัดเกี่ยวกับสิ่งศึกษา ศึกษาเฉพาะในสิ่งที่สมมุติชื่อขึ้นมาโดยอาศัยการกำหนดสมบัติของสิ่งเหล่านั้น จึงไม่ใช่สิ่งที่เป็นอย่างสมบูรณ์

สุวัฒน์ นิยมคำ (2531, หน้า 136) ได้กำหนดคุณลักษณะการยอมรับในข้อจำกัด ไว้ดังนี้

1. ความรู้วิทยาศาสตร์ จำกัดตัวเองอยู่ที่ปรัชญาวิทยาศาสตร์
2. ความรู้วิทยาศาสตร์ จำกัดตัวเองอยู่ที่วิธีการศึกษาค้นคว้า
3. ความรู้วิทยาศาสตร์ จำกัดตัวเองอยู่ที่เครื่องมือและเทคโนโลยีที่มีอยู่
4. ความไม่สมบูรณ์ของความรู้ จำกัดตัวเองอยู่ที่วิธีการสรุปรวมเป็นความรู้
5. การศึกษาเรื่องจริยศาสตร์ สุนทรียศาสตร์ เทววิทยาและศาสนา อยู่นอกเหนือขอบเขตของวิทยาศาสตร์

ซึ่งจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยสังเคราะห์ตัวชี้วัดคุณลักษณะจิตวิทยาศาสตร์ ในแต่ละองค์ประกอบของจิตวิทยาศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 ความสนใจใฝ่รู้ ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 7 ตัว

1. มีความต้องการที่จะเข้าใจในสถานการณ์ใหม่ๆ ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความรู้ที่มีอยู่
2. มีความต้องการที่จะถามว่า“ทำไม” และ “อย่างไร” ต่อปรากฏการณ์ต่างๆ
3. แสดงออกถึงความพอใจที่จะสืบเสาะหาความรู้ หรือความคิดใหม่ๆ
4. แสดงถึงความพอใจที่จะได้ข้อมูลหรือความคิดใหม่ๆ เพิ่มเติม
5. แสดงออกถึงความสนใจในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ที่กำลังเป็นปัญหาลำคัญอยู่ในชีวิตประจำวัน
6. มีความใส่ใจและพอใจใคร่จะสืบเสาะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์และปัญหาใหม่ๆ อยู่เสมอ

7. แสดงออกถึงความพอใจที่จะหาคำตอบในสิ่งที่ตนอยากรู้

องค์ประกอบที่ 2 ความอยากรู้อยากเห็น ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 5 ตัว

1. มีความกระตือรือร้นต่อกิจกรรมและเรื่องใหม่ๆ
2. ชอบสืบเสาะ ทดลอง พิสูจน์ แนวคิดแปลกใหม่
3. ชอบสนทนาซักถาม ฟัง อ่าน เพื่อให้ได้รับความรู้เพิ่มขึ้น
4. สนใจเรื่องเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ที่สำคัญกับชีวิตประจำวัน

5. มีความพยายามที่จะแสวงหาความรู้ในสถานการณ์ใหม่ๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยความรู้ที่มีอยู่เดิม

องค์ประกอบที่ 3 ความเพียรพยายาม มุ่งมั่น และอดทน ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 10 ตัว

1. มีความอดทนแม้การดำเนินการแก้ปัญหาจะยุ่งยากและใช้เวลา
2. ตระหนักถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ อันเป็นผลจากความเพียรพยายามของมนุษย์
3. แสดงออกถึงความเข้าใจว่าการค้นคว้าวิจัยและทดลองทางวิทยาศาสตร์ต้องใช้ความอดทน
4. แสดงความเต็มใจที่จะกระทำกิจกรรมนอกเหนือจากที่กำหนดให้เรียนในชั้นเรียน
5. มีความเต็มใจที่ค้นหาคำตอบโดยการพิสูจน์ด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์แม้มีปัญหาและอุปสรรคต่างๆ

6. มีความตั้งใจแน่วแน่ต่อการแสวงหาความรู้
7. ยอมรับผลการกระทำของตนเองไม่ว่าจะเป็นผลดีหรือผลเสีย
8. ทำงานที่ได้รับมอบหมายให้สมบูรณ์ตามกำหนดและตรงต่อเวลา
9. แสดงออกถึงความเชื่อว่าวิทยาศาสตร์นั้นมีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมที่เราอยู่
10. มีความตั้งใจแน่วแน่ต่อการแสวงหาความรู้

องค์ประกอบที่ 4 ความเปิดใจกว้าง ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 8 ตัว

1. พิจารณาแนวทางต่างๆ ที่เป็นไปได้เพื่อสำรวจปัญหา
2. ยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่นด้วยใจเป็นธรรม
3. ยอมรับความคิดเห็นหรือวิธีการที่แปลกใหม่
4. เต็มใจที่จะเปลี่ยนแนวคิดหรือแนวปฏิบัติเมื่อได้ข้อมูลหรือหลักฐานใหม่ที่เชื่อถือดีกว่าและถูกต้องกว่า

5. ไม่ยึดมั่นในความคิดของตน ยอมรับการเปลี่ยนแปลง
6. มีความปรารถนาที่จะรับรู้ความรู้ความคิดเห็นใหม่ๆ
7. รับฟังวิพากษ์วิจารณ์ ข้อโต้แย้ง หรือข้อคิดเห็นที่มีเหตุผลของผู้อื่น
8. ยอมพิจารณาข้อมูลหรือความคิดที่ยังสรุปแน่นอนไม่ได้และพร้อมที่จะหาข้อมูล

องค์ประกอบที่ 5 ความมีเหตุผล ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 12 ตัว

1. เชื่อในคุณค่าของเหตุผล

2. แสวงหาสาเหตุจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ
3. ยอมรับคำวิพากษ์วิจารณ์ที่มีเหตุผล
4. ทำทนายให้มีการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริง
5. อธิบายหรือแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล
6. ตรวจสอบความถูกต้องหรือความสมเหตุสมผลของแนวความคิดต่างๆ กับแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้

7. รวบรวมข้อมูลเพียงพอก่อนที่จะลงข้อสรุปเรื่องราวต่างๆ
8. ไม่เชื่อโชคลางหรือคำทำนายที่ไม่สามารถอธิบายตามวิธีทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่พยายามอธิบายสิ่งต่างๆ ในแง่ของเหตุผล

9. หาความสัมพันธ์ของเหตุและผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
 10. มีความเคารพในเหตุผลซึ่งกันและกัน
 11. ยอมรับในคำอธิบายเมื่อมีหลักฐานสนับสนุนหนักแน่นพอ
 12. ต้องการที่จะรู้ว่าปรากฏการณ์ต่างๆ นั้นเป็นอย่างไร และทำไมจึงเป็นเช่นนั้น
- องค์ประกอบที่ 6 ความละเอียดรอบคอบ และมีระเบียบ ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน

10 ตัว

1. หลีกเลี่ยงการสรุปและการตัดสินใจอย่างรวดเร็ว
2. เห็นคุณค่าของความมีระเบียบและรอบคอบ
3. นำวิธีการหลายๆ วิธี มาตรวจสอบผลหรือวิธีการทดลอง
4. มีการใคร่ครวญ ไตร่ตรอง พิสูจน์วิเคราะห์ ก่อนในการตัดสินใจสรุปหรือเชื่อในสิ่งต่างๆ
5. มีความละเอียดถี่ถ้วนในการทำงาน
6. มีการวางแผนการทำงานและจัดระบบการทำงาน
7. ตรวจสอบความเรียบร้อยหรือคุณภาพของเครื่องมือก่อนการทดลอง
8. ไม่เต็มใจที่จะสรุปก่อนที่จะมีหลักฐานเพียงพอ
9. มองหาความไม่สอดคล้องกันระหว่างข้ออธิบายปลีกย่อยกับบทสรุป
10. ดำเนินการแก้ปัญหาจนถึงที่สุดหรือจนกว่าจะได้รับคำตอบ

องค์ประกอบที่ 7 ความซื่อสัตย์ ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 10 ตัว

1. เสนอความจริงถึงแม้ผลที่ได้แตกต่างจากผู้อื่น
2. เห็นคุณค่าของการเสนอข้อมูลตามความจริง
3. บันทึกผลข้อมูลตามความจริงและไม่ใช้ความคิดเห็นของตนเองไปเกี่ยวข้อง

4. ไม่แอบอ้างผลงานของผู้อื่นว่าเป็นผลงานของตนเอง
5. แสดงกิตติกรรมประกาศในผลงานของบุคคลอื่นที่นำมาใช้หรืออ้างอิง
6. รายงานสิ่งที่สังเกตได้แม้ว่าสิ่งที่รายงานนั้นจะขัดต่อสมมติฐานของตน
7. ไม่เอาอิทธิพลความเชื่อมาให้เหนือการตัดสินใจใดๆ ในทางวิทยาศาสตร์
8. สังเกตและบันทึกผลต่างๆ โดยปราศจากความลำเอียงหรืออคติ
9. ไม่นำสภาพสังคมหรือเศรษฐกิจและการเมืองมาเกี่ยวข้องกับการตีความหมาย
10. มีความมั่นคง หนักแน่น ต่อผลที่ได้จากการพิสูจน์

องค์ประกอบที่ 8 ความรับผิดชอบ ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 10 ตัว

1. ยอมรับผลการกระทำของตนเองไม่ว่าจะเป็นผลดีหรือผลเสีย
2. ทำงานที่ได้รับมอบหมายให้สมบูรณ์ตามกำหนดและตรงต่อเวลา
3. เว้นการกระทำอันเป็นผลเสียหายต่อส่วนรวม
4. ทำงานเต็มความสามารถ
5. ไม่ทอดทิ้งในการทำงานเมื่อมีอุปสรรคหรือล้มเหลว
6. มีความอดทนแม้การดำเนินการแก้ปัญหาจะยุ่งยากและใช้เวลา
7. ช่วยเหลือกลุ่มในการทำกิจกรรมเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้
8. แสดงความเต็มใจที่จะกระทำกิจกรรมนอกเหนือจากที่กำหนดให้เรียนในชั้นเรียน
9. ใช้เหตุผลประกอบการวิพากษ์วิจารณ์
10. ริเริ่มทำกิจกรรมเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อกลุ่ม

องค์ประกอบที่ 9 การมีความคิดเชิงวิพากษ์วิจารณ์ ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 5 ตัว

1. มีความตั้งใจที่จะพิจารณาข้อมูลโดยไม่เห็นคล้อยตามในทันที
2. กล้าคิดแตกต่างหรือตั้งข้อสงสัยในความถูกต้องของข้อมูล
3. พยายามหาข้อสนับสนุน หลักฐานหรือข้ออ้างอิง เพื่อประเมินและตัดสินใจว่าสิ่งใด

ควรเชื่อถือ

4. สามารถแยกแยะข้อคิดเห็นออก จากข้อเท็จจริง และตัดข้อมูลที่ไมเกี่ยวข้องหรือไม่

สมเหตุผลผลออกไป

5. เห็นความสำคัญของการตั้งสมมติฐาน

องค์ประกอบที่ 10 การมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 11 ตัว

1. ความรู้สึกพึงพอใจ นิยมชมชอบและเห็นคุณค่าในความคิดริเริ่มแปลกใหม่
2. มีความต้องการคิดอย่างอิสระและใช้จินตนาการ

3. กล้าเสี่ยงไม่กลัวความผิดพลาด
4. ช่างประดิษฐ์คิดค้นด้วยตัวเอง
5. บรรณานาที่จะคิดเข้าใจได้อย่างลึกซึ้ง
6. คิดอย่างยืดหยุ่น สามารถเปลี่ยนแปลงได้ไม่ตีกรอบ
7. มีความสามารถในการประยุกต์ มีการตอบสนองที่แสดงออกถึงความคิดริเริ่ม
8. มีความสามารถในการใช้สมาธิ มีความสามารถในการพินิจพิเคราะห์อย่างถี่ถ้วน
9. สนใจสิ่งต่างๆ อย่างกว้างขวาง
10. สนุกสนานเมื่อใช้ความคิด
11. ชอบซักถามและถามด้วยคำถามแปลกๆ

องค์ประกอบที่ 11 การยอมรับในข้อจำกัด ประกอบด้วยตัวชี้วัด จำนวน 6 ตัว

1. ข้อจำกัดในเรื่องวิธีการศึกษาแบบอุปนัย ซึ่งอาศัยการสรุปจากข้อมูลที่มีอยู่ถ้าข้อมูลที่มีมากพอและถูกต้อง การสรุปก็ถูกต้องและเชื่อถือได้
2. ข้อจำกัดเกี่ยวกับกับการวัด โดยยอมรับว่าในการวัดในทางวิทยาศาสตร์จะต้องมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ
3. ข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่องค่านิยมต่างๆ เช่น ด้านความสวยงาม ความดี ความยุติธรรม ฯลฯ ซึ่งทางวิทยาศาสตร์ไม่สามารถศึกษาได้
4. ข้อจำกัดเกี่ยวกับสิ่งศึกษา ศึกษาเฉพาะในสิ่งที่สมมุติชื่อขึ้นมาโดยอาศัยการกำหนดสมบัติของสิ่งเหล่านั้น จึงไม่ใช่สิ่งที่จริงอย่างสมบูรณ์
5. ความรู้วิทยาศาสตร์ จำกัดตัวเองอยู่ที่ปรัชญาวิทยาศาสตร์
6. ความรู้วิทยาศาสตร์ จำกัดตัวเองอยู่ที่วิธีการศึกษาค้นคว้า

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

คำว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process skills) มีผู้ให้ความหมายไว้หลายทัศนะ ดังนี้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2534, อ้างอิงใน สุรศักดิ์ แพรดำ, 2544, หน้า 31-32) ให้ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า “เป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการปฏิบัติ และฝึกฝนความนึกคิดอย่างเป็นระบบซึ่งก่อให้เกิดความงอกงามทางสติปัญญา”

นิคม ทาแดง และสุจินต์ วิศวรธีรานนท์ (2525, หน้า 48) กล่าวว่า “ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งของการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เพราะการทำงานตามขั้นตอนของวิธีการทางวิทยาศาสตร์แต่ละขั้นตอนนั้น จะประสบผลสำเร็จหรือล้มเหลวขึ้นอยู่กับความสามารถและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของแต่ละคน

สุรศักดิ์ แพรดำ (2544, หน้า 21-24) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นคำที่ประกอบด้วย คำ 3 คำ คือ ทักษะ (Skill) กระบวนการ (Process) และวิทยาศาสตร์ (Science) คำเหล่านี้มีความหมายดังนี้ ทักษะ หมายถึง ความสามารถในการกระทำ (คิด/หรือปฏิบัติ) อย่างถูกต้องและรวดเร็ว หรือคล่องแคล่วถูกต้องและแม่นยำ กระบวนการ หมายถึง แบบแผนที่มีระเบียบวิธีการ ลำดับก่อนหลังอย่างมีระเบียบอันทำให้เกิดผลในสิ่งใดสิ่งหนึ่ง หรือขั้นตอนการปฏิบัติเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง วิทยาศาสตร์ หมายถึง ส่วนที่เป็นองค์ความรู้ (Body of knowledge) ทางวิทยาศาสตร์ ที่ได้รับการตรวจสอบอย่างเป็นระบบเชื่อถือได้ และส่วนที่เป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Process of scientific inquiry) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ การสังเกต การจำแนกประเภท การวัด การคำนวณ การหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสและเวลา การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การลงความคิดเห็นจากข้อมูล การพยากรณ์ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุปได้อย่างคล่องแคล่วถูกต้องและแม่นยำ เพื่อการเสาะแสวงหาความรู้หรือแก้ปัญหาอันเกิดจากการปฏิบัติและฝึกฝนความนึกคิดอย่างเป็นระบบ

ภพ เลหาไพบูลย์ (2537, หน้า 14) ได้ให้ความหมายไว้ว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการปฏิบัติและฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบ

ผดุงยศ ด้วงมาลา (2531, หน้า 33) ได้กล่าวว่าวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่ประกอบด้วยตัวความรู้ และกระบวนการแสวงหาความรู้ วิธีหนึ่งที่จะได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คือ ทดลอง ในขณะที่ทำการทดลองนั้น ผู้ทดลองจะมีโอกาสได้ฝึกฝนทั้งในด้านปฏิบัติและพัฒนาความคิดไปด้วยในขณะเดียวกันการฝึก สังเกต บันทึกข้อมูล ตั้งสมมติฐานทำการวัดหาความสัมพันธ์ ของตัวแปร ฯลฯ สิ่งเหล่านี้เป็น พฤติกรรมที่เกิดจากการปฏิบัติและฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบ

ปีเตอร์สัน (ชัยทศ จำเนียรกุล, 2532, หน้า 9 อ้างอิงใน Peterson, 1978, p.153) กล่าวว่า “...ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นปฏิบัติการสืบเสาะความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย การสังเกต การตั้งคำถาม การทดลอง การเปรียบเทียบ การสรุปพาดพิง การสรุปหลักเกณฑ์ การสื่อความหมาย และการนำไปใช้ประโยชน์...”

