ผลของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF SCIENCE INSTRUCTION USING KEY ELEMENTS OF ENGINEERING DESIGN AND GRAPHIC ORAGANIZERS TECHNIQUE ON ABILITY IN ANALYSING AND DOING SCIENCE PROJECTS OF SECONDARY SCHOOL STUDENTS

Mr. Chalermwoot Soopasook

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Education Program in Science Education
Department of Curriculum and Instruction
Faculty of Education
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา
โดย	นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข
สาขาวิชา	การศึกษาวิทยาศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพันธ์ เดชะคุปต์

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะครุศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิตา รักษ์พลเมือง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลิศรา ชูชาติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพันธ์ เดชะคุปต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ พเยาว์ ยินดีสุข)

เฉลิมวุฒิ ศุภสุข: ผลของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา. (EFFECTS OF SCIENCE INSTRUCTION USING KEY ELEMENTS OF ENGINEERING DESIGN AND GRAPHIC ORAGANIZERS TECHNIQUE ON ABILITY IN ANALYSING AND DOING SCIENCE PROJECTS OF SECONDARY SCHOOL STUDENTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.พิมพันธ์ เดชะคุปต์, 226 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก 2) ศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทของนักเรียนกลุ่มทดลอง และ 3) เปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทของนักเรียนมัธยมศึกษาก่อนและหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนนนทรีวิทยา จำนวน 23 คน โดยใช้วิธีเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ 1) แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิเท่ากับ 0.85 และค่าความสอดคล้องภายในเครื่องมือเท่ากับ 0.91 และ 2) แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ มีค่าความยากเฉลี่ยเท่ากับ 0.69 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 และค่าความเที่ยง KR-21 เท่ากับ 0.76 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที

หลังการทดลองผลของการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เท่ากับร้อยละ 81.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 70 และจัดอยู่ในเกณฑ์ความสามารถในระดับดีมาก

2. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนรวมความสามารถในการวิเคราะห์ร้อยละ 65.4 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 65 เมื่อพิจารณาแยกตามประเภทของการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท คือ 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบ 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ 3) การวิเคราะห์เชิงหลักการ พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเท่ากับร้อยละ 65.2, 65.7 และ 65.2 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกประเภท

3. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท คือ 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบ 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ 3) การวิเคราะห์เชิงหลักการ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภาควิชา หลักสูตรและการสอน ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา การศึกษาวิทยาศาสตร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2555

##5283325227: MAJOR SCIENCE EDUCATION
KEYWORDS: KEY ELEMENTS OF ENGINEERING DESIGN / GRAPHIC ORGANIZERS TECHNIQUE / ABILITY IN ANALYSING / SCIENCE PROJECTS

CHALERMWOOT SOOPASOOK: EFFECTS OF SCIENCE INSTRUCTION USING KEY ELEMENTS OF ENGINEERING DESIGN AND GRAPHIC ORAGANIZERS TECHNIQUE ON ABILITY IN ANALYSING AND DOING SCIENCE PROJECTS OF SECONDARY SCHOOL STUDENTS. ADVISOR: ASSOC. PROF. PIMPAN DACHAKUPT, Ph.D., 226 pp.

This study was a quasi-experimental research. The purposes were to (1) study ability in doing science projects, (2) study ability in analysing and its three components of secondary students after learning through the science instruction using key elements of engineering and graphic organizers technique, and (3) compare ability in analysing and its three components between before and after learning through the science instruction using key elements of engineering and graphic organizers technique. The sample was one classroom with 23 students of grade eleven of Nonsi Withaya School in second semester of academic year 2011, which selected by purposively sampling. The research instruments were 1) the form for evaluating doing science projects with IOC at 0.85 and inter-rater reliability at 0.91 and 2) the test on analysing ability with the reliability at 0.76, the mean item of difficulty was at 0.69, and the mean of discrimination was at 0.45. The collected data were analyzed by arithmetic mean, mean of percentage, standard deviation, and t-test.

The research findings were summarized as follows:

1. The mean percentage score of ability in doing science projects of secondary school students was 81.67 percent, which was higher than the criterion score set at 70 percent, and rated as very good.

2. The mean percentage score of ability in analysing of secondary school students was 65.4 percent, which was higher than the criterion score set at 65 percent. Also, the mean percentage score of its three components were higher than the criterion score set at 65 percent as well.

3. The mean percentage score of the experimental group in post-test on ability in analysing was higher than the pre-test mean percentage score at .05 level of significant. However, its three components mean percentage score in post-test was not statistically higher than the pre-test mean percentage score at .05 level of significant.

Department: Curriculum and Instruction Student's Signature .....
Field of Study: Science Education Advisor's Signature .....
Academic Year: 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงด้วยดีเนื่องมาจากความเมตตากรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพันธ์ เดชะคุปต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ด้วยการอบรม สั่งสอน ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยและการทำงาน ตลอดจนให้โอกาสในการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ในการบรรยายงานประชุมวิชาการต่างๆ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อลิศรา ชูชาติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. พเยาว์ ยินดีสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. วัชราภรณ์ แก้วดี และอาจารย์คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์อันทรงคุณค่าตลอดระยะเวลาที่ศึกษา ณ สถาบันอันทรงเกียรติแห่งนี้ ตลอดจนได้ให้การอบรม สั่งสอน และชี้แนะแนวทางทำให้ผู้วิจัยได้พัฒนาตนเองทั้งความรู้และคุณธรรมจริยธรรม เพื่อให้เป็นครูที่ดีของแผ่นดิน ซึ่งผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความปรารถนาดีที่ได้รับ รวมถึงคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณอาจารย์เผ่า สุวรรณศักดิ์ศรี และ รศ.เพ็ญพรรณ ยังคง อนุสาสกหอพักนิสิตจุฬาฯ ที่ทำให้ผู้วิจัยมีประสบการณ์ชีวิตที่ดี ขอบคุณทุกกำลังใจและความช่วยเหลือจากผู้ปกครองหอพักนิสิตทั้งชายและหญิง เจ้าหน้าที่หอพักนิสิตทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนชาวซีมะโด่ง (RCU87) ทุกคน และที่สำคัญยิ่งขอบคุณเพื่อนๆ รหัส 52 สาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่มอบความทรงจำที่ดีและมีค่ายิ่งตลอดเวลาที่ได้ศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนนนทรีวิทยา ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ให้ความเป็นกันเอง ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนทำให้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาและน้ำใจที่ได้รับ และที่สำคัญที่สุดขอขอบคุณนักเรียนมัธยมศึกษา 5/3 ปีการศึกษา 2554 ทุกคนที่น่ารักและให้ความร่วมมือระหว่างการทำวิจัยเป็นอย่างดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดาที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอดด้วยคำกล่าวที่ว่า “จงอดและทนต่ออุปสรรคที่ขมขื่น แต่ผลของมันจะหวานชื่นและคุ้มค่าเสมอ” และน้องชายของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญแผนภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
คำถามการวิจัย 7
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 7
สมมติฐานของการวิจัย 7
ขอบเขตการวิจัย 9
ข้อตกลงเบื้องต้น 9
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 10
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
โครงงานวิทยาศาสตร์ 14
ความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์ 15
ประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ 18
ขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 20
กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอนโดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์ 25
ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 29
แนวทางการประเมินผลความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 32
การวิเคราะห์ 40
ความหมายของการวิเคราะห์ 42
ประเภทของการวิเคราะห์ 44
การจัดการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างการวิเคราะห์ 47
ความสามารถในการวิเคราะห์ 49
แนวทางการวัดความสามารถในการวิเคราะห์ 50

หน้า

บทที่

การออกแบบทางวิศวกรรม 50
ความหมายของการออกแบบทางวิศวกรรม 52
ขั้นตอนของการออกแบบทางวิศวกรรม 53
องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม 57
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางวิศวกรรม 62
ความสัมพันธ์ของการออกแบบทางวิศวกรรมกับโครงงานวิทยาศาสตร์ 66
แนวทางและคุณค่าของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลัก
ของการออกแบบทางวิศวกรรม 68
เทคนิคการใช้ผังกราฟิก 75
ความหมายของผังกราฟิก 77
ประเภทของผังกราฟิก 78
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก 81
ประโยชน์ของการใช้ผังกราฟิก 87
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 90
กรอบแนวคิดในการวิจัย 93
3 วิธีดำเนินการวิจัย 94
รูปแบบการวิจัย 94
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 95
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 96
การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล 110
การวิเคราะห์ข้อมูล 111
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 112
ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 112
ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวิเคราะห์ 113
5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ 116
สรุปผล 116
อภิปรายผล 117
ข้อเสนอแนะ 121
รายการอ้างอิง 124
ภาคผนวก 139
ภาคผนวก ก รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย 140
ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล 142
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 159

หน้า

บทที่

ภาคผนวก ง เครื่องมือกำกับพฤติกรรมการเรียนรู้ 207
ภาคผนวก จ คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล 217
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างภาพกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลัก
ของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก 225
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 226