แอนเดอร์สัน (สุรศักดิ์ แพรดำ, 2544, หน้า 32 อ้างอิงใน Anderson, 1978) กล่าวถึงทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า “เป็นวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการเสาะแสวงหาความรู้ ความหมายที่สำคัญของกระบวนการคือวิถีทางของกระบวนการในการเสาะแสวงหาความรู้ กระบวนการนี้จะทำให้เกิดพัฒนาการทางด้านสติปัญญา”

จากความหมายและแนวคิด เกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ดังกล่าวสรุปได้ว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ เพื่อเสาะแสวงหาความรู้หรือแก้ไขปัญหาอันเกิดจากการปฏิบัติ และฝึกฝนความนึกคิดอย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ

ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546, หน้า 12-13) แบ่งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 13 ทักษะออก เป็น 2 ระดับ คือ

1. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานหรือทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นต้น (Basic Scientific Process Skills) เป็นทักษะกระบวนการที่ผู้เรียนควรฝึกให้เกิดความชำนาญเป็นพื้นฐานก่อนที่จะไปฝึกทักษะกระบวนการขั้นผลมหรือขั้นบูรณาการ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานประกอบด้วย 8 ทักษะ ดังนี้

1.1 ทักษะการสังเกต (Observing)

1.2 ทักษะการจำแนกประเภท (Classifying)

1.3 ทักษะการวัด (Measuring)

1.4 ทักษะการคำนวณ (Using Number)

1.5 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปส และสเปสกับเวลา (Space/Space and Space/Time Relationships)

1.6 ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (Organizing Data and Communicating)

1.7 ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล (Inferring)

1.8 ทักษะการพยากรณ์ (Predicting)

2. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผลม หรือทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ หรือ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง (Integrated Scientific Process Skills) เป็นทักษะกระบวนการที่ต้องอาศัยการบูรณาการจากทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานซึ่งผู้เรียนควรฝึกฝน ให้เกิดความชำนาญมาก่อนจึงจะทำให้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผลมหรือขั้นบูรณาการมีประสิทธิภาพประกอบด้วย 5 ทักษะ ดังนี้

- 2.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypothesis)
- 2.2 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and Controlling Variables)
- 2.3 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining Variable Operationally)
- 2.4 ทักษะการทดลอง (Experimenting)
- 2.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป (Interpreting Data and Making Conclusion)

ซันด์และไทรว์บริดจ์ (Sund and Trowbridge, 1967, pp.93-95) ได้จัดประเภททักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้เรียนควรได้รับการพัฒนาออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

1. ทักษะในการหาความรู้ (Acquisitive Skills)
 - 1.1 การฟังอย่างตั้งใจ กระตือรือร้นและถามเมื่อสงสัย
 - 1.2 การสังเกตอย่างถี่ถ้วน สนใจและคิดอย่างเป็นระบบ
 - 1.3 การค้นหาแหล่งข้อมูล ใช้แหล่งข้อมูลหลายแห่งมารวมกัน
 - 1.4 การแสวงหาความรู้โดยการสัมภาษณ์ หรือส่งแบบสอบถาม
 - 1.5 การกำหนดปัญหา
 - 1.6 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการบันทึกเป็นตารางหรือจำแนกเป็นรายการต่างๆ
 - 1.7 การหาคำตอบของปัญหา โดยทำการทดลอง วิเคราะห์ ผลการทดลอง แล้วสรุปผล

2. ทักษะในการรวบรวมประสบการณ์ (Organizational Skills)
 - 2.1 การรายงานข้อมูลอย่างมีระบบและสมบูรณ์
 - 2.2 การเปรียบเทียบความเหมือนกันของสิ่งที่สังเกตได้
 - 2.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของสิ่งที่สังเกตได้
 - 2.4 การจำแนกข้อมูลเป็นหมวดหมู่
 - 2.5 การเรียงลำดับข้อมูลที่จัดไว้เป็นหมวดหมู่โดยแสดงเป็นลำดับ
 - 2.6 การกำหนดเค้าโครงออกเป็นหัวข้อใหญ่และหัวข้อย่อย
 - 2.7 การแสดงหัวข้อที่สำคัญและความสัมพันธ์ของข้อมูล
 - 2.8 การประเมินผลและปรับปรุงแก้ไข
 - 2.9 การวิเคราะห์และนำผลไปใช้

3. ทักษะในการสร้างสรรค์ (Creative Skills)
 - 3.1 การวางแผนล่วงหน้าโดยเล็งเห็นผลที่จะเป็นไปได้และรวมถึงการตั้งสมมติฐาน

3.2 การกำหนดปัญหาใหม่ วิธีการใหม่ เครื่องมือใหม่และระบบใหม่

3.3 การค้นหาเทคนิควิธีการต่างๆ

3.4 การสังเคราะห์โดยการนำสิ่งต่างๆ ที่มีอยู่มาประกอบกันเป็นสิ่งใหม่

4. ทักษะในการใช้เครื่องมือ (Manipulative Skills)

4.1 การรู้จักส่วนต่างๆ ของเครื่องมือ วิธีการทำงาน การปรับเครื่องมือให้เหมาะสมและ
ข้อจำกัดของงาน

4.2 การดูแลรักษาเครื่องมือให้อยู่ในสภาพดี โดยการเก็บและใช้อย่างเหมาะสม

4.3 การสาธิตแสดงส่วนต่างๆ หน้าที่และการทำงานของเครื่องมือ

4.4 การนำเครื่องมือมาใช้ในการทดลอง การวางแผนใช้เครื่องมือ การรวบรวมข้อมูล
การบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลที่ได้จากการใช้เครื่องมืออื่นๆ

4.5 การซ่อมแซมเครื่องมือ

4.6 การสร้างเครื่องมืออย่างง่าย

4.7 การวัดโดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น เทอร์มิเตอร์ ตาชั่ง เป็นต้น

5. ทักษะในการสื่อความหมาย (Communication Skills)

5.1 การตั้งคำถาม รู้จักเลือกใช้คำถามที่ดี เป็นคำถามที่ส่งเสริมให้ค้นคว้าหา
คำตอบด้วยตนเอง

5.2 การอภิปราย รู้จักใช้ความคิดของตนเองและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น
อภิปรายเรื่องที่ตรงประเด็น

5.3 การอภิปรายเน้นสาระสำคัญให้ชัดเจน

5.4 การรายงานด้วยปากเปล่าต่อชั้นเรียนหรือครู โดยเน้นเนื้อหาที่สำคัญ
ของสาระทางวิทยาศาสตร์

5.5 การเขียนรายงานการทดลอง หรือการสาธิต เพื่อชี้แจงวิธีการทดลอง
การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลที่ได้

5.6 การพิจารณาสร้างสรรค์เพื่อประเมินค่าจากผลที่ได้

5.7 การเขียนกราฟแสดงผลการทดลองและแปลความหมายจากกราฟ

5.8 สามารถถ่ายทอดความรู้ที่ได้แก่เพื่อนร่วมชั้นเรียน

คลอปเฟอร์ (Klopfer, 1971, pp.568-573) ได้จัดประเภทของทักษะกระบวนการ
ทางวิทยาศาสตร์ไว้ 4 ทักษะ คือ

1. ทักษะการสังเกตและการวัด (Observing and Measuring)

2. ทักษะการมองเห็นปัญหาและวิธีการหาคำตอบ (Seeing a problem and Seeking Ways to solve it)

3. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการสรุป (Interpreting Data and Formulating Generalizations)

4. ทักษะการสร้างทฤษฎี การตรวจสอบและการปรับปรุงทฤษฎีที่สร้างขึ้น (Building, Testing and Revising a Theoretical Model)

โอเคย์ และฟิลด์ (Okey and Field, 1973, pp.1-10) ได้จัดประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ไว้ 10 ทักษะ คือ

1. ทักษะการกำหนดตัวแปร (Identifying Variables)
2. ทักษะการสร้างตารางนำเสนอข้อมูล (Constructing a Table of data)
3. ทักษะการเขียนกราฟ (Constructing a Graph)
4. ทักษะการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร (Describing Relationship between Variables)
5. ทักษะการรวบรวมและจัดกระทำข้อมูล (Acquiring and processing Your Own Data)
6. ทักษะการวิเคราะห์กระบวนการทดลอง (Analyzing Investigations)
7. ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Constructing Hypothesis)
8. ทักษะการให้นิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining Variables Operationally)
9. ทักษะการออกแบบการทดลอง (Designing Investigations)
10. ทักษะการดำเนินการทดลอง (Experimenting)

มาร์แชลล์ และเฮลส์ (Marshall and Hales, 1971, p.105) ได้จัดประเภททักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 5 ประเภท 17 ทักษะ คือ

1. ความคิดริเริ่ม (Initiation)
 - 1.1 การกำหนดขอบเขตของปัญหา
 - 1.2 การหาข้อมูลขั้นต้น
 - 1.3 การทำนาย
 - 1.4 การตั้งสมมติฐาน
 - 1.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการทดลอง

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Collection of Data)
 - 2.1 การปฏิบัติ
 - 2.2 การสังเกต
3. การจัดกระทำกับข้อมูล (Processing of Data)
 - 3.1 การจัดข้อมูล
 - 3.2 การแสดงข้อมูลโดยกราฟ
 - 3.3 การจัดกระทำข้อมูลในทางคณิตศาสตร์
4. การสร้างมโนทัศน์จากข้อมูล (Conceptualization of Data)
 - 4.1 การตีความหมายข้อมูล
 - 4.2 การสร้างนิยามเชิงปฏิบัติการ
 - 4.3 การแสดงข้อมูลในรูปของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์
 - 4.4 การเชื่อมโยงข้อค้นพบใหม่กับทฤษฎีที่มีอยู่
5. ปลายเปิด (Open end)
 - 5.1 ค้นหาหลักฐานต่อไป
 - 5.2 การระบุปัญหาใหม่เพื่อสืบเสาะหาความรู้
 - 5.3 การนำความรู้ที่ค้นพบไปประยุกต์ใช้

อันสตรอม และโลเวอรี (Lunstrom and Lowery, 1978, pp.209-210) ได้จัดประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็น 10 ทักษะ คือ

1. ทักษะการสังเกตและการบรรยาย (Observation and Description)
2. ทักษะการเปรียบเทียบ (Comparison)
3. ทักษะการจำแนก (Classification)
4. ทักษะการใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Techniques)
5. ทักษะการปฏิบัติการทดลอง (Experimentation)
6. ทักษะการสรุปอ้างอิง (Inferences)
7. ทักษะการแสดงความหมาย (Implications)
8. ทักษะการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน (Verification in Independent Study)
9. ทักษะการศึกษาอย่างลึกซึ้ง (Depth Study)
10. ทักษะการใช้เครื่องมือและความสามารถเฉพาะ (Instrumentation and Other Specialization)

ดูเรน (Duren, 1978, p.20) กล่าวว่า สำนักประเมินผลการศึกษาเพื่อความก้าวหน้าแห่งชาติ (The National Assessment of Education Progress: NAEP, 1978) ได้แบ่งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นสำหรับการทำงานทางวิทยาศาสตร์ ออกเป็น 13 ทักษะ คือ

1. ทักษะการให้คำนิยามทางวิทยาศาสตร์ (Define a Scientific Problem)
2. ทักษะการเสนอแนะหรือรู้สมมติฐานทางวิทยาศาสตร์ (Suggest or Recognize a Scientific Hypothesis)
3. ทักษะการเสนอหรือเลือกวิธีการที่เหมาะสมในด้านเหตุผลและการปฏิบัติ (Propose or Select Validating Procedures)
4. ทักษะการเก็บข้อมูล (Obtain Requisite Data)
5. ทักษะการตีความหมายข้อมูล (Interpret Data)
6. ทักษะการตรวจสอบความถูกต้องอย่างมีเหตุผลของสมมติฐานกับกฎ ข้อเท็จจริง การสังเกต หรือการทดลอง (Check the Logical Consistency of Hypothesis with Relevant Laws, Fact, Observations or Experiments)
7. ทักษะการให้เหตุผลทางด้านปริมาณและสัญลักษณ์ (Reason Quantitative and Symbolically)
8. ทักษะการจำแนกความแตกต่างระหว่างข้อเท็จจริง สมมติฐาน และความคิดเห็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับสิ่งไม่เกี่ยวข้องและรูปแบบจากการสังเกต (Distinguish between Fact, Hypothesis and Opinions the Relevant from the Irrelevant and the Model from the Observations)
9. ทักษะการวิเคราะห์และวิจารณ์เอกสารทางวิทยาศาสตร์ (Read Scientific Materials Critically)
10. ทักษะการใช้กฎและหลักการทางวิทยาศาสตร์ทั้งในสถานที่คุ้นเคย และไม่คุ้นเคย (Employ Scientific Laws and Principles in familiar and Unfamiliar and Unfamiliar Situations)
11. ทักษะการค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Literature Search)
12. ทักษะการสร้างความสัมพันธ์กับทฤษฎี (Relating to theory)
13. ทักษะการลงข้อสรุป (Drawing Conclusion)