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 กิจกรรมการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ในแต่ละสัปดาห์โดย ACC/United Learning 20
2 แบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF 33
3 แบบตรวจสอบรายการประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Simmons 34
4 แบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Science Buddies 34
5 แบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ปรับจาก Thang Tran 35
6 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF 36
7 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Simmons 37
8 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Science Buddies 37
9 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Elzinga, Salzer, and Willioughby 37
10 เกณฑ์การประเมินรายงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์ปรับจาก GRSEF 38
11 เกณฑ์การประเมินรายงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์ปรับจาก Simmons 39
12 วิเคราะห์กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม 56
13 รูปแบบการวิจัยแบบ One Group Pretest-Posttest Design 94
14 พฤติกรรมและจำนวนข้อสอบตามประเภทของการวิเคราะห์ 98
15 สาระและจำนวนคาบเรียนที่ใช้ในการเขียนแผนการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก 103
16 พฤติกรรมครู และพฤติกรรมนักเรียนในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก 104
17 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$) ของคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก 112
18 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$) ของคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก 114

หน้า

ตารางที่

19 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสถิติทดสอบที (t-test) ของคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาก่อนและหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก 114
20 เกณฑ์การประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 156
21 รายการประเมิน และหลักฐานที่ใช้ประเมินภาระงาน 212
22 เกณฑ์การประเมินการตรวจสอบส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ 215
23 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับการวิเคราะห์ในแต่ละประเภท 218
24 ค่าความยาก (p) แบะอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ 219
25 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 220
26 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รวม (r) ระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผู้วิจัยของแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 221
27 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ 222
28 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ 222

สารบัญแผนภาพ

หน้า

แผนภาพที่

1 ขั้นตอนการทำโครงงานโดย Holt 21
2 ขั้นตอนการทำโครงงานโดย Kamou, Bousmah, and Aqqal 24
3 โมเดลการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบสอบของ Alberta 26
4 สรุปแนวทางการประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์ 40
5 ลักษณะสำคัญของการเรียนการสอนตามแนวคิดทฤษฎีสรรคนิยม ของ Swan 64
6 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการออกแบบทางวิศวกรรม 68
7 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี 69
8 ประโยชน์ที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี 74
9 แผนผังรูปตัววีแสดงองค์ประกอบสำคัญของการสร้างความรู้ 83
10 สรุปความเข้าใจเกี่ยวกับการเรียนรู้อย่างมีความหมาย 84
11 แบบจำลองความจำของ Akinson and Shiffrin ในปี ค.ศ. 1968 85
12 ประโยชน์ของผังกราฟิก โดย Cowden et al 89
13 กรอบแนวคิดการวิจัย 93
14 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการทางวิทยาศาสตร์ องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม และประเภทของผังกราฟิก 101

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

การพัฒนาประเทศสู่ความสมดุลและยั่งยืนจะต้องให้ความสำคัญกับการเสริมสร้างทุนของประเทศที่มีอยู่ให้เข้มแข็งและมีพลังเพียงพอในการขับเคลื่อนกระบวนการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะการพัฒนาคนหรือทุนมนุษย์ให้เกิดความสมดุลระหว่างวัตถุกับจิตใจของคนในชาติ การพึ่งตัวเองกับเวทีโลก พร้อมรับการเปลี่ยนแปลงของโลกในยุคศตวรรษที่ 21 ด้วยการเสริมสร้างปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการพัฒนาคุณภาพของคนให้เป็นภูมิคุ้มกันการเปลี่ยนแปลงทั้งภายนอกและภายในประเทศ ซึ่งการพัฒนาประเทศต้องใช้ “การรู้” ในทุกๆ ด้านด้วยความรอบคอบ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) จึงได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาคนสู่สังคมแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างยั่งยืน ในข้อที่ 5.2.2 “(1) พัฒนาเด็กวัยเรียนให้มีความรู้วิชาการ และสติปัญญาทางอารมณ์ที่เข้มแข็ง สามารถศึกษาหาความรู้ และต่อยอดความรู้ได้ด้วยตนเอง โดยบูรณาการการเรียนรู้ให้หลากหลายทั้งด้านวิชาการ ทักษะชีวิต และนันทนาการ ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ในห้องเรียนและนอกห้องเรียน และสร้างนิสัยใฝ่รู้ มีทักษะการคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาเฉพาะหน้า และต่อยอดสู่ความคิดสร้างสรรค์” และ ข้อที่ 5.2.4 “ส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต มุ่งสร้างกระแสสังคมให้การเรียนรู้เป็นหน้าที่ของคนไทย และใช้สื่อทุกประเภทเป็นแหล่งการเรียนรู้อย่างสร้างสรรค์ สื่อสารด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย” (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2554: 68-75) จากยุทธศาสตร์ข้างต้นที่มุ่งเน้นให้นักเรียนสร้างและต่อยอดความรู้จากการเรียนรู้ทั้งในและนอกห้องเรียนตอบสนองต่อพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 หมวด 4 แนวทางการจัดการศึกษา ในมาตราที่ 24 ให้ดำเนินการตามต่อไปนี้ “(2) ฝึกทักษะ กระบวนการคิด ... การประยุกต์ความรู้มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ปัญหา (3) จัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกปฏิบัติ ให้คิดเป็น ทำเป็น ... และ (5) ส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้สอนจัดบรรยากาศสภาพแวดล้อม สื่อการเรียน และอำนวยความสะดวก เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีความรอบรู้ รวมทั้งสามารถใช้การวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้” (สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, 2553; 2542: 7-8)

การพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีความสำคัญต่อมนุษย์ (humanity) คุณภาพชีวิต และการพัฒนาอย่างยั่งยืนของโลก วิทยาศาสตร์ได้รับการเผยแพร่และแลกเปลี่ยนเพื่อประโยชน์ของทุกคน การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ (scientific principles) เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเรียนรู้ผ่านการคิด การเรียน การเขียน และการพูดเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ (UNESCO, 2010: 9-10) การรู้วิทยาศาสตร์ (scientific literacy) เป็นเป้าหมายสำคัญของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนเพื่อให้เข้าใจธรรมชาติของโลกและแนวทางในการเปลี่ยนแปลงโลก อีกทั้งยังช่วยให้สามารถตัดสินใจและดำรงชีวิตได้

ในอนาคต (UNESCO, 2010: 19) การรู้วิทยาศาสตร์ หมายถึง ความรู้และการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการระบุคำถาม การเรียนรู้ความรู้ใหม่ การอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และการสรุปประเด็นทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานเชิงประจักษ์ นอกจากนี้การรู้วิทยาศาสตร์ยังเป็นกุญแจสำคัญสำหรับการสื่อสาร และการเรียนรู้ในทุกรูปแบบ อีกทั้งยังเป็นเงื่อนไขพื้นฐานที่ช่วยให้นักเรียนเข้าถึงความรู้ที่นำไปสู่สังคมแห่งการเรียนรู้ในปัจจุบัน (OECD, 2010: 137) สอดคล้องกับแนวคิดของวิจารณ์ พานิช (2555: 7) กล่าวถึงสังคมแห่งการเรียนรู้ว่า การเรียนรู้นั้นเป็นกิจกรรมทางสังคมที่ครูสามารถออกแบบกระบวนการทางสังคมให้นักเรียนเรียนสนุกและเกิดนิสัยรักการเรียนรู้

ความสามารถและสมรรถนะประการหนึ่งที่สะท้อนให้ถึงการรู้วิทยาศาสตร์ขององค์การเพื่อความร่วมมือและพัฒนาเศรษฐกิจ (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]) คือ ความสามารถในการวิเคราะห์ ซึ่งองค์การเพื่อความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจได้ประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Programme for International Student Assessment [PISA]) เพื่อหาคุณภาพการศึกษาที่ประเมินครอบคลุมความรู้และทักษะ แสดงถึงความสามารถในการใช้ความรู้ การจดจำและความเข้าใจในการอ่านที่มีความสำคัญต่อการเป็นนักเรียนที่ชำนาญส่งผลถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอันนำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการคิดขั้นสูง และกลยุทธ์ในการเรียนรู้ รวมไปถึงความพร้อมสำหรับการใช้ชีวิตและมีส่วนร่วมกับสังคมในอนาคต (สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553: 1; OECD, 2009: 18) ซึ่งผลการประเมินด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยจากปี ค.ศ. 2000 ถึง ค.ศ. 2009 ได้คะแนน 436, 429, 421, และ 425 คะแนนตามลำดับ เมื่อพิจารณาคะแนนของเขตพื้นที่การศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2 ได้คะแนน 449, 437, 431, และ 441 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงผลการประเมินต่ำกว่าคะแนนพื้นฐานนานาชาติที่ 500 คะแนน สอดคล้องกับผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งทดสอบและประเมินผลตามมาตรฐานการศึกษา โดยข้อสอบประกอบด้วยสาระ มาตรฐานการเรียนรู้ และระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ทั้ง 6 ระดับตามแนวคิดของ Bloom ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การวิเคราะห์ ผลการทดสอบ O-NET ในปี พ.ศ. 2551-2554 พบว่ามีคะแนนเฉลี่ย 33.70, 33.03, 30.90, และ 27.90 คะแนนตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 50 (สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์กรมหาชน), 2009: ออนไลน์)

ความสามารถในการคิดเป็นพื้นฐานของการพัฒนาการศึกษา การคิดของคนสามารถส่งต่อถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการเรียนรู้ สามารถพัฒนาผ่านกิจกรรมที่ผสมผสานจากหลายกิจกรรม การวิเคราะห์และการสร้างความสัมพันธ์เป็นหนึ่งในกิจกรรมนั้น โดยเริ่มจากความสัมพันธ์อย่างง่ายแล้วเพิ่มความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น (Heong et al, 2011: 281-282; King, Goodson, and Rohani, 2011: 39) เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ตามแนวคิดของ Bloom ที่ใช้ในการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) โดย Bloom ให้ความหมายของการวิเคราะห์ว่าเป็นการจำแนกข้อเท็จจริงออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้าง ความสัมพันธ์ของแต่ละส่วน และแต่ละหลักการ จำแนกได้ 3 ประเภท คือ (1) วิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นการแยกแยะประเด็นสำคัญ

ออกจากข้อมูลที่ชัดเจนและไม่ชัดเจน (2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นการระบุความเหมือนและความต่างของข้อมูล รวมถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ และ (3) วิเคราะห์เชิงหลักการ เป็นการค้นหาหลักแกนกลาง โครงสร้าง หรือมุมมองที่เชื่อมโยงและสัมพันธ์กันจนเรื่องราว วัตถุ การกระทำ หรือข้อมูลสามารถดำรงสภาพนั้นอยู่ได้ (Bloom, 1956: 144-148)

การประเมินคุณภาพภายนอกของสำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา หรือ สมศ. ในปี พ.ศ. 2550 พบว่า สถานศึกษาที่สามารถจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนมีความสามารถวิเคราะห์ สังเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ และคิดไตร่ตรอง มีเพียงร้อยละ 11.8 และโรงเรียนที่สอนทักษะจำเป็นต่อการสืบสอบความรู้ด้วยตนเองมีเพียงร้อยละ 24.4 จึงไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่ 4 การวิเคราะห์ และสังเคราะห์ และมาตรฐานที่ 6 การแสวางหาความรู้ด้วยตนเอง (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2553: 48) จากการประเมินคุณภาพภายนอกของ สมศ. ที่พบว่าโรงเรียนไม่สามารถจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนมีความสามารถในการวิเคราะห์และสืบสอบความรู้ด้วยตนเองสอดคล้องกับผลการประเมินการรู้วิทยาศาสตร์ของ PISA ที่นักเรียนมีคะแนนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และผลการทดสอบระดับชาติขั้นพื้นฐานที่นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังไม่มีคุณภาพเป็นผลมาจากการเรียนการสอนที่ไม่เชื่อมโยงในชีวิตจริง ไม่เปิดโอกาสให้เรียนรู้ด้วยตนเอง ไม่มีการฝึกปฏิบัติ ไม่เน้นการฝึกให้นักเรียนวิเคราะห์ และแก้ปัญหา (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2553: 83) กระบวนการเรียนการสอนจึงควรปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการเรียนรู้จากการสอนแบบท่องจำมาเป็นวิธีที่หลากหลายซึ่งหนึ่งในนั้นคือ แนวทางสอนเน้นโครงงาน (project approach) (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2553: 57) ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าประเด็นปัญหาสำคัญของการศึกษาไทยในข้างต้นประการหนึ่งคือ การวิเคราะห์ และการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ต้องก้าวข้ามสาระวิชาไปสู่การเรียนรู้ทักษะเพื่อดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 ที่ครูต้องไม่สอน แต่ต้องออกแบบการเรียนรู้และอำนวยความสะดวก (facilitate) ในการเรียนรู้ ให้เรียนรู้จากการปฏิบัติ แล้วเกิดการเรียนรู้ภายในสมองของนักเรียนเอง การเรียนรู้แบบนี้คือ การเรียนรู้โดยใช้วิธีโครงงาน (Project-Based Learning) (วิจารณ์ พานิช, 2555: 15)

เมื่อศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาและพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์ในประเทศไทยพบตัวอย่างงานวิจัย ดังนี้ สมบูรณ์ รัตนบุญศรีทอง (2553) ศึกษาพบว่านักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนโดยใช้รูปแบบวงจรการเรียนรู้แบบ TSOI เรื่องพันธะเคมีมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และสูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และละมัย วงคำแก้ว (2554) ศึกษาพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนแบบสืบสอบ 5E ร่วมกับการใช้ผังกราฟิกมีความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนงานวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์นั้น มีดังนี้ น้ำผึ้ง มีนิล (2545) ศึกษาพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนโดยใช้เทคนิคผังกราฟิกในการสอนวิชาโครงงานกับคุณภาพชีวิตมีความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์สูงกว่าร้อยละ 70 และสูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์ (2546) ศึกษาพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 2

โรงเรียนสาธิต สังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐ ในกรุงเทพมหานคร ที่เรียนโดยใช้การเรียนการสอนบนเว็บมีความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แต่มีความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าร้อยละ 70 ธนพล กลิ่นเมือง (2550) ศึกษาพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการเรียนการสอน 5E ในหน่วยการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยการบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่น มีความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์สูงกว่าร้อยละ 70 และละมัย วงคำแก้ว (2554) ศึกษาพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนแบบสืบสอบ 5E ร่วมกับการใช้ผังกราฟิกมีความสามารถในการทำโครงงานทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าร้อยละ 70

ผลการประเมินการรู้วิทยาศาสตร์ของ PISA ส่งผลให้ประเทศสหรัฐอเมริกาพบปัญหาเช่นเดียวกับประเทศไทยที่ต้องการพัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ให้เพิ่มมากขึ้น โดยสหรัฐอเมริกาเล็งเห็นความแตกต่างระหว่างการออกแบบทางวิศวกรรมกับวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในส่วนที่ต้องใช้การบูรณาการความรู้ที่มากกว่าและต้องลงมือปฏิบัติในการเรียนรู้อย่างจริงจัง American Society of Engineering Education จึงศึกษาและเสนอการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานการศึกษาของรัฐและของชาติสำหรับการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน (K-12) เพื่อช่วยให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในการวางแผน และการออกแบบ ตามแนวคิดของวิศวกร ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นโครงการศึกษารายวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (Science Technology Engineering and Mathematics [STEM] Education) และจากความพยายามในการสร้างและพัฒนาหลักสูตรแบบบูรณาการในรายวิชา STEM ได้เกิดโครงการ “Technology for All American Project” ที่เน้นนักเรียนประยุกต์ความรู้ไปแก้ปัญหาในชีวิตจริงผ่านประสบการณ์การทำโครงงาน และพัฒนาความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรมให้คิดและทำงานแบบวิศวกร จึงเกิดเป็นแนวทางการเรียนรู้ที่เน้นการออกแบบทางวิศวกรรม ที่ตรงกับภาษาอังกฤษที่ว่า “Engineering Design” (Asunda and Hill, 2007: 26) การออกแบบทางวิศวกรรม หมายถึงกระบวนการที่วิศวกรใช้ในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์เกี่ยวกับความต้องการของมนุษย์ แหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติ และความต้องการทางเศรษฐกิจ (Transferable Integrated Design Engineering Education [TIDEE], 2010) และจากรายงานขององค์การการศึกษา วิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO]) เกี่ยวกับการศึกษาและการฝึกทักษะด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีมีความสำคัญที่สะท้อนถึงระดับคุณภาพของการศึกษาที่สามารถใช้ในการเรียนรู้ต่อไปในระดับมหาวิทยาลัยได้ (Ministry of Education Malaysia, 2006: 3) ซึ่งเมื่อทำการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางวิศวกรรมในประเทศไทยพบเพียงงานวิจัยของวรรณา รุ่งลักษมีศรี (2551) ศึกษาพบว่านักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนโดยเน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม มีความสามารถในการแก้ปัญหาและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานสูงกว่าเกณฑ์ที่ร้อยละ 70

การเรียนรู้เน้นการออกแบบทางวิศวกรรมในบริบทของการเรียนการสอนสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ของมนุษย์ที่สามารถสร้างความรู้ใหม่บนพื้นฐานความรู้ความเข้าใจและความเชื่อเดิมที่มีอยู่

ครูจึงควรจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับความรู้และความสามารถที่นักเรียนมี และสะท้อนการสร้างความรู้และความเข้าใจในสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ ซึ่งมีองค์ประกอบ 4 องค์ประกอบ ดังนี้ (1) เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง (2) เน้นฝึกทักษะจำเป็นสำหรับการทำงานและการดำรงชีวิต (3) เรียนรู้การทำโครงงานและความหลากหลายในการทำงานตามสาขาวิชาและอาชีพ และ (4) เรียนรู้ตามสภาพจริงที่สามารถประยุกต์ความรู้ไปสู่ประสบการณ์ในชีวิตจริง เพื่อเตรียมโอกาสในการเรียนรู้และขยายความรู้ให้ก้าวข้ามขอบเขตของห้องเรียนสู่การเรียนรู้ชีวิตจริงในสังคม (Sadler, Coyle, and Schwartz, 2000: 302-303) เช่นเดียวกับแนวคิดการจัดการเรียนรู้ของวิจารณ์ พานิช (2555: 2) ที่กล่าวว่า “การเรียนรู้ที่แท้จริง อยู่ในโลกจริงหรือชีวิตจริง การเรียนรู้ในห้องเรียนยังเป็นการเรียนแบบสมมติ ดังนั้นครูเพื่อศิษย์จึงต้องออกแบบการเรียนรู้ให้ศิษย์ได้เรียนในสภาพที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด”

การเรียนการสอนที่เน้นการออกแบบทางวิศวกรรมพบว่ามีกระบวนการหรือขั้นตอนการออกแบบทางวิศวกรรมที่ไม่ชัดเจนหรือไม่เป็นลำดับขั้นตอน ขึ้นอยู่กับแนวทางการแก้ปัญหาและเทคนิคที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหา จึงต้องเข้าใจองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งแต่ละองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบทางวิศวกรรมเกิดจากกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมและขั้นตอนที่ได้รับการวิเคราะห์บนพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยให้เกิดความเข้าใจในแต่ละขั้นตอนและความสัมพันธ์ของแต่ละกระบวนการชัดเจนมากยิ่งขึ้น การเรียนการสอนที่เน้นองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมจึงช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการทำงานและวิธีคิดของวิศวกร พัฒนาทักษะสำคัญในการทำงานผ่านการทำโครงงาน (Mentzer, 2008: 16-17; The National Academic Press, 2009: 38)

Mentzer (2008: 18-22) นำเสนอองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อเข้าใจความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอนการทำงานของวิศวกรมากยิ่งขึ้นด้วยองค์ประกอบหลักทั้ง 6 ด้าน ดังนี้ (1) การนิยามปัญหา (problem definition) เป็นการระบุปัญหาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และระบุตัวแปร และการกำหนดวัตถุประสงค์ (2) การแก้ปัญหา (solution) เป็นการระบุแนวทางการแก้ปัญหา โดยพิจารณาจากข้อมูลที่สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นเหตุเป็นผล (3) การวิเคราะห์และการสร้างโมเดล (analysis/modeling) เป็นการวิเคราะห์เพื่อออกแบบหรือกำหนดขั้นตอนการดำเนินการทดลอง (4) การทดลอง (experimentation) เป็นการดำเนินตามแนวทางหรือขั้นตอนเพื่อรวบรวมข้อมูล (5) การตัดสินใจ (decision making) เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยเหตุและผลในการเลือกแนวทางในการแก้ปัญหา และ (6) ด้านการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร(teamwork/ communication) เป็นองค์ประกอบ ในการกำหนดบทบาทหน้าที่และเน้นให้โอกาสในการปรับปรุงความสามารถในการทำงานร่วมกันเป็นทีม รวมไปถึงทักษะการสื่อสารหรือสื่อความหมายข้อมูลเพื่อให้สามารถสื่อสารกับเพื่อนสมาชิกในการทำงานเป็นทีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การนำการเรียนการสอนที่เน้นองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนพบข้อควรปรับปรุงในประเด็นการนำเสนอผลการออกแบบทางวิศวกรรม

เนื่องจากรูปแบบและภาษาที่ใช้นำเสนอในสาขาวิชาด้านวิศวกรรมศาสตร์มีรูปแบบที่เฉพาะและเน้นภาษาคณิตศาสตร์มากเกินไปทำให้คนทั่วไปเข้าใจได้ยาก Dym et al (2005: 109) จึงได้เสนอให้ปรับการนำเสนอร่วมกับเทคนิคอื่นๆ ที่เหมาะสมและช่วยสนับสนุนให้นักเรียนได้พัฒนาการสื่อสารให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มรูปแบบการนำเสนอให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น การบรรยายด้วยข้อความ การใช้กราฟิก การใช้สมการทางคณิตศาสตร์ หรือการใช้โมเดล และการใช้ตัวเลข

เมื่อพิจารณาเทคนิคหรือวิธีการต่างๆ ในการจัดการเรียนการสอนที่ช่วยนักเรียนเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลและสื่อสารด้วยรูปภาพหรือแผนภาพอย่างมีความหมาย นั่นคือ เทคนิคการใช้ผังกราฟิก (Graphic Organizers [GOs]) (Jacobson, 2008: 4) ทิศนา แขมณี (2550: 478) อธิบายเทคนิคการสอนไว้ว่าเป็นกลวิธีต่างๆ ที่ใช้ในการเสริมกระบวนการสอน ขั้นตอนการสอน วิธีการสอน หรือดำเนินการทางการสอนใดๆ เพื่อช่วยให้การสอนมีคุณภาพและประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดย Ellis and Howard (2005: 1) กล่าวถึงผังกราฟิก คือ วิธีการนำเสนอข้อมูลหรือความรู้ที่ผ่านการวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายในลักษณะของรูปภาพหรือแผนภาพ โดยอาศัยการใช้เส้น สัญลักษณ์ ตาราง กล่องข้อความ รูปภาพ และรูปแบบต่างๆ เพื่อเชื่อมโยงหรือแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล เนื้อหา คำศัพท์ และแนวคิด ให้สามารถติดต่อสื่อสาร ทำความเข้าใจ และนำเสนอได้อย่างมีคุณภาพ รากฐานของเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมาจากงานวิจัยของ Ausubel ในการพัฒนา Advance Organizers ซึ่งเป็นการแสดงโครงสร้างภาพรวมของเนื้อหาที่ต้องการศึกษาให้เป็นเครื่องมือในการจัดการเรียนการสอน Barron and Stone ได้พัฒนาต่อยอดความคิดของ Ausubel โดยให้นักเรียนเป็นผู้สร้างผังกราฟิกด้วยตัวนักเรียนเองพบว่าเกิดการเรียนรู้ได้ดีกว่าครูเป็นผู้สร้างแล้วนำเสนอให้นักเรียนได้เรียนรู้ ส่งผลให้เทคนิคการใช้ผังกราฟิกได้รับความสนใจและพัฒนาต่อมาจนมีรูปแบบที่หลากหลายและแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน (Hoffman, 2010: 21-24) นอกจากนี้ Zaini, Mokhtar and Niwawi (2010: 17-18) ได้เสนอความสำคัญของผังกราฟิกว่าเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการจดบันทึก หรือจำแนกข้อมูล อีกทั้งยังช่วยให้เข้าใจมโนทัศน์ที่ยากผ่านการวิเคราะห์และระบุความเชื่อมโยงระหว่างความคิด สามารถนำไปใช้ได้ในทุกกิจกรรมการเรียนรู้

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยจึงสนใจจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา เพื่อเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่ได้รวมประเด็นสำคัญทางการศึกษาของประเทศไทยที่ควรได้รับการพัฒนาทั้ง 2 ประการคือ การวิเคราะห์ และการจัดการเรียนการสอนโดยเน้นการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ช่วยพัฒนานักเรียนในการคิด ปฏิบัติ และแสดงสมรรถนะสำคัญตามมาตรฐานการเรียนรู้

คำถามการวิจัย

1) การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีผลต่อความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหรือไม่

2) การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีผลต่อความสามารถในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์แต่ละประเภทของนักเรียนมัธยมศึกษาหรือไม่

3) นักเรียนมัธยมศึกษาที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีความสามารถในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์แต่ละประเภทหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนหรือไม่

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

2) เพื่อศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

3) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทของนักเรียนมัธยมศึกษาระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

สมมติฐานการวิจัย

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกของนักเรียนมัธยมศึกษาตั้งอยู่บนทฤษฎีสรรคนิยมที่มุ่งเน้นนักเรียนสามารถสร้างความรู้ใหม่บนพื้นฐานความรู้ความเข้าใจเดิมที่มีอยู่ด้วยตัวนักเรียนเอง (Sadler, Coyle, and Schwartz, 2000: 302-303) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dym et al. (2005) พบว่า (1) ควรใช้การเรียนแบบวิจัยหรือการทำโครงงานในการเรียนการออกแบบทางวิศวกรรมและวิชาอื่นๆ โดยควรได้รับคำแนะนำจากครูผู้สอนถึงประเด็นที่ควรทำวิจัย และประเด็นที่ต้องทำวิจัย (2) ควรตระหนักถึงองค์ประกอบหลักสำคัญของการออกแบบทางวิศวกรรมในทุกกิจกรรมของการจัดการเรียนการสอนและหลักสูตร และ (3) ครูและนักเรียนควรเรียนรู้ร่วมกันผ่านการทำวิจัยหรือการทำ

โครงงาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mentzer (2011) พบว่า องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมทั้ง 6 องค์ประกอบเน้นพัฒนาทักษะที่จำเป็นในแต่ละองค์ประกอบ เพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ และความสามารถในการทำโครงงานของนักเรียน และจากการศึกษาของ Ion et al. (2004) พบว่า การเรียนด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์นั้นมีประโยชน์และควรสนับสนุนให้เป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนเพื่อทำโครงงาน นอกจากนี้งานวิจัยของ87น้ำผึ้ง มีนิล (2545) พบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนด้วยการใช้เทคนิคการใช้ผังกราฟิกในการเรียนการสอนวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์กับคุณภาพชีวิตมีความสามารถในการทำโครงงานของนักเรียนสูงกว่าร้อยละ 70 และงานวิจัยของละมัย วงคำแก้ว (2554) พบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนโดยใช้รูปแบบการสอนแบบสืบสอบความรู้ 5E ร่วมกับผังกราฟิกมีความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และมีคะแนนสูงกว่าร้อยละ 70

จากผลการวิจัยในข้างต้นที่พบว่าการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมและการใช้เทคนิคผังกราฟิกช่วยพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถในการแก้ปัญหาและสร้างสรรค์โครงงานได้ ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานการวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการทำโครงงานของนักเรียนมัธยมศึกษา โดยเทียบกับเกณฑ์การประเมินผลการเรียนรู้ของกรมวิชาการ (กรมวิชาการ, 2535: 24) ดังนี้

1. นักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกมีคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์สูงกว่าร้อยละ 70 ซึ่งอยู่ในระดับดี

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมุ่งเน้นพัฒนาทักษะสำคัญในแต่ละองค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การวิเคราะห์ จากการศึกษาของ Mentzer (2011) พบว่า องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ควรได้รับการพัฒนาและฝึกฝนอยู่เสมอ อาจใช้การสอนแบบดั้งเดิม หรือใช้เทคนิคการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกปฏิบัติเป็นประจำ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ion et al. (2004) พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทำโครงงานควรได้รับการวิเคราะห์ให้เกิดความชัดเจนก่อนนำไปใช้ในการวิจัยหรือทำโครงงานต่อไปในอนาคต สอดคล้องกับการศึกษาของ Paparistodemou and Marrotheris (2008) พบว่า (1) การใช้ผังกราฟิกและการวิเคราะห์ข้อมูลมีบทบาทสำคัญที่แสดงถึงความรู้ความเข้าใจของนักเรียนในการทำโครงงาน และ (2) การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทำโครงงานไม่ได้เป็นเพียงการพิจารณาเพื่อสรุปข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังเป็นการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การสร้างมโนทัศน์ที่แสดงถึงความหมายของสถานการณ์ของข้อมูล นอกจากนี้งานวิจัยของ Montaku (2011) พบว่า นักศึกษาชั้นปีที่ 3 หลังเรียนโดยใช้ผังกราฟิกในการทำโครงงานมีทักษะการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และละมัย วงคำแก้ว (2554) พบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนโดยใช้รูปแบบการสอนแบบสืบสอบความรู้ 5E ร่วมกับผังกราฟิกมีความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ดังนั้นผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานการวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายโดยอาศัยเกณฑ์การประเมินผลของ PISA ที่นักเรียนไทยมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ในวิชาวิทยาศาสตร์อยู่ระดับ 2 หมายถึงนักเรียนอยู่ในระดับเริ่มรู้เรื่องและสามารถใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ได้ ซึ่งนักเรียนไทยมีคะแนนเฉลี่ย 428 คะแนน จากคะแนนเต็ม 709 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 59.37 แต่คะแนนเฉลี่ยของประเทศในกลุ่มสมาชิก OECD จากการทดสอบในปี ค.ศ. 2006-2009 มีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้น 10-15 คะแนน นักเรียนไทยจึงควรมีคะแนนเฉลี่ย 443 คะแนน ในการทดสอบครั้งถัดไปคิดเป็นร้อยละ 62.48 (สสวท, 2554: 162-164) ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานการวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการวิเคราะห์ ดังนี้

2. นักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทสูงกว่าร้อยละ 65

3. นักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ขอบเขตการวิจัย

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน เขตพื้นที่การศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2

2. ตัวแปรในการวิจัย ประกอบด้วย

2.1. ตัวแปรจัดกระทำ คือ การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

2.2. ตัวแปรตาม ได้แก่

2.2.1. ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

2.2.2. ความสามารถในการวิเคราะห์

2.3. ตัวแปรควบคุม คือ เนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนเป็นไปตามหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียนนนทรีวิทยา ในรายวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282)

ข้อตกลงเบื้องต้น

การใช้เทคโนโลยีในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกเป็นเพียงการใช้เพื่อสนับสนุนและสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ ไม่ได้เน้นในส่วนของการใช้เทคโนโลยีสำหรับการออกแบบโครงงานหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เป็นการจัดประสบการณ์ กิจกรรมการเรียนรู้ และฝึกทักษะ เพื่อให้ผู้เรียนเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับทักษะกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างความรู้ด้วยตนเอง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการสืบสอบ และการแก้ปัญหาที่หลากหลาย

องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม เป็นส่วนประกอบสำคัญเพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอนหรือกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งประกอบด้วย 6 ด้าน ดังนี้

1. การนิยามปัญหา (Problem Definition) คือ การระบุและนิยามสภาพปัญหา โดยการวิเคราะห์รายละเอียด เพื่อช่วยในการกำหนดตัวแปร และวัตถุประสงค์การทำโครงงาน

2. การแก้ปัญหา (Solution) คือ การระบุแนวทางแก้ปัญหาและดำเนินการแก้ปัญหาโดยอาศัยข้อมูลจากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา

3. การวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล (Analysis/Modeling) คือ การแยกแยะข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยและหาความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้น รวมถึงภาพรวมโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้น หรือการแยกแยะข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยเพื่อสร้างแบบจำลองที่แสดงรายละเอียดองค์ประกอบของผลงาน

4. การทดลอง (Experimentation) คือ การปฏิบัติหรือดำเนินการทดสอบ ควบคุมการทดสอบหรือสำรวจตรวจสอบสมมติฐานด้วยการปฏิบัติตามแผนการดำเนินงานเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

5. การตัดสินใจ (Decision Making) คือ การพิจารณาข้อมูลและหาแนวทางที่ดีที่สุดที่ช่วยให้บรรลุเป้าหมายหรือแก้ไขปัญหาได้สำเร็จ

6. การทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร (Teamwork/Communication) คือ การร่วมมือรวมใจปฏิบัติงาน รับผิดชอบตามบทบาทหน้าที่ของตน รวมทั้งประสานงานกับเพื่อนสมาชิกด้วยการสื่อสารที่มีคุณภาพจนงานสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

เทคนิคการใช้ผังกราฟิก เป็นวิธีการนำเสนอข้อมูลหรือความรู้ที่ผ่านการวิเคราะห์ จัดกระทำและสื่อความหมายในลักษณะของรูปภาพหรือแผนภาพ โดยอาศัยการใช้เส้น สัญลักษณ์ ตาราง กล่องข้อความ รูปภาพ และรูปแบบต่างๆ เพื่อเชื่อมโยงหรือแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล เนื้อหา คำศัพท์และแนวคิด ให้สามารถติดต่อสื่อสาร ทำความเข้าใจ และนำเสนอได้อย่างมีคุณภาพ ซึ่งผังกราฟิกมี 5 ประเภท ได้แก่ (1) ประเภทจำแนกข้อมูล (Hierarchical Organizer) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์หลักกับมโนทัศน์ย่อยอย่างเป็นลำดับขั้นลงไป หรือใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูล (2) ประเภทเหตุและผล (Cause/Effect Diagram) นำเสนอข้อมูลที่เป็นเหตุ ผล และแนวทางแก้ปัญหา (3) ประเภทเปรียบเทียบ (Compare/Contrast Organizer) นำเสนอการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งความเหมือน และความต่าง (4) ประเภทลำดับขั้นตอน (Sequential Organizer) นำเสนอข้อมูลที่เป็นลำดับเวลา หรือเหตุการณ์ภายใต้ลำดับเวลา และ (5) ประเภทสรุปความรู้ (Conceptual Organizer)

นำเสนอข้อมูลที่สนับสนุนมโนทัศน์ด้วยข้อเท็จจริง หลักฐานเชิงประจักษ์ โดยใช้ลักษณะหรือรูปแบบเฉพาะ