ซึ่งจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้จัดประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 2 ประเภท 13 ทักษะ ดังนี้

1. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานหรือทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นต้น (Basic Scientific Process Skills) เป็นทักษะกระบวนการที่ผู้เรียนควรฝึกให้เกิดความชำนาญเป็นพื้นฐานก่อนที่จะไปฝึกทักษะกระบวนการขั้นผสมหรือขั้นบูรณาการ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานประกอบด้วย 8 ทักษะ ดังนี้

- 1.1 ทักษะการสังเกต (Observing)
- 1.2 ทักษะการจำแนกประเภท (Classifying)
- 1.3 ทักษะการวัด (Measuring)
- 1.4 ทักษะการคำนวณ (Using Number)
- 1.5 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปซกับสเปซ และสเปซกับเวลา (Space/Space and Space/Time Relationships)
- 1.6 ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (Organizing Data and Communicating)
- 1.7 ทักษะการลงความคิดเห็นจากข้อมูล (Inferring)
- 1.8 ทักษะการพยากรณ์ (Predicting)

2. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสม หรือทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ หรือ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง (Integrated Scientific Process Skills) เป็นทักษะกระบวนการที่ต้องอาศัยการบูรณาการจากทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานซึ่งผู้เรียนควรฝึกฝน ให้เกิดความชำนาญมาก่อนจึงจะทำให้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมหรือ ขั้นบูรณาการมีประสิทธิภาพประกอบด้วย 5 ทักษะ ดังนี้

- 2.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypothesis)
- 2.2 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and Controlling Variables)
- 2.3 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining Variable Operationally)
- 2.4 ทักษะการทดลอง (Experimenting)
- 2.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป (Interpreting Data and Making Conclusion)

ลักษณะของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ทั้ง 13 ขั้น มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ทักษะการสังเกต (Observing) หมายถึง ความสามารถในการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกัน ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น ผิวกาย เข้าไปสัมผัสโดยตรงกับวัตถุหรือเหตุการณ์เพื่อให้ได้ข้อมูลของวัตถุหรือประสบการณ์ต่างๆ โดยไม่ลงความคิดเห็นของ

ผู้สังเกตลงไป เห็นอย่างไร ได้ยินอย่างไร ได้กลิ่นอย่างไร หรือรสชาติเป็นอย่างไร ก็ตอบไปตามนั้น
ประสาทสัมผัสมี 5 ชนิด คือ

- 1.1 ประสาทตา สังเกตได้โดยการดู เพื่อบอกรูปร่าง ลักษณะ ขนาด สี สถานะ
- 1.2 ประสาทหู สังเกตโดยการฟัง เพื่อบอกเสียงที่ได้ยินว่า เสียงดัง เสียงค่อย เสียงสูง เสียงต่ำ หรือเสียงดังอย่างไรตามที่ได้ยิน
- 1.3 ประสาทจมูก สังเกตโดยการดมกลิ่น เพื่อบอกว่ามีกลิ่นหรือไม่ หอมเหม็นฉุน
- 1.4 ประสาทลิ้น สังเกตโดยการชิมรส เพื่อบอกว่ามีรสชาติว่า หวาน ขม เผ็ดเปรี้ยว ฝาด แต่ในการสังเกตโดยการชิมนี้ ต้องแน่ใจว่าสิ่งนั้นไม่มีอันตรายและสะอาดเพียงพอ
- 1.5 ประสาทกาย สังเกตได้โดยการสัมผัส เพื่อบอก อุณหภูมิ ความหยาบ ความละเอียด ความเรียบ ความลื่น ความเปียกชื้น ความแห้งของสิ่งนั้น

นอกจากการใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ชนิด สังเกตโดยตรงแล้ว การใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสิ่งต่างๆ ได้ก็จัดว่าเป็นทักษะการสังเกตเช่นกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงของสี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะ การเปลี่ยนแปลงขนาด การเปลี่ยนแปลงกลิ่น รส อุณหภูมิ ฯลฯ การสังเกตเป็นทักษะพื้นฐานที่จำเป็นและสำคัญมากในกระบวนการค้นคว้าหาความรู้แขนงต่างๆ โดยเฉพาะความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่มักจะเริ่มต้นจากการสังเกต นักวิทยาศาสตร์จัดว่า เป็นผู้มีความชำนาญและมีความคิดละเอียดถี่ถ้วนในการสังเกตมากกว่าคนในอาชีพอื่นๆ การสังเกตบางครั้งอาจต้องอาศัยเครื่องมือช่วย ทั้งนี้เพื่อให้มีผลการสังเกตที่ถูกต้อง ชัดเจน และแน่ใจยิ่งขึ้น เช่น แว่นขยาย กล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น ผู้สังเกตจะต้องกระทำอย่างละเอียดและรอบคอบทุกแง่มุมเพื่อให้ได้รายละเอียดของข้อมูลนั้นมากที่สุด ข้อมูลที่ได้จากการสังเกต มี 2 ประเภท คือ

1. ข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและคุณสมบัติประจำตัวของสิ่งของที่สังเกต เช่น รูปร่าง รส กลิ่น เสียง และความรู้สึกจากการสัมผัส
2. ข้อมูลเชิงปริมาณ เป็นข้อมูลที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณ เช่น น้ำหนัก ขนาด อุณหภูมิ ข้อมูลที่ได้นี้จะบอกหน่วยมาตรฐานไว้ เช่น มะนาวหนัก 20 กรัม

ความสามารถที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนเกิดการใช้ทักษะการสังเกต คือ

1. ชี้บ่งและบรรยายลักษณะของวัตถุด้วยประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง
2. บรรยายการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สังเกตได้ หรือแยกแยะถึงสิ่งที่ได้จากการสังเกต และสรุปอ้างอิงได้

3. บรรยายการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สังเกตได้ หรือแยกแยะถึงสิ่งที่ได้จากการสังเกต และสรุปอ้างอิงได้

2. ทักษะจำแนกประเภท (Classifying) หมายถึง ความสามารถในการจัดแยกแบ่งหมวดหมู่ หรือเรียงลำดับของหรือสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่งโดยมีเกณฑ์เป็นตัวกำหนดแนวทาง เกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกอาจจะใช้ความเหมือน ความแตกต่างหรือความสัมพันธ์ร่วมอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้

การจำแนกวัตถุหรือสิ่งใดๆ ออกเป็นหมวดหมู่นั้น เริ่มต้นด้วยการตั้งเกณฑ์ขึ้นมาอย่างหนึ่ง แล้วใช้เกณฑ์นั้นแบ่งวัตถุออกเป็นกลุ่มย่อย โดยทั่วไปแล้วมักจะเลือกเกณฑ์ที่ทำให้แบ่งวัตถุเหล่านั้นออกเป็นสองกลุ่มย่อยก่อน แล้วค่อยเลือกเกณฑ์อื่นแบ่งกลุ่มย่อยนั้นออกเป็นกลุ่มย่อยต่อไปอีก การเลือกใช้อะไรเป็นเกณฑ์ในการจำแนกขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการจำแนกเป็นหลัก

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการจำแนก คือ

1. บ่งชี้และบรรยายคุณสมบัติของสิ่งที่ศึกษาได้ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของวัตถุ

2. จำแนกสิ่งที่ศึกษากลุ่มหนึ่งออกเป็นหลายประเภท ตามเกณฑ์ในการจำแนกประเภทที่สร้างขึ้นได้

3. จำแนกสิ่งที่ศึกษาตามเกณฑ์ที่ผู้อื่นกำหนดให้ได้

4. บอกเกณฑ์ที่ผู้อื่นจำแนกสิ่งที่ศึกษาได้

3. ทักษะการวัด (Measuring) หมายถึง ความสามารถในการเลือก และใช้เครื่องมือทำการวัดหาปริมาณของสิ่งของต่างๆ ออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยมีหน่วยกำกับอยู่เสมอ การวัดจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

1. เครื่องมือที่ใช้วัด เช่น ไม้บรรทัด เครื่องชั่ง นาฬิกา เทอร์มิเตอร์ เป็นต้น

2. ค่าที่ได้จากการวัดซึ่งเป็นตัวเลขที่แน่นอนไม่ใช่ได้จากการประมาณ

3. หน่วยในการวัด เช่น หน่วยของความยาวเป็นเมตร เป็นต้น

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการวัด คือ

1. เลือกใช้เครื่องมือได้อย่างเหมาะสมกับสิ่งที่วัด

2. บอกเหตุผลในการเลือกใช้เครื่องมือในการวัดได้

3. บอกวิธีการใช้เครื่องมือ และเครื่องใช้ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย

4. ระบุนิยามของตัวเลขที่ได้จากการวัดได้

5. อ่านค่าที่ได้จากการวัดได้ถูกต้องรวดเร็วและแม่นยำ ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

4. ทักษะการคำนวณ (Using Numbers) หมายถึง ความสามารถในการบวก ลบ คูณ หรือหารตัวเลขที่แสดงค่าของปริมาณของสิ่งใดสิ่งหนึ่งซึ่งได้มาจากการสังเกต การวัด การทดลอง โดยตรง หรือจากแหล่งข้อมูลอื่นๆ ทั้งนี้ตัวเลขที่นำมา บวก ลบ คูณ และหารนั้นต้องอยู่ในหน่วยเดียวกัน ซึ่งตัวเลขใหม่ที่ได้จากการคำนวณจะช่วยให้สามารถสื่อความหมายได้ตรงตามที่ต้องการ และชัดเจนยิ่งขึ้น

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการคำนวณ คือ

1. การนับ โดยสามารถนับจำนวนสิ่งของได้ถูกต้อง สามารถใช้ตัวเลขแทนจำนวนได้ สามารถตัดสินใจได้ว่าในแต่ละกลุ่มมีจำนวนเท่ากันหรือต่างกัน

2. การบวก ลบ คูณ หาร โดยบอกวิธีการคำนวณได้ คิดคำนวณได้ถูกต้อง และแสดงวิธีการคำนวณได้

3. การหาค่าเฉลี่ย โดยบอกวิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ หาค่าเฉลี่ยได้ แสดงวิธีการหาค่าเฉลี่ยได้

4. หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากข้อมูลมาสร้างเป็นสูตรได้

5. คำนวณเกี่ยวกับปริมาณที่มีค่าอุปสรรคประกอบหน่วยได้

5. ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริภูมิกับปริภูมิและปริภูมิกับเวลา (Space/Space Relationship and Space / Time Relationship) หมายถึง ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่อไปนี้

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริภูมิของวัตถุหนึ่งกับปริภูมิของวัตถุหนึ่ง ซึ่งได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มิติ กับ 3 มิติ (ปริภูมิ หรือสเปซของวัตถุ หมายถึงที่ว่างที่วัตถุนั้น ครองอยู่ ซึ่งมีรูปร่างเช่นเดียวกับวัตถุนั้น โดยทั่วไปแล้วปริภูมิของวัตถุนั้นจะมี 3 มิติ คือ ความกว้าง ความยาว และความสูง)

5.2 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลา หรือปริภูมิของวัตถุที่เปลี่ยนไปกับเวลา

การกระทำแสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริภูมิกับปริภูมิ และปริภูมิกับเวลาได้แก่ความสามารถในการกระทำ ดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการวาดรูป 3 มิติของวัตถุธรรมดาหรือทั่วไปได้ เช่น วาดรูป 3 มิติ ของดินสอ กล่องไม้ขีด เป็นต้น

2. ความสามารถในการบอกจำนวนเส้นสมมาตรของรูป 2 มิติ และรูป 3 มิติได้ เช่น บอกได้ว่ารูปสามเหลี่ยมด้านเท่ามีเส้นสมมาตร 3 เส้น เป็นต้น

3. ความสามารถในการบอกความสัมพันธ์ระหว่างรูป 2 มิติ และรูป 3 มิติได้
4. บอกตำแหน่งหรือทิศของวัตถุได้
5. บอกความสัมพันธ์ของสิ่งที่อยู่หน้ากระจก ในกระจก ว่าเป็นซ้าย และขวาของกันและกันอย่างไร

6. บอกความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลาได้
7. บอกความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือปริมาณของสิ่งต่างๆ กับเวลาได้

6. ทักษะการจัดทำและสื่อความหมายข้อมูล (Organizing Data and Communicating)

ทักษะการจัดกระทำข้อมูล หมายถึง การนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลอง และจากแหล่งอื่นๆ มาจัดกระทำเสียใหม่ โดยอาศัยวิธีการต่างๆ เช่น การจัดลำดับ การจัดกลุ่ม หรือการคำนวณหาค่าใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้และหรือให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลนั้นๆ ได้ดีขึ้น โดยอาจนำเสนอในรูปของตารางแผนภูมิ แผนภาพ กราฟ สมการ หรือเขียนบรรยาย

ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล หมายถึง การนำข้อมูลที่ได้จากการจัดกระทำแล้ว มาเสนอ และแสดงให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลชุดนั้นได้ดีขึ้น การนำเสนออาจทำได้หลายรูปแบบ คือ

1. โดยการพูดปากเปล่าหรือเล่าให้ฟัง
2. โดยการเขียนเป็นรายงาน
3. โดยการเขียนเป็นตารางแผนภูมิ แผนภาพ แผนผัง วงจร กราฟ แผนสถิติ สมการ หรือใช้สัญลักษณ์
4. โดยการผสมผสานหลายวิธีตามความเหมาะสม

ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูลมีความจำเป็นต่อการศึกษาค้นคว้าหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับการรายงานสิ่งที่ตนเองได้กระทำให้ผู้อื่นเข้าใจการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลมีหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลและจุดมุ่งหมายของการสื่อความหมาย

สิ่งที่ต้องคำนึงในการสื่อความหมายข้อมูลให้ผู้อื่นเข้าใจ ได้แก่

1. ความชัดเจนหรือความสมบูรณ์ของข้อมูล
2. ความถูกต้องแม่นยำ

3. ความไม่กำกวม

4. ความกะทัดรัด

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
ดังนี้

1. สามารถบรรยายรูปร่างลักษณะและคุณสมบัติของวัตถุได้จนผู้ฟังสามารถ
ชี้ หยิบ จับ หรือระบุว่าวัตถุนั้นได้ถูกต้อง

2. สามารถบรรยายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ โดยการให้นักเรียนทำกิจกรรม
อย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงวัตถุแล้วให้นักเรียนสังเกต บันทึกการสังเกต แล้วเขียน
บรรยายเพื่อให้คนอื่นที่ไม่ได้เข้าร่วมกิจกรรมอ่านแล้วเข้าใจ

3. สามารถเขียนแผนผัง แผนที่ วงจรของวัตถุ เครื่องมือ อุปกรณ์ และระบบของการ
ทำงานของสิ่งต่างๆ ได้

4. มีความสามารถในการจัดกระทำข้อมูลและเลือกสื่อ เพื่อเสนอข้อมูลให้อยู่ใน
รูปแบบที่ทำให้ผู้อื่นเข้าใจได้ดีขึ้น

7. ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (Infreing) หมายถึง ความสามารถในการนำข้อมูล
ได้จากการสังเกตหรือปรากฏการณ์ไปสัมพันธ์กับความรู้และประสบการณ์เดิมเพื่อลงข้อสรุปหรือ
อธิบายปรากฏการณ์หรือวัตถุนั้น โดยทั่วไปการลงความคิดเห็นจากข้อมูลจะกระทำได้เมื่อได้ข้อมูล
จากการสังเกต และนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นพื้นฐานไปสู่การอธิบายหรือลงข้อสรุป

การลงความคิดเห็นจากข้อมูลในเรื่องเดียวกันอาจลงความคิดเห็นได้หลายอย่าง
ซึ่งอาจถูกหรือผิดก็ได้ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. ความละเอียดลออของข้อมูล
2. ความถูกต้องของข้อมูล
3. ความรู้และประสบการณ์เดิมของผู้ลงความเห็น
4. ความสามารถในการสังเกต

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการลงความคิดเห็น คือ

1. อธิบายหรือสรุป โดยมีการเพิ่มเติมความคิดเห็นให้กับข้อมูลที่ได้จากการสังเกต
และใช้ความรู้และประสบการณ์เดิมได้

2. แยกความแตกต่างระหว่างการลงความคิดเห็นจากข้อมูลและข้อมูลจากการสังเกต
ได้

3. อธิบายและแสดงให้เห็นวิธีการสังเกตเพิ่มเติม เพื่อทดสอบการลงความคิดเห็นจากข้อมูลที่ได้กระทำไปแล้ว

4. บ่งชี้การลงความคิดเห็นที่ควรจะยอมรับหรือไม่ยอมรับหรือควรปรับปรุงภายหลังที่ได้กระทำเพิ่มเติมไปแล้วได้

8. ทักษะการพยากรณ์ (Predictive) หมายถึง ความสามารถในการสรุปหาคำตอบล่วงหน้าก่อนที่จะมีการทดลอง โดยอาศัยกฎ ทฤษฎี หลักการ และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำๆ ในเรื่องนั้นๆ มาช่วยในการสรุป การพยากรณ์นั้นทำได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การพยากรณ์ภายในขอบเขตข้อมูลที่มีอยู่ (Interpolating) หมายถึง การคาดคะเนคำตอบหรือค่าของข้อมูลที่อยู่ในขอบเขตข้อมูลที่สังเกตหรือวัดได้ หรือหมายถึงการพยากรณ์ถึงสิ่งที่ไม่ได้ทดลองแต่อยู่ในขอบเขตของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

2. การพยากรณ์ภายนอกขอบเขตข้อมูลที่มีอยู่ (Extrapolating) หมายถึง การคาดคะเนคำตอบหรือค่าของข้อมูลที่อยู่ภายนอกขอบเขตของข้อมูลที่สังเกต หรือวัดได้

การพยากรณ์มีประโยชน์มากในทางวิทยาศาสตร์ การที่นักวิทยาศาสตร์พยายามหากฎเกณฑ์หรือหลักการของธรรมชาตินั้น วัตถุประสงค์ก็เพื่อนำไปพยากรณ์ถึงที่เกิดขึ้น เพื่อจะได้ทำการควบคุมและป้องกันอันตรายจากธรรมชาติได้

9. ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating Hypothesis) หมายถึง ความสามารถในการคิดหาคำตอบล่วงหน้า ก่อนที่จะมีการทดลอง โดยอาศัยการสังเกต ความรู้ ประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐาน โดยทั่วไปมักจะเป็นข้อความที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม

สมมติฐานเป็นการลงความคิดเห็นจากข้อมูลประเภทหนึ่ง ซึ่งจะอยู่ในรูปของข้อสรุปรวมเชิงหลักการทั่วไป ข้อสรุปนี้ยังไม่สามารถนำไปพยากรณ์ได้

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนมีทักษะการตั้งสมมติฐาน มีดังนี้

1. หาคำตอบล่วงหน้าก่อนมาทดลอง โดยอาศัยการสังเกต ความรู้ และประสบการณ์เดิม

2. แสดงวิธีทดสอบสมมติฐานได้

3. แยกแยะข้อมูลการสังเกตที่สนับสนุนสมมติฐาน และไม่สนับสนุนสมมติฐานได้

10. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and Controlling Variable) หมายถึง ความสามารถในการชี้บ่งตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ควบคุมในสมมติฐานหนึ่งๆ

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เป็นตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรต้น เมื่อตัวแปรต้นเปลี่ยนไป ตัวแปรตามจะเปลี่ยนตามไปด้วย

ตัวแปรควบคุม (Controlled Variable) เป็นตัวแปรอื่นๆ ที่ยังไม่สนใจศึกษาที่อาจมีผลต่อตัวแปรตาม ในขณะนั้น จึงจำเป็นต้องควบคุมให้คงที่ไว้ก่อน

11. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining Operationally) หมายถึง ความสามารถในการกำหนดความหมายและขอบเขตของคำต่างๆ ให้เข้าใจตรงกันและสามารถสังเกตและวัดได้การนิยามเชิงปฏิบัติการ จะต้องประกอบด้วยสาระสำคัญ 2 ประการ คือ

1. บรรยายวิธีการทดสอบในนิยามให้เห็นอย่างชัดเจน

2. ระบุสิ่งที่จะต้องสังเกตไว้ในคำนิยาม

ความสามารถแสดงว่านักเรียนมีทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ดังนี้

1. กำหนดนิยามและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่างๆ ให้สังเกตและวัดได้

2. แยกแยะคำนิยามเชิงปฏิบัติการกับคำนิยามที่ไม่ใช่นิยามเชิงปฏิบัติการได้ชี้บ่งตัวแปรหรือคำที่ต้องใช้ในการให้คำนิยามเชิงปฏิบัติการได้

12. ทักษะการทดลอง (Experimenting) ความสามารถในการปฏิบัติการเพื่อหาคำตอบหรือทดสอบสมมติฐานที่กำหนดไว้ ในการทดลองจะประกอบด้วยกิจกรรม 3 ขั้นตอน คือ

1. ออกแบบการทดลอง หมายถึง การวางแผนการทดลองล่วงหน้าก่อนทำการทดลองจริง เพื่อกำหนดวิธีการทดลอง อุปกรณ์การทดลอง

2. การปฏิบัติการทดลอง หมายถึง ความสามารถในการลงมือปฏิบัติการทดลองตามรูปแบบที่ได้วางแผนการทดลองไว้แล้ว

3. การบันทึกผลการทดลอง หมายถึง การบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งอาจจะเป็นผลจากการสังเกต การวัด และอื่นๆ

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการทดลอง ดังนี้

1. กำหนดวิธีการทดลองได้ถูกต้องและเหมาะสม โดยคำนึงถึงตัวแปรต้นตัวแปรตาม และตัวแปรที่ต้องควบคุมด้วย

2. ระบุอุปกรณ์และสารเคมีที่จะต้องใช้ในการทดลองได้

3. ปฏิบัติการทดลองและใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้องเหมาะสม บันทึกผลการทดลองได้คล่องแคล่วและถูกต้อง

13. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (Interpreting Data and Conclusion) หมายถึง ความสามารถในการแปลความหมายหรือบรรยายลักษณะคุณสมบัติของข้อมูลที่มีอยู่แล้วนำมาสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมด การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปเป็นกระบวนการขั้นสุดยอดหรือขั้นสุดท้ายของกระบวนการวิทยาศาสตร์ การทดลองใดๆ แม้ว่าจะออกแบบการทดลอง ทำการทดลองอย่างรัดกุม ได้ข้อมูลจากการทดลองอย่างละเอียดแต่ถ้าขาดกระบวนการขั้นนี้ก็จะไม่สามารถสรุปผลการทดลองตอบรับหรือปฏิเสธสมมติฐานได้ เพราะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป เป็นการมองข้อมูลในทุกแง่ทุกมุม การพิจารณาถึงความหนักแน่นของหลักฐานที่สนับสนุน หรือขัดแย้งการตั้งเอาประสบการณ์ ความรู้ และหลักการคิดหาเหตุผลมาเป็นเครื่องมือ ในการตีความหมายแล้วจึงลงเป็นข้อสรุปดังนี้

ความสามารถที่แสดงว่านักเรียนเกิดทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปดังนี้

1. แปลความหมายหรือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ได้
2. อธิบายความหมายของข้อมูลที่จัดไว้ในรูปแบบต่างๆ ได้
3. บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่ได้

สถิติสหสัมพันธ์คาโนนิคอล

ความหมายของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล

อำนาจ เลิศขยันดี (2545, หน้า 571-572) กล่าวว่า การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อกำหนดตัวแปรตามและตัวแปรต้นเป็นเซต เซตละสองตัวหรือมากกว่า สถิติประเภทนี้ใช้เมื่อต้องการจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยที่แต่ละกลุ่มจะต้องมีตัวแปรที่มากกว่าหรือเท่ากับสองตัวขึ้นไป

ลำราญ มีแจ้ง (2544, หน้า 174-195) กล่าวว่า การคิดวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัววิธีหนึ่งซึ่งพัฒนามาจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) และได้มีผู้เริ่มนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยทางสังคมศาสตร์ เมื่อไม่นานมานี้ เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลมีลักษณะคล้ายคลึงกับเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) และเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) สิ่งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลไม่มีการแบ่งแยกตัวแปรออกเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตาม (Dependent Variables) ในลักษณะเป็นรายตัว (Individuals) แต่เป็นการแบ่งตัวแปรทั้งหมดในข้อมูลชุดเดียวกันออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนาย (Predictor Variables) ซึ่งแทนด้วย X และชุดของตัวแปรตามหรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion

Variables) ซึ่งแทนด้วย Y จำนวนของตัวแปรแต่ละชุดไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ดังนั้นแต่ละชุดของตัวแปรดังกล่าวจึงมีลักษณะเป็น ตัวแปรประกอบ (Composite Variables) ซึ่งหมายถึง การรวมกันของตัวแปรหลายตัว (Combinations of Variables) เมื่อศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรก็พิจารณาไปด้วยกันทั้งกลุ่มในลักษณะของ ตัวแปรหลายตัวกับตัวแปรหลายตัว (Many to many Patterns of association) ไม่ใช่ลักษณะรายคู่ (Bivariates) ดังเช่น ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) หรือในลักษณะการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกับตัวแปรหลายตัว (One to many patterns of association) ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองชุดดังกล่าวได้นั้น จำเป็นต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในแต่ละชุดให้เข้าใจเสียก่อนว่า ตัวแปรใดบ้างที่มีลักษณะเด่นอยู่ในแต่ละชุด จากนั้นจึงคำนวณหาผลรวมถ่วงน้ำหนัก (A weighted sum) ของตัวแปรแต่ละชุดซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองชุดนั้นมีค่าสูงสุด ดังนั้นประเด็น ที่สำคัญประการหนึ่งก็คือ การให้ค่าน้ำหนักแก่ตัวแปรที่ประกอบกับอยู่ในแต่ละชุด ต้องมีความระมัดระวัง ผู้วิจัยสามารถกำหนดได้เอง หรือไม่มีหลักเกณฑ์ที่จะอธิบายได้ ดังนั้นการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลจึงจำเป็นทั้งเชิงปริมาณและเชิงปริมาณ (Objective and Quantity)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละชุด และการกำหนดน้ำหนักให้กับตัวแปรแต่ละตัว ผู้วิจัยสามารถสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่ได้ ตัวแปรใหม่นี้มีลักษณะเป็นตัวแปรประกอบ (Composite Variables) ดังที่กล่าวมาแล้ว หรือเรียกว่าตัวแปรคาโนนิคอล (Canonical Variables) ซึ่งถือได้ว่าเป็นตัวแทนของแต่ละชุด ต่อจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างทั้งสองชุดอีกครั้งหนึ่งและค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล การวิเคราะห์แบบนี้จึงถือได้ว่าเป็นการลดขนาดหรือจำนวนตัวแปรให้น้อยลง

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ

1. ธรรมชาติของความเกี่ยวข้องหรือรูปแบบของความสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งเชื่อมอยู่ระหว่างชุดของตัวแปรทั้งสองชุด
2. จำนวนความสัมพันธ์ (ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ) ระหว่างตัวแปรทั้งสองชุด
3. โอกาสที่ความแปรปรวนในตัวแปรชุดหนึ่งจะมีอิทธิพลหรือซ้ำซ้อนอยู่ในตัวแปรอีกชุดหนึ่ง

ความเป็นไปได้ที่จะวิเคราะห์ความซ้ำซ้อนที่กล่าวถึงในข้อ 3 ยังไม่มีความชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่จะใช้สถิติที่เหมาะสมในการวัดความซ้ำซ้อนดังกล่าว

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล

ลัทธิ มีแจ้ง (2544, หน้า 176) กล่าวว่า วัตถุประสงค์สำคัญในการใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล คือการหาแบบแผนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองชุด ที่ทำให้ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด โดยที่แต่ละชุดอาจมีตัวแปรหลายตัวและจำนวนของตัวแปรแต่ละชุดจะเท่ากันหรือไม่ก็ได้ และจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองชุด สามารถกำหนดน้ำหนักของตัวแปรในแต่ละชุดได้โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรแต่ละตัว ที่ทำให้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองชุดนั้นมีค่าสูงสุด

ประโยชน์ของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล

ลัทธิ มีแจ้ง (2544, หน้า 176) กล่าวว่า เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล มีความสำคัญ ต่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์ที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. บอกอัตราและแบบแผนความสัมพันธ์สูงสุด ระหว่างตัวแปรสองกลุ่มจากข้อมูลชุดเดียวกันได้
2. ลดข้อมูลหรือตัวแปรลง โดยสามารถสร้างตัวแปรประกอบหรือตัวแปรคาโนนิคัล ขึ้นจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองกลุ่มนั้นได้
3. สามารถนำค่าของตัวแปรคาโนนิคัลมา ใช้จัดอันดับหน่วยการวิเคราะห์ตามค่าสูงต่ำ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการกำหนดตำแหน่งของตัวแปรต่างๆ ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นตัวแปรคาโนนิคัล

คำศัพท์ที่ควรรู้จักเกี่ยวกับสหสัมพันธ์คาโนนิคัล

ดุขฎิ โยเหลา (2541, หน้า 73 - 88) ได้สรุปคำศัพท์ที่ควรรู้จักเกี่ยวกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัล ไว้ดังนี้

ตัวแปรคาโนนิคัล (Canonical Variables) คือ ตัวแปรประกอบ (Composite Variables) ที่เกิดจากความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปร U เรียกว่า ตัวแปรอิสระหรือตัวทำนาย (Predictor Composite) และ V เรียกว่า ตัวแปรตามหรือตัวเกณฑ์ (Criterion Composite)