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกเพื่อให้นักเรียนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1) *ระบุคำถามโครงงานเพื่อกำหนดหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์* ใช้องค์ประกอบด้านการนิยามปัญหา การวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1.1) *ตั้งคำถามโครงงาน* เป็นการตั้งคำถามในประเด็นปัญหาที่นักเรียนสนใจเพื่อกำหนดหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์ โดยใช้ผังกราฟิกประเภทเหตุและผลช่วยในการตั้งคำถาม

1.2) *ระบุตัวแปรที่ศึกษา* เป็นการระบุตัวแปรโครงงานวิทยาศาสตร์จากคำถามหรือประเด็นปัญหาโครงงานวิทยาศาสตร์ สามารถใช้ผังกราฟิกประเภทจำแนกข้อมูลช่วยในการระบุประเภทของตัวแปร

2) *วางแผนและทดลองเพื่อแก้ปัญหา* โดยใช้องค์ประกอบด้านการนิยามปัญหา การแก้ปัญหา การวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) *ตั้งสมมติฐานโดยอาศัยข้อมูลจากการสืบค้น* เป็นการตั้งสมมติฐานโครงงานวิทยาศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลจากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา นักเรียนสามารถใช้ผังกราฟิกประเภทจำแนกข้อมูล และประเภทสรุปความรู้ช่วยในการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้

2.2) *ออกแบบและวางแผนการทำโครงงาน* เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ออกแบบและวางแผนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์อย่างเป็นลำดับขั้นตอน นักเรียนสามารถใช้ผังกราฟิกประเภทลำดับขั้นตอนช่วยในการออกแบบและวางแผนการทำโครงงานได้

2.3) *ทดลองตามแผนที่กำหนด* เป็นการดำเนินการปฏิบัติหรือทดลองเพื่อรวบรวมข้อมูลตามแผนการดำเนินงานที่กำหนด

3) *วิเคราะห์และสื่อความหมาย* โดยใช้องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1) *จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลด้วยค่าสถิติ* เป็นการวิเคราะห์และจัดกระทำข้อมูลที่รวบรวมได้ระหว่างการทดลองหรือทำโครงงานด้วยค่าสถิติทางคณิตศาสตร์

3.2) *สร้างโมเดลเพื่อสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก* เป็นการนำข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์และจัดกระทำมาสื่อความหมายด้วยผังกราฟิก โดยสามารถใช้ผังกราฟิกประเภทเปรียบเทียบช่วยในการวิเคราะห์ จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลได้

4) *สร้างคำอธิบายของคำถามโครงงาน* โดยใช้องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.1) *แปลผลข้อมูล* เป็นการนำข้อมูลจากการจัดกระทำด้วยผังกราฟิกมาแปลผลด้วยการบรรยาย

4.2) *สรุปผลร่วมกัน* เป็นการสรุปผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ร่วมกับสมาชิกภายในกลุ่มให้สอดคล้องกับคำถามโครงงาน สมมติฐาน และวัตถุประสงค์การทำโครงงานวิทยาศาสตร์

5) *เผยแพร่โครงงาน* โดยใช้องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร นอกจากนี้นักเรียนสามารถใช้ผังกราฟิกทุกประเภทช่วยในการเผยแพร่โครงงานได้ มีขั้นตอน 2 ขั้นตอน ดังนี้

5.1) *เขียนรายงานโครงงาน* เป็นการทำรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ที่แสดงผลการดำเนินการทำโครงงานด้วยความเข้าใจ

5.2) *นำเสนอโครงงาน* เป็นการนำเสนอผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์โดยการพูดนำเสนอ และ/หรือ การใช้ผังโครงงาน

ความสามารถในการวิเคราะห์ คือ ความสามารถในแยกแยะข้อมูล ซึ่งแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ (1) วิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นการแยกแยะประเด็นสำคัญออกจากข้อมูลที่ชัดเจนและไม่ชัดเจน (2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นการระบุความเหมือนและความต่างของข้อมูล รวมไปถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ และ (3) วิเคราะห์เชิงหลักการ เป็นการค้นหาหลักแกนกลาง โครงสร้าง หรือมุมมองที่เชื่อมโยงและสัมพันธ์กันจนเรื่องราว วัตถุ การกระทำ หรือข้อมูลสามารถดำรงสภาพนั้นอยู่ได้ ซึ่งวัดโดยแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ คือ การศึกษาหรือสืบสอบความรู้ เพื่อค้นพบประสบการณ์ใหม่ สิ่งประดิษฐ์ใหม่ และวิธีการใหม่ ด้วยตัวนักเรียนเอง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งวัดจากแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ เป็นการประเมินโดยใช้เกณฑ์ระดับคะแนน (rubric score) จากผลงานและรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์หลังดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

นักเรียนมัธยมศึกษา หมายถึง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาผลของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา ได้ดำเนินการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. โครงงานวิทยาศาสตร์
    1.1. ความหมาย ประเภท และขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
    1.2. กลยุทธ์การจัดการเรียนการสอนโดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์
    1.3. ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
    1.4. แนวทางการประเมินผลความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
2. การวิเคราะห์
    2.1. ความหมาย และประเภทของการวิเคราะห์
    2.2. การจัดการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างการวิเคราะห์
    2.3. ความสามารถในการวิเคราะห์
    2.4. แนวทางการวัดความสามารถในการวิเคราะห์
3. การออกแบบทางวิศวกรรม
    3.1. ความหมาย ขั้นตอน และองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม
    3.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางวิศวกรรม
    3.3. ความสัมพันธ์ของการออกแบบทางวิศวกรรมกับโครงงานวิทยาศาสตร์
    3.4. แนวทางและคุณค่าของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม
4. เทคนิคการใช้ผังกราฟิก
    4.1. ความหมาย และประเภทของผังกราฟิก
    4.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก
    4.3. ประโยชน์ของการใช้ผังกราฟิก
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. โครงงานวิทยาศาสตร์

เป็นเวลาหลายร้อยปีที่ครูส่วนใหญ่เห็นด้วยกับแนวคิดของ Dewey ในการจัดการเรียนการสอนด้วยการลงมือปฏิบัติและการเรียนรู้โดยตรงด้วยตัวนักเรียนเอง “การทำโครงงาน” (Doing Project) จึงเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่สืบทอดกันมาเป็นเวลานานในการศึกษาของประเทศสหรัฐอเมริกา ถึงแม้รากฐานของการจัดการเรียนการสอนโดยเน้นโครงงานเป็นฐานเกิดขึ้นนานแล้ว แต่กระบวนการจัดการเรียนการสอนและการเรียนรู้ที่ได้ชื่อว่า “Project-based learning” เป็นผลมาจากการพัฒนาที่สำคัญ 2 ประการในช่วงระยะเวลา 25 ปีที่ผ่านมา โดยประการแรกเกิดจากการปฏิวัติการเรียนรู้ เนื่องด้วยการวิจัยในสาขาประสาทวิทยาศาสตร์ (neuroscience) และจิตวิทยา (psychology) ที่ทำให้ความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางสติปัญญาและพฤติกรรมของการเรียนรู้เพิ่มมากยิ่งขึ้น และได้แสดงให้เห็นถึงความรู้ การคิด การปฏิบัติ และบริบทของการเรียนรู้ต่างมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดความเข้าใจว่าการเรียนรู้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมทางสังคมที่สอดคล้องกับบริบททางวัฒนธรรม การสื่อสาร และประสบการณ์ การเรียนรู้ไม่ใช่เพียงการหาคำตอบในลักษณะข้อมูลเท่านั้น แต่นักเรียนต้องใช้ความรู้ และทักษะในการสร้างแนวทางแก้ปัญหาแล้วนำไปสู่กระบวนการเรียนรู้ในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ โดยครูเป็นผู้ช่วยนักเรียนในส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเพื่อเพิ่มและขยายขีดความสามารถของทักษะให้กับนักเรียน นำไปสู่การพัฒนาเป็นการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-based learning) และสาเหตุอีกประการเกิดจากโลกมีการเปลี่ยนแปลงโดยมุ่งความสนใจไปสู่การพัฒนาเกี่ยวกับอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่ส่งผลถึงการจัดการเรียนการสอนในโรงเรียนในช่วงศตวรรษที่ 19 และ 20 ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นสำหรับนักเรียนนอกเหนือไปจากความรู้นั้นคือ ทักษะการทำงานที่ไม่ใช่เพียงทักษะการวางแผน การทำงานร่วมกับคนอื่นและการสื่อสารได้เท่านั้น แต่สิ่งที่จำเป็นคือความรับผิดชอบในหน้าที่การงานและบทบาทของประชากรโลก ด้วยเหตุผล 2 ประการในข้างต้นภายใต้การเปลี่ยนแปลงของโลกจึงเป็นที่มาของการจัดการเรียนรู้โดยเน้นโครงงานเป็นฐาน การเรียนรู้โดยเน้นโครงงานเป็นฐานให้ความสำคัญเกี่ยวกับการปฏิบัติเพื่อการแก้ปัญหาสอดคล้องกับความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมและตลาดแรงงาน รวมถึงการเรียนรู้ และการดำรงชีวิตของนักเรียน จึงทำให้การเรียนรู้โดยเน้นโครงงานเป็นฐานได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (Introduction Project Based Learning, 2008: 1-2)