สหสัมพันธ์คาโนนิคัล (Canonical Correlation: R) คือ ปริมาณของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคาโนนิคัล หรือปริมาณความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนาย (Predictor Composite) กับตัวแปรตามหรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Composite X)

ค่าน้ำหนักความสำคัญคาโนนิคัล หรือสัมประสิทธิ์คาโนนิคัล (Composite Weights, Function Coefficient) หมายถึง ค่าตัวเลขหรือน้ำหนักของตัวแปรชุด X หรือตัวแปรชุด Y ในที่นี้คือค่า $a_1, a_2, \dots, a_p$ และ $b_1, b_2, \dots, b_p$ การตีความหมาย β ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ซึ่งเป็นค่า ที่แสดงว่าตัวแปร X หรือตัวแปร Y มีความสำคัญในการอธิบายตัวแปรคาโนนิคัลเท่าใด เพื่อควบคุมตัวแปรอื่นๆ ในชุดตัวแปร

ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล

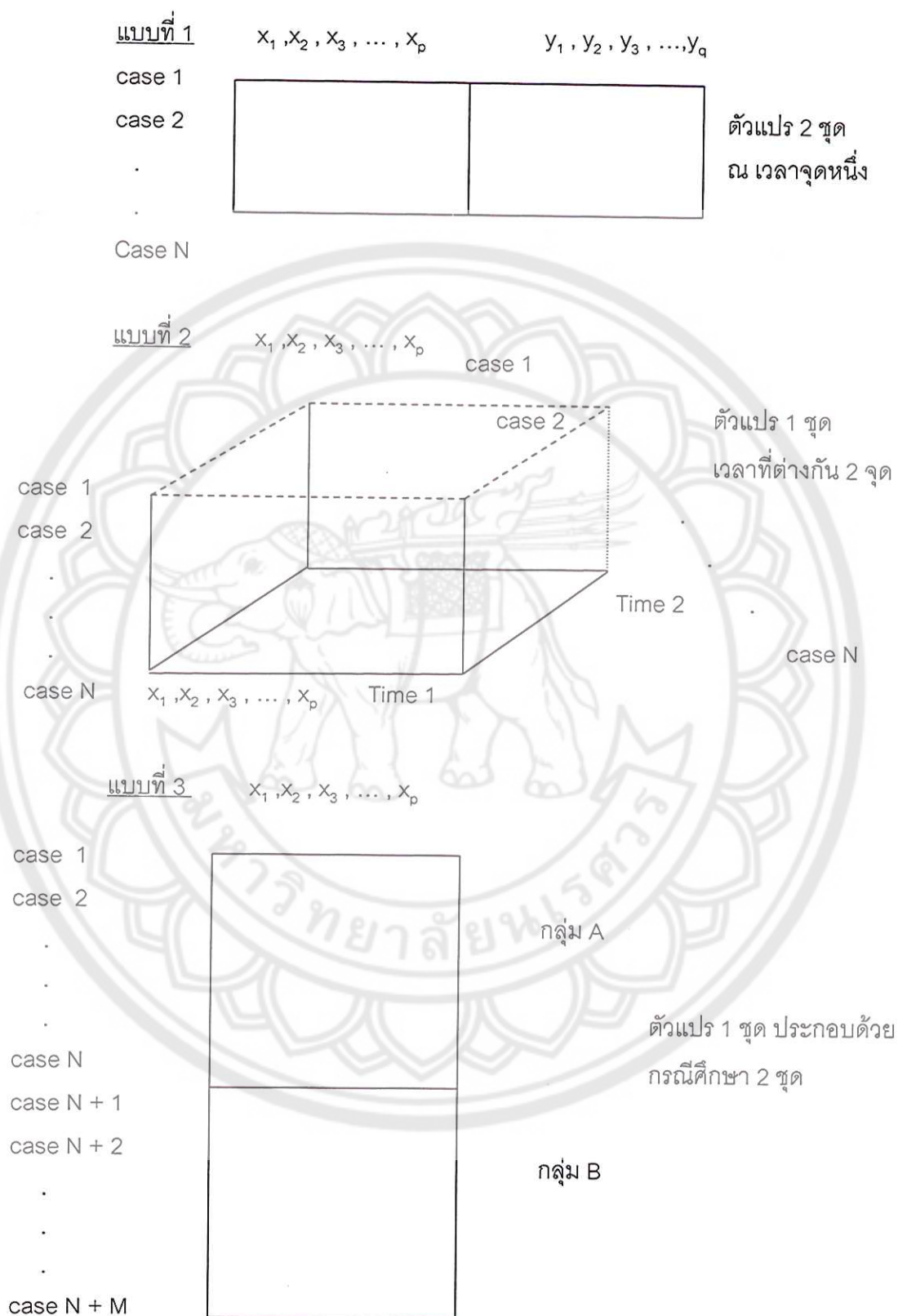
สำราญ มีแจ้ง (2544, หน้า 182) ได้กล่าวถึงลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลไว้ว่า ข้อมูลที่จะนำมาใช้กับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลต้องเป็นข้อมูลที่มีระดับการวัดแบบช่วง (Interval Scale) หรือตัวแปรทวิ (Bivariates) มีค่าเป็น 0 หรือ 1 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

ข้อมูลเพื่อสร้างตัวแปรใหม่ของชุดใดชุดหนึ่ง ถ้าเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด เพื่อสร้างตัวแปรใหม่จากข้อมูลแต่ละชุด ผู้วิจัยอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องระบุตัวแปรในชุดใดเป็นตัวแปรตามและตัวแปรชุดใดเป็นตัวแปรอิสระ แต่ต้องใช้ข้อมูลดิบเพื่อจะได้ใช้ค่าของข้อมูลดิบมาใช้หาคะแนนในแต่ละรายหรือหน่วยวิเคราะห์

ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด ผู้วิจัยอาจกำหนดให้ตัวแปรชุดใดเป็นตัวแปรอิสระและชุดใดเป็นตัวแปรตาม โดยผู้วิจัยต้องกำหนดคุณสมบัติของความสัมพัทธ์เป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตามให้ถูกต้อง นอกจากนั้นแล้วถ้าผู้วิจัยต้องการเพียงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ชุด โดยไม่หวังที่จะเอาแบบแผนความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละชุดมาสร้างตัวแปรใหม่ ผู้วิจัยไม่มีความจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลดิบของตัวแปรแต่ละตัวของแต่ละหน่วยวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยสามารถใช้เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Matrix of correlation) มาศึกษาได้ว่า ได้ตัวแปรคาโนนิคอลกี่ตัว แต่ไม่สามารถสร้างคะแนนตัวแปรคาโนนิคอลได้ เพราะไม่มีค่าคะแนนดิบของตัวแปรแต่ละตัวของหน่วยวิเคราะห์ที่จะนำมาใช้ในการสร้างคะแนน

อย่างไรก็ดีข้อมูลที่ใช้จริงก็คือ เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละชุด (Matrix of Simple Correlation Coefficients) ซึ่งเมตริกซ์ดังกล่าวอาจได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรครั้งแรก และถ้าใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือใช้สื่อข้อมูล (Input Medium) เบื้องต้นครั้งต่อไปผู้วิจัยสามารถใช้เมตริกซ์แทนข้อมูลทั้งหมดได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS)

ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูล 3 ชุดต่อไปนี้ พร้อมทั้งเขียนแผนภาพไดอะแกรมประกอบด้วย จะเห็นข้อที่แตกต่างกันในลักษณะของข้อมูล และเทคนิคการวิเคราะห์ ดังที่ Mark (ศิริลักษณ์ ศรีลำอางค์, 2530, หน้า 54 - 55) แสดงไว้ดังนี้



ภาพ 1 ลักษณะต่างๆ ของข้อมูล และเทคนิคการวิเคราะห์

แบบที่ 1 เป็นตัวอย่างตัวแปรที่ต้องการวัด 2 ชุด ที่มีอยู่ในข้อมูลเดียวกัน ณ จุดเวลาหนึ่ง เมตริกซ์ของข้อมูลชุดหนึ่งมีตัวแปรสัมพันธ์กัน แบ่งออกตามแนวนอนได้เป็นสองส่วน

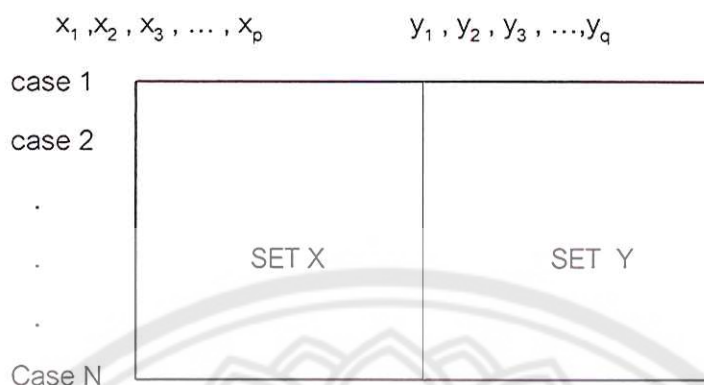
แบบที่ 2 เป็นตัวอย่างตัวแปรที่ต้องการวัด 1 ชุด ที่มีความสัมพันธ์กันในข้อมูลเดียวกัน ณ จุด 2 จุดของเวลา นั่นคือ เมตริกซ์ของข้อมูลแบ่งออกได้ชั่วคราวเป็น 2 เมตริกซ์ ซึ่งมี 2 ทิศทาง คือ แถว (Row) และหลัก (Column)

แบบที่ 3 เป็นตัวอย่างของตัวแปรที่ต้องการวัด 1 ชุด ที่มีความสัมพันธ์กันในข้อมูลชุดเดียวกัน ณ จุดเวลาหนึ่ง นั่นคือ เมตริกซ์ของข้อมูลชุดหนึ่งที่มีตัวแปรสัมพันธ์กัน และแบ่งออกตามแนวตั้ง ได้เป็น 2 ส่วน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรในข้อมูลแบบที่ 1 ต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (Canonical Correlation Analysis) ซึ่งต่างจากแบบที่ 3 ที่ต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบ (Factor Comparison Analysis) และในข้อมูลแบบที่ 2 จำเป็นต้องนำเทคนิคทั้งสองวิธีมาใช้ในการวิเคราะห์

จากตัวอย่างตัวแปรในข้อมูลแบบที่ 1 จะกำหนดชื่อตัวแปรทั้งสองชุดว่าชุด X และ Y ซึ่งอาจใช้หรือใช้แทนชุดของตัวแปรอิสระรวมกันกับชุดของตัวแปรตามร่วมกันก็ได้ตามลำดับในแต่ละชุดนั้นประกอบด้วยตัวแปรหลายตัว โดยชุดที่ X ประกอบด้วย ตัวแปร $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ ชุด Y ประกอบด้วยตัวแปร $y_1, y_2, y_3, \dots, y_q$ นั่นคือในชุด X มีตัวแปร p ตัว และในชุด Y มีตัวแปร q ตัว ดังนั้นจึงมีตัวแปรทั้งหมดจำนวน $p+q$ ตัว และในการศึกษาข้อมูลชุดนี้ต้องมี $p+q$ คะแนน ซึ่งค่าคะแนนทั้งหมดนี้สามารถนำมารวมกันอยู่ในเมตริกซ์เดียวกันได้ ตัวแปรแต่ละตัวนั้นต้องสัมพันธ์ตรงข้ามกันกับตัวแปรอื่นๆ ที่เหลือ ซึ่งก่อให้เกิดเมตริกซ์จัตุรัสที่สมมาตรกัน (A square symmetric matrix) ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีมิติเป็น $(p+q) \times (p+q)$ ขึ้นมา

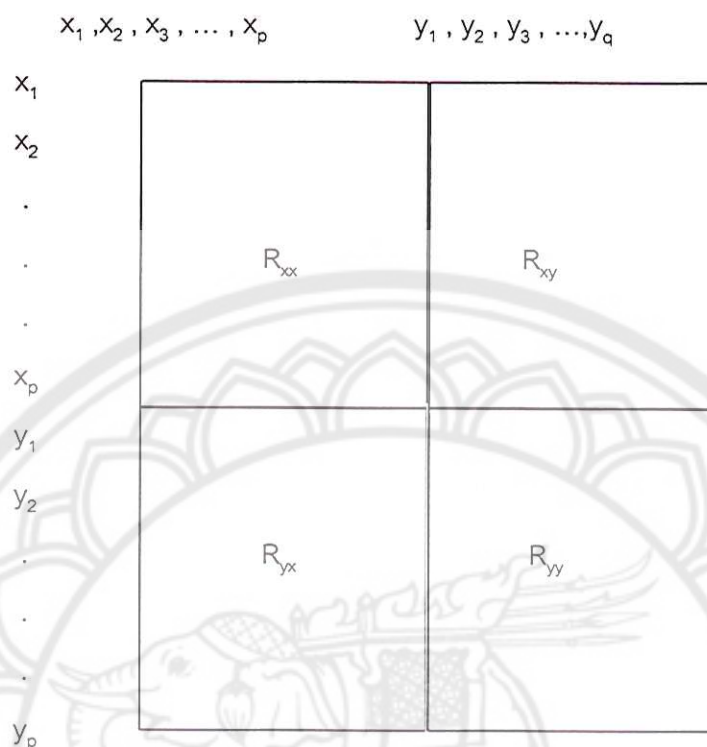
ตามแบบเดิมนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณมาได้คือ ค่า (r) ที่ได้จากการคำนวณแบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment) แม้ว่าอาจสมเหตุสมผลที่ทดลองใช้สถิติแบบ Non-Parametric associational ในการวัดตัวแปร 2 ตัวก็ตาม แต่ถ้าเลือกใช้การวิเคราะห์แบบเพียร์สันทำให้ลักษณะ ความแปรปรวนไม่มีความหมายในการวิเคราะห์ครั้งต่อไป



ภาพ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง

จากภาพที่ 2 ใช้การวิเคราะห์แบบเพียร์สัน แสดงถึงความแตกต่างที่เท่ากันของ คุณลักษณะที่ถูกวัด หรือสันนิษฐานว่าข้อมูลได้มีการคาดประมาณคุณลักษณะตามอัตราภาคชั้น (Interval Proportion) ข้อสันนิษฐานที่เด่นชัดของเทคนิควิธีนี้ รวมทั้งวิธีวิเคราะห์ตัวแปรที่ คล้ายคลึงกัน ที่ได้กล่าวถึงแล้วคือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง (linear) ดังนั้น ถ้านักวิจัยสันนิษฐานว่าไม่ใช่ลักษณะเส้นตรงก็ต้องเปลี่ยนข้อมูล