มุมมองทางประวัติศาสตร์ของการจัดการเรียนการสอนในปี ค.ศ. 1908 Rufus Stimson ครูโรงเรียน Smith Agricultural School ในรัฐ Massachusetts ของอเมริกา เป็นผู้ริเริ่มใช้คำว่า “Home Project” มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมโอกาสนักเรียนในการประยุกต์ความรู้ไปสู่การทำฟาร์มที่บ้าน ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง การเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติ และการประยุกต์ความรู้ในโรงเรียนไปสู่การเรียนรู้ที่บ้าน ถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยเน้นโครงงานเป็นฐานในสมัยนั้น ซึ่งเริ่มมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อได้รับการสนับสนุนจากทฤษฎีสรรคนิยมตามแนวคิดของ Piaget และ Vygotsky ที่สนใจในเรื่องของการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางและการสร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนเอง ผ่านการลงมือปฏิบัติ จึงถือได้ว่า

เป็นรากฐานทางทฤษฎีของการเรียนรู้ที่เน้นโครงงานเป็นฐาน เนื่องจากการเรียนรู้โดยเน้นปัญหาเป็นฐานและการเรียนรู้โดยเน้นโครงงานนิยมใช้อักษรย่อว่า “PBL” เหมือนกันแต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วมีข้อสังเกตดังนี้ การเรียนรู้ที่เน้นปัญหาเป็นฐานเกิดจากการปฏิรูปการศึกษาทางการแพทย์ในช่วง ค.ศ. 1970 ซึ่งเน้นการเรียนรู้เพื่อให้เข้าใจในปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ป่วยและทำความเข้าใจถึงแนวทางในการแก้ปัญหา แต่สำหรับการเรียนรู้ที่เน้นโครงงานเป็นฐานเกิดจากการพัฒนาทางการศึกษาและทฤษฎีสรรคนิยมที่เน้นการเรียนรู้ที่นักเรียนเป็นผู้เลือกปัญหาที่นักเรียนสนใจ แล้วทำการสำรวจตรวจสอบรวมไปถึงสืบค้นข้อมูลด้วยตัวนักเรียนเอง เพื่อสร้างผลงานที่มีประโยชน์อันเกิดจากการเรียนรู้ของนักเรียน (Colley, 2008: 24, Demien, 2005: 2, Halubova, 2008: 29)

1.1 ความหมาย ประเภท และขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

1.1.1 ความหมายของโครงงาน

การศึกษาความหมายของโครงงาน จำเป็นต้องทำความเข้าใจใน 2 ประเด็น คือ ความหมายของโครงงานทั่วไป และความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์ โดยแต่ละประเด็นมีรายละเอียด ดังนี้

1.1.1.1 ความหมายของโครงงานทั่วไป

จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความหมายของโครงงานในบริบทของโครงงานโดยทั่วไป ได้มีนักวิชาการและนักการศึกษาได้ให้ความหมายโครงงานทั่วไปไว้ ดังนี้

McGrath (2002: 42) กล่าวว่า การเรียนรู้เน้นโครงงานเป็นการสอนให้นักเรียนทำโครงงานโดยใช้คำถามหรือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตจริงเป็นตัวขับเคลื่อนการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนดำเนินการหรือทำโครงงาน ส่งผลให้เกิดการสร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนเอง

Doppelt (2003: 1) ให้ความหมายว่า โครงงานเป็นวิธีการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดเพื่อสื่อความหมายข้อมูล (imparting thinking competencies) และสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับโลกของความเป็นจริง

Morris, Lampel, Jha, and Loch (2003: 3) ได้ให้ความหมายของโครงงานว่าเป็นวงจรของกิจกรรมการเรียนรู้ที่ประกอบด้วยการเริ่มต้นที่มีความชัดเจน และไปสิ้นสุดที่ผลผลิตของการทำโครงงาน ความรูที่นักเรียนได้รับจากการทำโครงงานจะเป็นข้อมูลที่เฉพาะเรื่อง มีคุณภาพ และมีคุณค่า

Ravitz et al. (2004: 1) ได้ให้ความหมายของการทำโครงงานว่าเป็นวิธีการสอนที่มีระบบที่ช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ของนักเรียน และพัฒนาทักษะผ่านกระบวนการสืบสอบด้วยคำถามที่เกี่ยวข้องกับสภาพความเป็นจริง เพื่อนำไปสู่การออกแบบโครงงาน และกำหนดภาระงาน

Asan and Haliloglu (2005: 68) กล่าวว่า การเรียนรู้เน้นโครงงานเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพ เน้นการคิดสร้างสรรค์ การแก้ปัญหา และการมีส่วนร่วมของนักเรียนในการสร้างความรู้ด้วยตนเองและใช้ความรู้ในบริบทของนักวิจัยที่มีความกระตือรือร้น

Demien (2005: 2) ให้ความหมายว่า การเรียนรู้เน้นโครงงานมีลักษณะเหมือนการเรียนรู้เน้นปัญหา โดยทั้งสองแบบเป็นการเรียนรู้ที่ท้าทาย และให้นักเรียนได้เผชิญปัญหาที่หลากหลาย ทำให้นักเรียนมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายใต้การเรียนรู้ที่สร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนเอง ซึ่งความรู้ที่ได้เป็นความรู้ที่แท้จริงจากการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ไม่ใช่แค่ข้อเท็จจริงที่ค้นพบในชั้นเรียนเท่านั้น

Kwok et al. (2007: 551) กล่าวว่า การเรียนรู้เน้นโครงงานเป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการทำโครงงาน เพื่อให้นักเรียนช่วยกันทำงานเป็นกลุ่มในการสำรวจตรวจสอบ และแก้ปัญหา

Herron, Magomo, and Gossard (2008: 44) ให้ความหมายว่า การทำโครงงานเป็นกิจกรรมการเรียนรู้แบบกลุ่ม หรือแบบรายบุคคลที่ต้องใช้ระยะเวลาเรียนนาน โดยผลที่ได้จากการเรียนคือ ผลผลิต หรือผลงาน (product) การนำเสนอ (presentation) และความสามารถ (performance)

Holubova (2008: 29) กล่าวว่า การทำโครงงานเน้นการเรียนรู้ทักษะที่สำคัญผ่านการทำโครงงาน ซึ่งนักเรียนจะได้ประยุกต์ใช้ทักษะ และความสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาตามสภาพความเป็นจริงในสถานการณ์จริง

HellstrÖm, Nilsson, and Olsson (2009: 2) กล่าวว่า การเรียนรู้เน้นโครงงานเป็นการจัดบรรยากาศการเรียนรู้อย่างกระตือรือร้น โดยผู้เรียนเป็นผู้ทำการสำรวจตรวจสอบจากประเด็นปัญหาหรือข้อคำถาม เพื่อนำไปสู่กิจกรรมการเรียนรู้ที่ต้องสร้างผลงานสำหรับตอบคำถามหรือประเด็นปัญหา

Smith (2009: 3) ให้ความหมายของการเรียนรู้เน้นโครงงานว่าเป็นการที่นักเรียนใช้มโนทัศน์ เครื่องมือ ประสบการณ์ และเทคโนโลยี ในบริบทของโลกแห่งความเป็นจริงเพื่อกระตุ้นให้เกิดความสงสัย นำไปสู่การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และมีปฏิสัมพันธ์ผ่านการทำกิจกรรมการทำโครงงานให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้

Bell (2010: 39) กล่าวว่าการเรียนรู้เน้นโครงงานเป็นแนวทางนวัตรกรรมการเรียนรู้ที่สอนกลยุทธ์ที่หลากหลาย เพื่อให้นักเรียนประสบความสำเร็จในอนาคต

Kamoun, Bousmash, and Aqqal (2011: 22) การเรียนรู้เน้นโครงงานเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เปลี่ยนจากการที่ครูเป็นผู้สอนไปสู่การที่นักเรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติภายใต้บรรยากาศการเรียนรู้แบบบูรณการ

จากการศึกษาเอกสารในข้างต้นสามารถสรุปความหมายของโครงงานโดยทั่วไปได้ว่า โครงงานโดยทั่วไปเป็นวิธีการเรียนรู้ วงจรการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ นวัตกรรมการเรียนรู้ หรือเป็นการจัดบรรยากาศการเรียนรู้ ที่เน้นการสอนทักษะสำคัญ การใช้คำถาม การทำงานเป็นกลุ่ม การสืบสอบ และการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ผ่านการทำโครงงานที่สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อมและชีวิตจริง เพื่อพัฒนาทักษะสืบสอบ และความสามารถในการคิด ทำให้นักเรียนมีความรู้ที่ลุ่มลึกในเรื่องที่ทำโครงงาน โดยผลที่ได้จากการทำโครงงานคือ ผลผลิตโครงงาน การนำเสนอ และการปฏิบัติ