เมตริกซ์ของสหสัมพันธ์ R สามารถกำหนดส่วนออกได้เป็น 4 เมตริกซ์ย่อย คือ R_{xx} , R_{yy} , R_{yx} , และ R_{xy} ในเมตริกซ์ย่อย R_{xx} ประกอบด้วยสหสัมพันธ์ของตัวแปรในชุด X ในเมตริกซ์ R_{yy} ประกอบด้วยสหสัมพันธ์ของตัวแปรในชุด Y และในเมตริกซ์ R_{xy} หรือ R_{yx} เป็นสหสัมพันธ์ของตัวแปร ที่ตรงกันข้ามกันของตัวแปรในชุด X กับชุด Y จากคุณสมบัติเชิงสมมาตรของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ ดังนั้น R_{xy} จึงมีค่าเท่ากับ R_{yx} ที่สามารถสลับเปลี่ยนแทนกันได้ ดังนั้นจึงมีข้อมูลที่แตกต่างกันสอง ประเภทในสหสัมพันธ์ R ซึ่งมีรูปแบบของการพึ่งพาอาศัยกันภายในแต่ละชุด และรูปแบบของการมี สหสัมพันธ์ตรงข้ามกันใน 2 ชุด ดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงโครงสร้างของสหสัมพันธ์ R ถ้าค่าของ R_{xy} หรือ R_{yx} ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ บางตัวอย่างน้อยที่สุดปัญหาที่พบก็คือการกำหนด รูปแบบของสหสัมพันธ์ระหว่างสองชุดนี้ นั่นเอง



ภาพ 3 Partitioned Correlation Matrix for Canonical

การวิเคราะห์รูปแบบสหสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มนี้ สามารถทำให้สำเร็จได้โดยการแทนที่ตัวแปรเดิมในชุด X และชุด Y ด้วยคู่ของตัวแปรเดิมที่รวมกันในลักษณะเส้นตรง (Pairs of Linear Combination of Original Variable) การรวมกันของตัวแปรในลักษณะเส้นตรงนี้เรียกว่าน้ำหนักรวมของตัวแปรเหล่านั้น (Weighted sum of those variable) ดังนั้นเรามีกลุ่มของตัวแปร $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$ ขนาดของการรวมกันเชิงเส้น (Linear combinations) ของตัวแปรทั้งสองชุดนี้ จะกำหนดรูปได้เป็น $Z = a_1z_1 + a_2z_2 + \dots$ และสมการของ Z เมื่อลดรูปแล้วได้เป็น

$$Z = \sum_{i=1}^n a_i z_i$$

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล การรวมกันเชิงเส้น (Linear combinations) ของตัวแปรชุด X มีความคล้ายคลึงกับการรวมกันเชิงเส้น (Linear combinations) ของตัวแปรชุด Y ซึ่งเป็นการรวมกันเชิงเส้นที่มีจำนวนของตัวแปรที่เป็นไปได้ของแต่ละชุดเป็นอนันต์ (Infinity) และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในชุด X และชุด Y สามารถกำหนดได้เช่นเดียวกับสมการของ Z ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ของการรวมกันเชิงเส้น (Linear combinations) ของตัวแปรชุด X กับชุด Y มีค่าสหสัมพันธ์สูงสุด

โดยทั่วไปอาจเขียนโดยใช้สัญลักษณ์ U_i และ V_i สมมติว่า ตัวแปรชุดที่หนึ่งที่น่าสนใจ วิเคราะห์ คาโนนิคอลลได้แก่ $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_p)$ และตัวแปรชุดที่สอง ได้แก่ $(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_q)$ ในกรณีนี้ตัวแปรคาโนนิคอลของชุดตัวแปรแรก ปรากฏตามสมการดังนี้

$$U_1 = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_pX_p$$

ตัวแปรคาโนนิคอลของชุดตัวแปรที่สองปรากฏตามสมการดังนี้

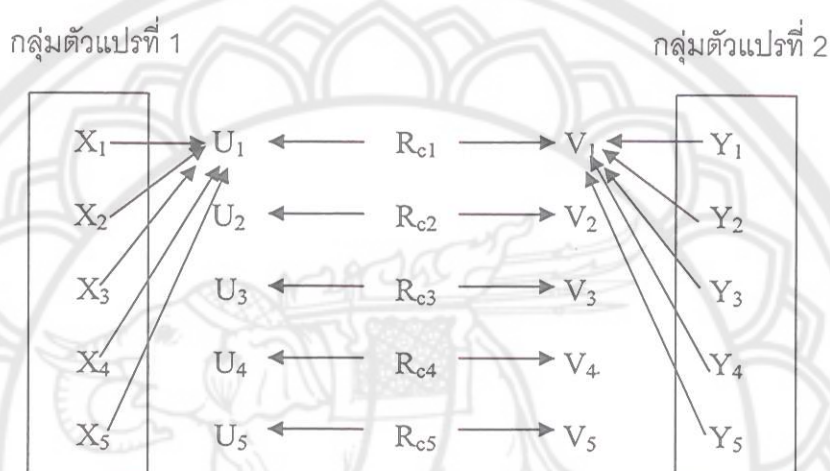
$$V_1 = b_1Y_1 + b_2Y_2 + b_3Y_3 + \dots + b_qY_q$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน a_i และ b_i เป็นไปในลักษณะที่จะทำให้ ตัวแปรคาโนนิคอล U_i มีความสัมพันธ์สูงสุดกับตัวแปรคาโนนิคอล V_i ดังนั้นตัวแปรคาโนนิคอล ที่ถูกกำหนดขึ้นจากตัวแปรชุดหนึ่งจึงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวแปรอีกชุดหนึ่ง รวมทั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างชุดตัวแปรทั้งสอง กล่าวได้ว่าตัวแปรคาโนนิคอลที่กำหนดขึ้นจากตัวแปรชุดหนึ่ง มีค่าเปลี่ยนแปลงไปถ้ามีการเพิ่มหรือลดจำนวนตัวแปรในอีกชุดหนึ่ง

สหสัมพันธ์แบบธรรมดา (Simple Correlation) ที่มีขนาดค่าสูงสุดระหว่าง U_i และ V_i คือ สหสัมพันธ์คาโนนิคอลตัวแรก R_{c1} อีกนัยหนึ่ง R_{c1} ก็คือ ตัวประมาณค่าของความแปรปรวนที่ร่วมกัน ระหว่างตัวประมาณค่าของความแปรปรวนที่ทับซ้อนระหว่างชุดของตัวแปรทั้งสองชุดนั้น กล่าวได้ว่า เมื่อสามารถคำนวณหาค่า R_{c1} ได้แล้ว การคำนวณหาค่า R_{c2} R_{c3} และค่า R_c อื่นๆ ก็ทำได้ในทำนองเดียวกัน เพราะ R_{c2} ก็คือตัวประมาณค่าของ ความแปรปรวนที่ร่วมกันระหว่าง U_2 และ V_2 ในขณะที่ R_{c3} ก็คือตัวประมาณค่าของความแปรปรวนที่ร่วมกันระหว่าง U_3 และ V_3 อย่างไรก็ตาม R_{c2} , R_{c3} และค่า R_c อื่นๆ ย่อมอยู่ภายใต้ข้อจำกัดที่ว่าตัวแปรคาโนนิคอลคู่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ตัวแปรคาโนนิคอลคู่แรกต้องไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรคาโนนิคอลที่กล่าวถึงก่อน

ตัวอย่างเช่น ในกรณี R_{c2} ตัวแปรคาโนนิคอล U_2 และ V_2 ต้องไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรคาโนนิคอล U_1 และ V_1 และในกรณี R_{c3} ตัวแปรคาโนนิคอล U_3 และ V_3 ต้องไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรคาโนนิคอลคู่แรก (U_1 และ V_1) และกับตัวแปรคาโนนิคอลคู่ที่สอง (U_2 และ V_2) เป็นต้น ถ้าไม่มีการกำหนดข้อตกลงนี้ก็อาจเป็นไปได้ที่พบค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอลไม่จำกัดจำนวนที่อาจมีขนาดค่าสูงเท่ากับสหสัมพันธ์คาโนนิคอลของตัวแปรแรก จากการกำหนดข้อจำกัดดังกล่าว R_{c1} จึงมีขนาดค่าสูงกว่า R_{c2} และ R_{c2} จึงมีขนาดค่าสูงกว่า R_{c3} ตามลำดับ

ตามปกติจำนวนค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอลสามารถพิจารณาได้จากจำนวนตัวแปรในชุดที่มีขนาดเล็กกว่า กล่าวคือ ถ้าการวิเคราะห์คาโนนิคอลประกอบด้วย ชุดตัวแปรอิสระ 5 ตัวแปร และชุดตัวแปรตามจำนวน 4 ตัวแปร การวิเคราะห์นี้สามารถคำนวณหา R_c ได้ 4 ค่า และถ้าชุดตัวแปรอิสระและชุดตัวแปรตามมีจำนวนตัวแปรเท่ากัน คือ ชุดละ 5 ตัวแปร การคำนวณย่อมได้ค่าสหสัมพันธ์ คาโนนิคอลจำนวน 5 ค่า ดังปรากฏตามภาพประกอบ 4



ภาพที่ 4 ความเกี่ยวข้องระหว่างชุดตัวแปร ตัวแปรคาโนนิคอล และค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอล

ที่มา: ประชัย เปี่ยมสมบูรณ์, 2535, หน้า 39

ผู้ใช้สหสัมพันธ์คาโนนิคอลต้องเห็นจริงว่าสัมประสิทธิ์ที่ได้กำหนดขึ้นคือ a และ b เป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้กับตัวแปรเดิม X และ Y ในรูปของคะแนนดิบ นั่นคือตัวแปร X และ Y ต้องแปลงเป็นรูปคะแนนมาตรฐาน (Z-Score) ซึ่งคะแนนนี้เป็นน้ำหนักมาตรฐานซึ่งแสดงอยู่ในทิศทางที่ไม่ขึ้นอยู่กับการวัด และสามารถพิจารณาเพื่อแสดงถึงการเกี่ยวข้องโดยตรงต่อตัวแปรมาตรฐาน แต่ละตัวที่มีต่อความแปรปรวนรวมของคะแนนประกอบ (Composite Scores) การนำสัมประสิทธิ์ไปใช้กับตัวแปรมาตรฐาน X และ Y ทำให้เกิดคะแนนของตัวแปรคาโนนิคอล ตัวแปรคาโนนิคอลเหล่านี้ มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเหล่านั้นจึงขึ้นอยู่กับวิธีเฉพาะที่มีอยู่ในอัลกอริทึม (Computational Algorithm) ซึ่งกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ u_i และ v_i ดังนี้

$$Z_x = u_1X_1 + u_2X_2 + \dots + u_pX_p$$

$$Z_y = v_1X_1 + v_2Y_2 + \dots + v_qY_q$$

การคำนวณสหสัมพันธ์คาโนนิคอล

สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์ (2537, หน้า 390-406) อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลที่จะใช้วิเคราะห์คาโนนิคอลจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

ตาราง 3 การวิเคราะห์คาโนนิคอล

คนที่	ชุดตัวแปรอิสระ	ชุดตัวแปรตาม
1	$X_{11} X_{12} \dots X_{1p}$	$Y_{11} Y_{12} \dots Y_{1q}$
2	$X_{21} X_{22} \dots X_{2p}$	$Y_{21} Y_{22} \dots Y_{2q}$
3	$X_{31} X_{32} \dots X_{3p}$	$Y_{31} Y_{32} \dots Y_{3q}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
N	$X_{N1} X_{N2} \dots X_{Np}$	$Y_{N1} Y_{N2} \dots Y_{Nq}$

หมายเหตุ: เมื่อ N = จำนวนหน่วยตัวอย่าง

p = จำนวนตัวแปรอิสระ

q = จำนวนตัวแปรตาม

ตัวเลขสองตัวที่ห้อย X และ Y นั้น ตัวแรกแทนสมาชิกคนที่ ตัวหลังแทนจำนวนตัวแปรตัวที่ของแต่ละกลุ่มตัวนั้น X_{12} แทนคะแนนคนที่หนึ่งในตัวแปรอิสระตัวที่สอง จากเมตริกซ์ข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่ายโดยจับคู่ระหว่างตัวแปรทุกตัวเป็นคู่ๆ ไปแล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดมาจัดเป็นรูปเมตริกซ์ โดยแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

X						Y							
	1	2	.	.	.	p		1	2	.	.	.	q
1													
2													
X .						R_{xx}							R_{xy}
.													
.													
p													
1													
2													
Y .						R_{yx}							R_{yy}
.													
.													
q													

เมื่อ p แทน จำนวนตัวแปรอิสระ

q แทน จำนวนตัวแปรตาม

การคำนวณอาจใช้ข้อมูลในรูปของเมตริกซ์ของค่าสหสัมพันธ์คือ R_{xx} เป็นเมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ R_{yy} เป็นเมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และ R_{xy} กับ R_{yx} เป็นเมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับตัวแปร Y

กำหนดส่วนย่อยของเมตริกซ์ X กับ Y ให้อยู่ในรูปของซูปเปอร์เมตริกซ์ ดังนี้

$$R = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} \\ R_{yx} & R_{yy} \end{bmatrix}$$

เมื่อ R แทน ซูปเปอร์เมตริกซ์ระหว่างสหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

R_{xx} แทน เมตริกซ์สหสัมพันธ์ของชุดตัวแปรอิสระ X_p

R_{yy} แทน เมตริกซ์สหสัมพันธ์ของชุดตัวแปรตาม Y_q

R_{xy} แทน เมตริกซ์สหสัมพันธ์ของชุดตัวแปรอิสระ X_p กับชุดของตัวแปรตาม Y_q

R_{yx} แทน ทรานสโพสของ R_{xy}

จากนั้นหาค่าเมตริกซ์ของ R_{yy}^{-1} , R_{yx} , R_{xx}^{-1} , R_{xy} แล้วนำไปสร้างสมการดีเทอร์มิแนนท์ ดังนี้แทน

$$\begin{vmatrix} R_{yy}^{-1} R_{yx} R_{xx}^{-1} R_{xy} - \lambda I \end{vmatrix} = 0$$

เมื่อ R_{yy}^{-1} แทน อินเวอร์สเมตริกซ์ (Inverse Matrix) ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
ระหว่างกันของชุดตัวแปรตาม

R_{yx} แทน เมตริกซ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) แต่ละตัว
กับตัวแปรอิสระ (X) แต่ละตัว

R_{xx}^{-1} แทน อินเวอร์สเมตริกซ์ (Inverse Matrix) ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
ระหว่างกันของชุดตัวแปรอิสระ

R_{xy} แทน เมตริกซ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (X) แต่ละตัว
กับตัวแปรอิสระ (Y) แต่ละตัว

λ แทน ไอเกนแวลูส์ (Eigenvalue) หรือความแปรปรวนของสหสัมพันธ์
คาโนนิคอล

I แทน ไอเอนดิติเมตริกซ์ (Identity Matrix)

จากสมการดีเทอร์มิแนนท์ได้สมการ Quadratic คือ

$$a\lambda^2 - b\lambda + e = 0$$

คำนวณหาค่า λ จากสูตร

$$\lambda = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

หาค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอล (R_c) โดยการถอดรากที่สองของ λ จากสูตร

$$R_c = \sqrt{\lambda}$$

λ แทน ความแปรปรวนที่ซ้อนทับกันของตัวแปรทั้งสองชุด และมีค่าเท่ากับ
กำลังสองของสหสัมพันธ์คาโนนิคอล

R_c แทน สหสัมพันธ์คาโนนิคอล

การทดสอบนัยสำคัญของ R_c

การทดสอบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างสหสัมพันธ์คาโนนิกอล โดยเป็นการทดสอบ R_{cj} ทุกค่าไปพร้อมๆ กัน นั่นคือ

$$H_0: R_{c1} = R_{c2} = \dots = R_{cj} = 0$$

H_1 : มี R_{cj} อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีค่าไม่เท่ากับ ศูนย์

การทดสอบนัยสำคัญของสหสัมพันธ์คาโนนิกอล ทำได้โดยการแจกแจงแบบไคสแควร์ ตามวิธีของ Bartlett โดยใช้สูตรดังนี้

$$\chi^2 = -\left[N - 1 - \frac{1}{2}(p + q + 1) \right] \ln \Lambda, \text{ df} = pq$$

เมื่อ χ^2 แทน ค่าสถิติที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบไคสแควร์

N แทน จำนวนสมาชิกในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

P แทน จำนวนตัวแปรอิสระ X

Q แทน จำนวนตัวแปรตาม Y

$\ln$ แทน ลอการิทึมฐาน e (Natural Logarithm)

Λ แทน Wilks' Lambda โดยคำนวณจากสูตร $(1 - R_{c2}^2) \dots (1 - R_{cj}^2)$

เมื่อทดสอบแล้วพบว่า ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่า อย่างน้อย $R_{cj} \neq 0$ อันดับต่อมา คำนวณ Λ' ใช้สูตรเดิม โดยตัดเทอม $(1 - R_{c1}^2)$ ออกไป จะได้ว่า

$$\Lambda' = (1 - R_{c1}^2) \text{ โดยค่า } \text{df} = (p-1)(q-1)$$

หากมี R_c มากกว่า 2 ค่า คำนวณ Λ' ที่ $\text{df} = (p-1)(q-1)$ และทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ต่อไป จนกระทั่งพบ R_c ที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสิ้นสุดการทดสอบสมมติฐาน

การคำนวณหาค่า β_j ของตัวแปร Y

$$\beta_i = \frac{1}{\sqrt{V_j^1 R_{yy} V_j}} V_j$$

เมื่อ β_j แทน ค่าน้ำหนักความสำคัญคาโนนิกอลของชุดที่ (Function j)

V_j แทน เวกเตอร์ที่ j

V_j^1 แทน ทรานสโพสของ V_j

หาค่า V_j โดยแก้สมการต่อไปนี้

$$(R_{yy}^{-1} R_{yx} R_{xx}^{-1} R_{xy} - \lambda I) V_j = 0$$

การคำนวณหาค่า β_j ของตัวแปร X ได้จากสมการดิเทอร์มิแนนท์

$$A = R_{xx} R_{xy} B D^{-1/2}$$

เมื่อ A แทน เมตริกซ์ของน้ำหนักความสำคัญคานอนิคอลของตัวแปร X

ในแต่ละชุด

B แทน เมตริกซ์ของน้ำหนักความสำคัญคานอนิคอลของตัวแปร Y

$D^{-1/2}$ แทน diagonal matrix ที่มีสมาชิกเป็นส่วนกลับของรากที่ 2 ของ λ

R_{xx} แทน เมตริกซ์ของสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ X

R_{xy} แทน เมตริกซ์ของสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ X กับตัวแปรตาม Y

การตีความสัมประสิทธิ์คานอนิคอล คล้ายกับการตีความค่า β ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

สำราญ มีแจ้ง (2544, หน้า 193-195) กล่าวว่า การแปลผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คานอนิคอลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คานอนิคอลนำไปสู่ชุดของสัมประสิทธิ์ และชุดของค่าน้ำหนักมาตรฐาน (Standardized Weights) บนตัวแปร X และ Y ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคอลแต่ละตัวอาจแปลความเช่นเดียวกับสหสัมพันธ์อื่น นอกจากนี้ ตามนิยามค่าสหสัมพันธ์คานอนิคอล (R_{c_j}) มีค่าเป็นบวก ซึ่งความจริงแล้วความสัมพันธ์ของ X และ Y มีค่าสหสัมพันธ์ได้ทั้งบวกและลบ ส่วน $R_{c_j}^2$ หรือค่าไอเกน (Eigen Values) คือ ค่าส่วนแสดงสัดส่วนของความแปรปรวนของ Z_{x_j} ที่อธิบาย Z_{y_j}

ชุดของตัวน้ำหนัก U_j และ V_j ตามค่าสหสัมพันธ์คานอนิคอลลำดับที่ j อาจแสดงค่าได้เช่นเดียวกับ สัมประสิทธิ์ของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ขนาดของความสัมพันธ์ชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวในชุดนั้นเมื่อเทียบกับตัวแปรในอีกชุดหนึ่ง ตัวแปรหนึ่งๆ มีค่าน้ำหนัก (Loading) เป็นพื้นฐานหรือตัวชี้ในการอธิบายตัวแปรคานอนิคอล ถ้ามีเครื่องหมายเหมือนกันแสดงว่ามีความสัมพันธ์ทางบวก และถ้ามีเครื่องหมายตรงกันข้ามกันแสดงว่ามีความสัมพันธ์ทางลบ

ค่าสหสัมพันธ์คานอนิคอลแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงสุด ระหว่างชุดของตัวแปรตามร่วมกัน และชุดของตัวแปรอิสระร่วมกัน ส่วนสัมประสิทธิ์คานอนิคอลเป็นน้ำหนัก (Loading) ที่แสดงถึงความสำคัญของตัวแปรนั้น ที่มีส่วนช่วยให้ได้ความสัมพันธ์สูงสุดดังกล่าว ดังนั้นในการพิจารณา ว่าตัวแปรในชุดตัวแปรอิสระกับชุดตัวแปรตามตัวใดบ้างสัมพันธ์กันพิจารณาจากขนาดและเครื่องหมายสัมประสิทธิ์คานอนิคอลของตัวแปรเหล่านั้น ตัวแปรใด

ที่มีสัมประสิทธิ์คาโนนิคอลสูงและมีเครื่องหมายอย่างเดียวกัน ตัวแปรเหล่านั้นมีความสัมพันธ์ทางบวกซึ่งกันและกัน แต่ถ้ามีเครื่องหมายต่างกันเป็นความสัมพันธ์ทางลบซึ่งกันและกัน

ค่าไอเกน (Eigen Values) คือ กำลังสองของค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอล เป็นค่าที่แสดงถึงความแปรปรวนที่ร่วมกันของตัวแปรทั้งสองชุด นั่นคือเป็นสัดส่วนแสดงความสัมพันธ์สูงสุดระหว่างตัวแปรทั้งสองชุด หรือเป็นอิทธิพลสูงสุดที่ตัวแปรในชุดหนึ่งส่งผลต่อตัวแปรอีกชุดหนึ่ง

สำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์คาโนนิคอลนี้ สามารถวิเคราะห์หาค่าสัดส่วนของน้ำหนักตัวแปรทั้งหมดที่ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองชุดนั้นเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีค่าสูงสุด ดังนั้น ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอลตัวแรกจึงเป็นค่าสูงที่สุดอันเกิดจากสัดส่วนของน้ำหนักของตัวแปรแต่ละตัว ดังปรากฏในสัมประสิทธิ์คาโนนิคอลชุดแรก ส่วนชุดที่สองในส่วนที่เหลือเป็นเชิงเส้นตรงที่มีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นอิสระจากชุดแรกตามลำดับ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จำเริญ พรหมยะกลาง (2551) ได้ทำวิจัย เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยบางประการกับจิตลักษณะของครู สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเชียงราย เขต 2 ด้วยการวิเคราะห์แบบสหสัมพันธ์คาโนนิคอล มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านผู้บริหาร ปัจจัยด้านเพื่อนร่วมงาน ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมกับจิตลักษณะของครู และศึกษาน้ำหนักความสำคัญคาโนนิคอลของปัจจัยที่สัมพันธ์กับจิตลักษณะของครู กลุ่มตัวอย่าง คือ ครูที่ปฏิบัติการสอนในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเชียงราย เขต 2 จำนวน 389 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ผลการวิจัยพบว่า

1. ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอล ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านผู้บริหาร ปัจจัยด้านเพื่อนร่วมงาน ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม กับชุดตัวแปรจิตลักษณะความภาคภูมิใจในตนเอง การควบคุมตนเอง มโนภาพแห่งตนเอง และแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มีค่าเท่ากับ 0.514, 0.092, 0.032, และ 0.007 ตามลำดับ ซึ่งชุดตัวแปรแรกมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ส่วนตัวแปรชุดที่ 2 ชุดที่ 3 ชุดที่ 4 มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2. ค่าน้ำหนักความสำคัญคาโนนิคอลระหว่างปัจจัยบางประการกับลักษณะของครูชุดแรก พบว่า ความสัมพันธ์เกิดจากตัวแปรตัวแปรด้านปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านเพื่อนร่วมงาน และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม กับตัวแปรจิตลักษณะด้านความภาคภูมิใจในตนเอง มโนภาพแห่งตนเอง และแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์มีความสัมพันธ์กัน

ไพโรจน์ ศิริบูรณ์พัฒนา (2551) ได้ทำวิจัย เรื่อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจิตวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 เขตพื้นที่การศึกษาอุบลราชธานี เขต 4 มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรด้านปัจจัยภายนอก และตัวแปรปัจจัยภายใน กับจิตวิทยาศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรพยากรณ์ที่ดีของจิตวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาช่วงชั้นที่ 4 และเพื่อสร้างสมการพยากรณ์จิตวิทยาศาสตร์ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนมัธยมศึกษาช่วงชั้นที่ 4 ในเขตพื้นที่การศึกษาอุบลราชธานี เขต 4 ปีการศึกษา 2550 จำนวน 402 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยแบบวัด จำนวน 1 ฉบับ 7 ตอน มีลักษณะเป็นแบบมาตราการประเมิน 6 ระดับ ผลการวิจัย พบว่า

1. ตัวแปรพยากรณ์ด้านปัจจัยภายนอก ได้แก่ การรับรู้สภาพแวดล้อมทางการเรียน การได้รับการสนับสนุนจากคนรอบด้าน และตัวแปรพยากรณ์ด้านปัจจัยภายใน ได้แก่ เจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ และค่านิยมทางวิทยาศาสตร์ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับจิตวิทยาศาสตร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ตัวแปรพยากรณ์ที่ดีของจิตวิทยาศาสตร์ มีทั้งหมด 3 ตัวแปรเรียงตามลำดับ ดังนี้ แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ (X_5) การได้รับการสนับสนุนจากคนรอบด้าน (X_2) และเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ (X_3) ซึ่งตัวแปรพยากรณ์ชุดนี้สามารถพยากรณ์จิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ร้อยละ 41

3. สมการพยากรณ์จิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในรูปคะแนนดิบและคะแนนมาตรฐาน มีดังนี้สมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ $Y' = 88.79 + 1.65X_5 + 0.83X_2 + 0.37X_3$ สมการพยากรณ์ในรูปคะแนนมาตรฐาน $Z' = 0.58Z_5 + 0.31Z_2 + 0.13Z_3$

พิศมัย พานโฮม (2551) ได้ทำวิจัย เรื่อง ผลการใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ เน้นผังรูปตัววีที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้วิธีการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้เน้นผังรูปตัววี กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2549 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดสกลนคร จำนวน 48 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนจัดการเรียนรู้จำนวน 10 แผน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัย พบว่า

1. นักเรียนที่เรียนโดยใช้วิธีการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้เน้นผังรูปตัววี มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2. นักเรียนที่เรียนโดยใช้วิธีการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้เน้นผังรูปตัววี มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ปรีชาธิ เบ็ญวรรณ (2551) ได้ทำวิจัย เรื่อง ปัจจัยเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อจิตวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษากทม.เขต 2 มีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลการวัดกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เพื่อศึกษารูปแบบ ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยที่ส่งผลต่อจิตวิทยาศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนช่วงชั้นที่ 4 แผนการเรียนวิทย์-คณิต ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2550 จำนวน 1,081 คน จากโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษากทม.เขต 2 เครื่องมือในการ เก็บรวบรวมข้อมูล เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) จำนวน 5 ฉบับ และแบบบันทึกจำนวน 1 ฉบับ รวม 6 ฉบับ ประกอบด้วย แบบสอบถาม จิตวิทยาศาสตร์ แบบสอบถามมโนภาพแห่งตนด้านวิทยาศาสตร์ แบบสอบถามแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ ทางวิทยาศาสตร์ แบบสอบถามสภาพแวดล้อมทางการศึกษา แบบสอบถามสภาพแวดล้อมภายใน ครอบครัว และแบบบันทึกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์ องค์ประกอบเชิงยืนยันและวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ ผลการวิจัยพบว่า

1. โมเดลการวัดตัวแปรแฝงทั้ง 5 โมเดล มีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิง ประจักษ์ทุกโมเดล และมีค่าอำนาจความสำคัญ (λ) ของตัวแปรสังเกตได้เป็นบวก มีค่าอยู่ ระหว่าง 0.36 - 0.98 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ทุกค่า

2. โมเดลโครงสร้างปัจจัยที่ส่งผลต่อจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 แผน การเรียน วิทย์-คณิต มีความสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ในระดับดี โดยมีค่าสถิติ ไคสแควร์ เท่ากับ 406.994 และมีนัยสำคัญทางสถิติ อัตราส่วนระหว่างค่าสถิติไคสแควร์กับจำนวน องศาอิสระ (χ^2/df)=2.609 GFI=0.968 AGFI=0.944 RMSEA=0.039 SRMR=0.029 และ ค่า CN= 547.181 ตัวแปรแฝงจิตวิทยาศาสตร์ ได้รับอิทธิพลรวมสูงสุดจากตัวแปรแฝงมโนภาพ แห่งตนด้านวิทยาศาสตร์ (0.906) รองลงมาคือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ (0.746) สภาพแวดล้อมทางการศึกษา (0.526) แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ (0.388) และสภาพ แวดล้อมภายในครอบครัว (0.264) โดยได้รับอิทธิพลทางตรงจากผลสัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์ เท่านั้น ตัวแปรเชิงสาเหตุทั้ง 5 ตัวแปร ร่วมอธิบายความแปรปรวนของจิตวิทยาศาสตร์ได้ประมาณ ร้อยละ 56

สุนีย์ คล้ายนิล และคณะ (2550, หน้า 21) สรุปภูมิหลังผลการประเมินผลการรู้ วิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทย ซึ่งจากผลการประเมิน PISA 2006 พบว่า PISA 2006 เน้นความสำคัญการประเมินการรู้ วิทยาศาสตร์ว่านักเรียนได้รับความรู้ และทักษะทางวิทยาศาสตร์สำหรับชีวิตจริงเพียงพอหรือไม่ กรอบการประเมินประกอบด้วย สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ ความรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งมีทั้งความรู้ เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ และความรู้วิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ ยังประเมินเจตคติต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ และความตระหนักถึงโอกาสที่โรงเรียนและสิ่งแวดล้อม สามารถหยิบยื่นวิทยาศาสตร์ให้อีกด้วย ทั้งนี้วิทยาศาสตร์ มีน้ำหนักของการประเมินเป็น 60% และการอ่านและคณิตศาสตร์มีน้ำหนักอย่างละ 20% ของการประเมิน เจตคติต่อวิทยาศาสตร์เป็นส่วน หนึ่งของการรู้เรื่องทางวิทยาศาสตร์ PISA 2006 สำรวจเจตคติโดยเก็บข้อมูลเจตคติหลายอย่าง เช่น ความสนใจทั่วไป การให้คุณค่า ความรู้สึกสนุกในการทำงานวิทยาศาสตร์การมองเห็น ความสามารถ ความเชื่อตัวเอง และแรงจูงใจในการเรียนและการมองอนาคตของตนเองที่เกี่ยวกับ วิทยาศาสตร์ ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้สามารถบอกเจตคติต่อ วิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ ความสนใจและเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ กับการรู้วิทยาศาสตร์ ไม่มี ความสัมพันธ์กันในเชิงบวก นักเรียนกลุ่มคะแนนต่ำแสดงความสนใจและเจตคติสูง แต่นักเรียน กลุ่มคะแนนสูงกลับแสดงความสนใจน้อยกว่าและแสดงเจตคติที่ดีน้อยกว่า ดังนั้น การที่นักเรียน ที่สนใจหรือมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์แล้วจะเรียนได้ดีนั้นเป็นเพียงสมมติฐานที่ไม่ได้พิสูจน์ เท่านั้น และทำให่วงการศึกษาเสียเวลาไปกับการสร้างความสนใจโดยละเลยคุณสมบัติของผู้เรียน ตรงกันข้ามนักเรียนที่แม้ไม่สนใจ แต่มีความรู้ลึกทำหายที่จะเอาชนะความเบื่อ ความยาก จึงสามารถทำคะแนนได้ดี

ทวิชัย สุธาภา (2549) ได้ทำวิจัย เรื่อง การพัฒนาแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ สำหรับ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544 มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เพื่อหา คุณภาพของแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 และเพื่อสร้าง เกณฑ์ปกติของแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จากนักเรียนในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา อุบลราชธานี เขต 3 จำนวน 731 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ผลการวิจัยพบว่า

1. ได้แบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ตามหลักสูตร การศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544 จำนวน 58 ข้อ จำแนกออกเป็น 8 ด้าน คือ ด้านความสนใจ ใฝ่รู้ ด้านความมีเหตุผล ด้านความมีระเบียบและรอบคอบ ด้านความซื่อสัตย์ ด้านความประหยัด ด้านความใจกว้าง ด้านความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น

2. แบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ มีการหาคุณภาพทั้งรายข้อ คือ ค่าอำนาจจำแนก และ หาคุณภาพทั้งฉบับ คือ ค่าความเที่ยง

3. เกณฑ์ปกติของคะแนนจิตวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีช่วงคะแนน T ระหว่าง T_{24} ถึง T_{78}

อรอุมา กาญจนี (2549) ได้ทำวิจัย เรื่อง การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและ จิตวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทาง PDCA และแบบสืบเสาะหาความรู้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและ จิตวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทาง PDCA และแบบสืบเสาะหาความรู้ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียน สาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(ฝ่ายมัธยม) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 จำนวน 60 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และ แบบสอบถามจิตวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมแบบ PDCA และแบบสืบเสาะหาความรู้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. จิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมแบบ PDCA และแบบสืบเสาะหา ความรู้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จุลพงษ์ กลิ่นหอม (2549) ได้ทำวิจัย เรื่อง การสร้างแบบวัดเจตคติของนักเรียนระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มโรงเรียนในเครือมูลนิธิเซนต์คาเบรียลแห่งประเทศไทย เขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างแบบวัดเจตคติของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มโรงเรียนในเครือมูลนิธิเซนต์คาเบรียลแห่งประเทศไทย เขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 กลุ่มโรงเรียนใน เครือมูลนิธิเซนต์คาเบรียลแห่งประเทศไทย เขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล จำนวน 1,410 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ จำนวน 2 ฉบับ ผลการวิจัย พบว่า

1. ค่าความเที่ยงตรงของแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ มีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.60-1.00 และความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์หลายคุณลักษณะหลายวิธี มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง .464-.689 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความเที่ยงตรงเชิงจำแนกมีค่าอยู่ระหว่าง .184-.563 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความเที่ยงตรงเชิงเหมือน

2. แบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ฉบับมาตราส่วนประมาณค่ามีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง -0.283 ถึง 7.410 และฉบับสถานการณ์มีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง -1.213 ถึง 5.996

3. ความเชื่อมั่นของแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ฉบับมาตราส่วนประมาณค่า หาโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา ในแต่ละด้านมีค่าอยู่ระหว่าง .625-.859 และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับมีค่า .928 ฉบับสถานการณ์ หาโดยใช้สูตรครุเดอร์ริชาร์ดสัน (KR_{20}) ในแต่ละด้านมีค่าอยู่ระหว่าง .630-.820 และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับมีค่า .920

4. เกณฑ์ปกติของแบบวัดจิตวิทยาศาสตร์ฉบับมาตราส่วนประมาณค่ามีคะแนนที่ปกติอยู่ระหว่าง T_{10} ถึง T_{90} ครอบคลุมคะแนนดิบตั้งแต่ 90-450 คะแนน แบบวัดฉบับสถานการณ์มีคะแนนที่ปกติอยู่ระหว่าง T_{10} ถึง T_{90} ครอบคลุมคะแนนดิบตั้งแต่ 1-90 คะแนน

ธีรรัตน์ ไตรเดช (2549) ได้ทำวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัลระหว่างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการกับปัจจัยการคิดอย่างมีวิจารณญาณ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์คาโนนิคัลระหว่างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ส่งผลต่อการคิดอย่างมีวิจารณญาณ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546 ในสังกัดกรมสามัญศึกษาจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 1,201 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบทดสอบการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ผลการวิจัย พบว่า

1. ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคัลระหว่างฟังก์ชันตัวแปรอิสระด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ได้แก่ ทักษะการตั้งสมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร การนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป กับฟังก์ชันตัวแปรตามการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ได้แก่ ความสามารถในการอ้างอิงหรือสรุปความ การตระหนักในข้อตกลงเบื้องต้น การนิรนัย การตีความ การประเมินข้ออ้างอิงหรือข้อโต้แย้ง มีค่าเท่ากับ .215, .143, .115, .083, และ .042 ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001, .001, .01 และ .05 ตามลำดับส่วนฟังก์ชันที่หาความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2. คำนวณน้ำหนักความสำคัญคาโนนิกอลระหว่าง ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ กับการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ที่อยู่ในระดับที่ส่งผลซึ่งกันและกัน (มากกว่า.30) มีสี่ฟังก์ชัน ฟังก์ชันแรกตัวแปรอิสระที่ส่งผลมากตามลำดับ คือ การตั้งสมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร การทดลองกลุ่มตัวแปรตามที่ส่งผลมากตามลำดับคือ การอ้างอิงหรือสรุปความนิรนัย และการประเมินข้ออ้างหรือข้อโต้แย้งในฟังก์ชันที่สองตัวแปรอิสระที่ส่งผลมากตามลำดับคือ ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ทักษะการตั้งสมมติฐาน และทักษะการทดลองกลุ่มตัวแปรตามที่ส่งผลมาก คือ การตระหนักในข้อตกลงเบื้องต้นและการประเมินข้ออ้างอิง หรือข้อโต้แย้ง ในฟังก์ชันที่สามตัวแปรอิสระที่ส่งผลมาก ได้แก่ การประเมินข้ออ้างอิงหรือข้อโต้แย้ง ในฟังก์ชันสี่ตัวแปรอิสระที่ส่งผลมาก คือ การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป กลุ่มตัวแปรตาม ได้แก่ การตีความ

นวลจันทร์ เวชกามา (2547) ได้ทำวิจัย เรื่อง การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์วิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยกิจกรรมโครงงาน มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยกิจกรรมโครงงาน เพื่อเปรียบเทียบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนโดยโครงงานวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียน และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อวิชาชีววิทยา โดยกิจกรรมโครงงาน กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2546 โรงเรียนสตรีชัยภูมิ 2 สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาที่ 1 อำเภอมือง จังหวัดชัยภูมิ จำนวน 39 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนการสอนวิชาชีววิทยา จำนวน 12 แผน แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 30 ข้อ แบบฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 10 ชุด ผลการวิจัย พบว่า ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์วิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยกิจกรรมโครงงานมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 87.09 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 นักเรียนที่เรียนโดยกิจกรรมโครงงาน มีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงขึ้นกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

วรพงษ์ กาแก้ว (2547) ได้ทำวิจัย เรื่อง การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในอำเภอบพพระ จังหวัดตาก มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในอำเภอบพพระ จังหวัดตาก กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2547 ในอำเภอบพพระ จังหวัดตาก จำนวน 285 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า แบบทดสอบ

วัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีค่าความยาก 0.54 ค่าอำนาจจำแนก 0.47 ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ 0.92 และค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา 0.6 ขึ้นไป เมื่อนำแบบทดสอบมาวิเคราะห์องค์ประกอบ สามารถจำแนกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ 13 ทักษะ

เบญจมาศ ปทุมวัน (2546) ได้ทำวิจัย เรื่อง การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดกรมสามัญศึกษาจังหวัดยโสธร มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่มีคุณภาพสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนในสังกัดกรมสามัญศึกษาจังหวัดยโสธร กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2545 จำนวน 600 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัย พบว่า แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีค่าความยากอยู่ในช่วง 0.28-0.66 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.20-0.73 ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ 0.87 และค่าความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ มีค่าน้ำหนักอยู่ระหว่าง 0.44-0.73

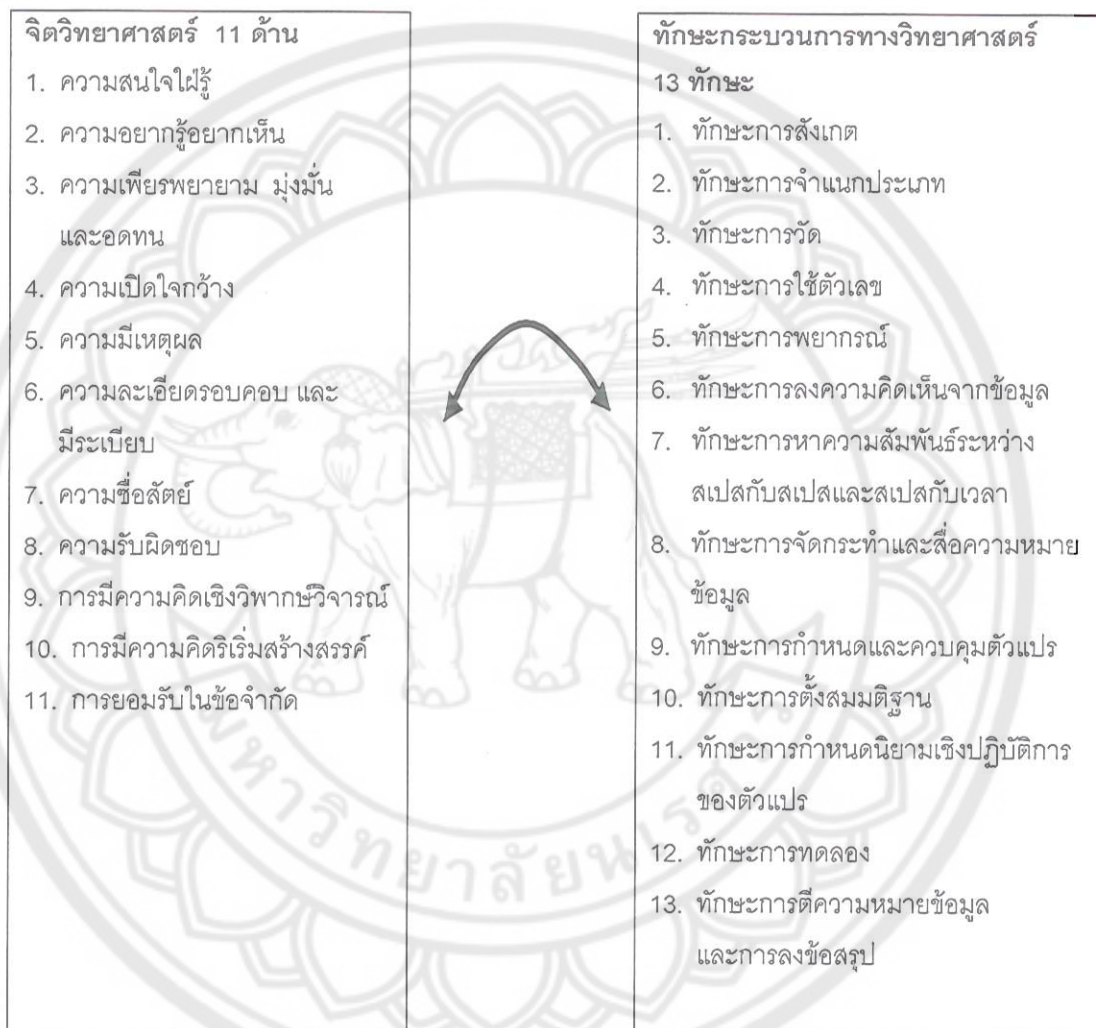
ธัญญาวดี ปินะกาโน (2546) ได้ทำวิจัย เรื่อง การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการเรียนปฏิบัติการวิชาฟิสิกส์แบบปกติ มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบผลการเรียนของนักเรียนที่เรียนวิชาฟิสิกส์ในรูปแบบการเรียนปฏิบัติการต่างกัน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 53 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการโดยรวม และเป็นรายด้านไม่แตกต่างกัน

วรารมณี ทรัพย์รวงทอง (2542) ได้ทำวิจัย เรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางสมองกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในจังหวัดชัยนาท มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทางสมองกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโปรแกรมวิทย์-คณิต ของโรงเรียนในสังกัดกรมสามัญศึกษา ในจังหวัดชัยนาท จำนวน 358 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบทดสอบกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบความสามารถทางสมองด้านเหตุผล ผลการวิจัยพบว่า

1. ความสามารถทางสมองด้านเหตุผลทั้ง 7 ด้าน มีความสัมพันธ์กันทางบวกกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. น้ำหนักความสำคัญของความสามารถทางสมองด้านเหตุผล อย่างน้อย 1 ด้าน
ที่ส่งผลต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละทักษะและรวมทุกทักษะ

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 5 กรอบแนวคิดการวิจัย