1.1.1.2 ความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความหมายของโครงงานในบริบทของโครงงานวิทยาศาสตร์ ได้มีนักวิชาการและนักการศึกษาให้ความหมายโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

ACC/United Leaning (1998: 2) กล่าวว่า โครงงานวิทยาศาสตร์ คือ การใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการทำโครงงาน การวิจัย และการสำรวจตรวจสอบ

Holt Science and Technology (2001: 32) กล่าวถึงความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นการค้นพบความรู้ใหม่โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์

Clow Elementary School (2005: 1) ได้กล่าวถึงความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นการหาคำตอบผ่านการทำโครงงานอย่างสร้างสรรค์โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

John (2006: 1) กล่าวว่า โครงงานวิทยาศาสตร์ หมายถึง การสำรวจตรวจสอบ (investigate) โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาคำตอบหรือตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องที่นักเรียนสนใจ

Parkway Science Fair Committee (2008.: 2) กล่าวว่า โครงงานวิทยาศาสตร์ คือ การพัฒนาการค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์ในข้างต้น สามารถสรุปความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์ได้ว่า โครงงานวิทยาศาสตร์ คือ การสำรวจตรวจสอบ การหาคำตอบ หรือการค้นพบความรู้ใหม่ โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ในการทำโครงงาน ทำวิจัย ทำการทดลอง และทำการสืบสอบ เพื่อตอบคำถามหรือปัญหาให้ได้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องที่นักเรียนสนใจอย่างสร้างสรรค์

1.1.2 ประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวของกับประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ พบว่านักวิชาการและนักการศึกษาได้จำแนกประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

Colley (2008: 24-25) ได้เสนอประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ 4 ประเภท โดยใช้เกณฑ์ของผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง ดังนี้

1. สอนให้เน้นทักษะแก้ปัญหาและคิดอย่างมีวิจารณญาณ
2. สอนให้เน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
3. สอนการออกแบบและโครงงานทางวิศวกรรม
4. สอนเนื้อหาโดยทั่วไป

Parkway Science Fair Committee (2008: 8-14) ได้แบ่งประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. โครงงานสำรวจ เป็นการรวบรวมข้อมูลจากการศึกษาเอกสาร บทความและงานวิจัยเพื่อนำมาทำการจัดกระทำและสรุป
2. โครงงานเชิงสังเกต เป็นการศึกษาหารูปแบบหรือแบบแผน (pattern) ของปรากฏการณ์ หรือเหตุการณ์ทางธรรมชาติ
3. โครงงานสร้างโมเดล เป็นโครงงานที่นักเรียนต้องสร้างโมเดลให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่นักเรียนต้องการศึกษา
4. โครงงานทดลอง เป็นการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของเหตุและผลผ่านการทดลอง
5. โครงงานนวัตกรรม เป็นโครงงานที่นักเรียนต้องสร้างโมเดลหรือสิ่งประดิษฐ์ที่มีความเฉพาะ แปลกใหม่ หรือริเริ่มสร้างสรรค์ ผ่านการทดลองและพัฒนาผลงาน

Austin Energy Regional Science Festival (2010) แบ่งประเภทของโครงงานออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. โครงงานรวบรวมข้อมูล (Collection project) เป็นการศึกษาเอกสาร บทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนำมาจัดกระทำเพื่อหาความสัมพันธ์ในเชิงความสอดคล้องและความแตกต่าง

2. โครงงานสาธิต เป็นโครงงานแสดงหลักการทำงานของวัสดุหรืออุปกรณ์ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนและครูทราบผลอยู่แล้ว

3. โครงงานทดลอง เป็นโครงงานที่นักเรียนต้องอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้นั้น นักเรียนและครูยังไม่เคยทราบมาก่อน

Fan and Westwell-Roper (2010: 3-4) เสนอประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ 3 ประเภท ดังนี้

1. โครงงานทดลอง เป็นการสำรวจตรวจสอบสมมติฐานทางวิทยาศาสตร์ผ่านการทดลองโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์

2. โครงงานนวัตกรรม เป็นการสร้างสิ่งประดิษฐ์หรือพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งกว่าเดิม

3. โครงงานศึกษา เป็นโครงงานสำรวจ ศึกษา และรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์เกี่ยวกับข้อเท็จจริงหรือสถานการณ์ทางธรรมชาติที่นักเรียนสนใจ เพื่ออธิบายเหตุการณ์นั้นโดยอาศัยทฤษฎีหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์

Simond Science Fair Committee (2010: 4) แบ่งประเภทของโครงงานออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. โครงงานทดลอง เป็นโครงงานทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้ความรู้ใหม่

2. โครงงานสาธิต เป็นโครงงานที่นักเรียนเลือกหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสนใจแล้วทำการอธิบายและสาธิตการทดลองเพื่อสนับสนุนหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่แล้ว

Lakeview Science Fair Committee (2011: 6) แบ่งประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. โครงงานทดลอง เป็นโครงงานที่นักเรียนต้องใช้การทดลองพิสูจน์หลักการทางวิทยาศาสตร์ ผ่านวิธีการทางวิทยาศาสตร์

2. โครงงานสังเกต เป็นการสังเกตข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ บันทึกข้อมูล จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล

3. โครงงานเชิงรวบรวมข้อมูล เป็นการศึกษาเอกสาร บทความ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนำข้อมูลที่ได้มาจำแนก หรือจัดกลุ่มใหม่

4. โครงงานนวัตกรรม เป็นโครงงานสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหา

5. โครงงานวิจัย เป็นโครงงานเชิงสืบค้นข้อมูลจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์สามารถสรุปประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. โครงงานเชิงสำรวจศึกษา (Study project) เป็นโครงงานศึกษาเอกสารและวิจัยในเชิงลึก แล้วนำข้อมูลมาจัดกระทำเพื่อเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์เชิงความสอดคล้องและความแตกต่าง ได้แก่ โครงงานสำรวจ และโครงงานสังเกต

2. โครงงานทดลอง (Experimental project) เป็นโครงงานที่ทำการศึกษาด้วยการทำการทดลองในการทดสอบสมมติฐาน เพื่อหาคำตอบ โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ได้รับความรู้ใหม่ ซึ่งทั้งครูและนักเรียนยังไม่เคยทราบมาก่อน ได้แก่ โครงงานสาธิต และโครงงานทดลอง

3. โครงงานประดิษฐ์หรือโครงงานนวัตกรรม (Innovation project) เป็นโครงงานที่สร้างสิ่งประดิษฐ์ ชิ้นงาน หรือพัฒนาต่อยอดสิ่งประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของสิ่งประดิษฐ์ที่มีอยู่เดิม และแก้ปัญหาที่สนใจ ผ่านการทำการทดลอง และการพัฒนาผลงาน ได้แก่ โครงงานสร้างโมเดล โครงงานประดิษฐ์ และโครงงานสร้างนวัตกรรม

1.1.3 ขั้นตอนของการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ได้มีนักวิชาการและนักการศึกษาได้เสนอแนวทางและขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

ACC/United Learning (1998: 21) ได้เสนอระยะเวลาของการดำเนินการทำโครงงานตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 1 กิจกรรมการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ในแต่ละสัปดาห์โดย ACC/United Learning

สัปดาห์ที่	กิจกรรม
1-2	ระบุหัวข้อโครงงานและกำหนดวัตถุประสงค์โครงงาน
3-4	สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อโครงงาน
3-4	วางแผนการดำเนินการทำโครงงาน และกำหนดวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
5-6	ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งสรุปผลการทดลอง
7	วิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายผลนำไปสู่การสรุป
8	เขียนรายงานโครงงานและบทคัดย่อ
9-10	เตรียมความพร้อมในการนำเสนอผลการทำโครงงาน

Ravitz, et al. (2004: 2) ได้เสนอขั้นตอนการทำโครงงานไว้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. สงสัยสิ่งแวดล้อมหรือปรากฏการณ์รอบตัว แล้ววางแผนเพื่อให้ได้คำตอบ

2. สร้างคำถามเกี่ยวกับเรื่องที่สนใจ กลั่นกรองคำถาม เลือกคำถามที่เป็นแก่นเพื่อนำไปสู่การหาคำตอบ

3. วางแผนการประเมินโดยการกำหนดผลที่คาดหวัง วิธีการและเกณฑ์ในการประเมิน

4. ออกแบบโครงงานเพื่อให้เห็นโครงสร้างของโครงงานที่ต้องการทำ

5. จัดการตามกระบวนการทั้งในส่วนของเครื่องมือ และกลยุทธ์ เพื่อดำเนินการทำโครงงานให้สำเร็จ

Asan and Haliloglu (2005: 72) ได้พัฒนาขั้นตอนการทำโครงงานสำหรับนักเรียนไว้ดังนี้

1. เลือกหัวข้อเรื่องที่ต้องการทำ โดยนักเรียนต้องระดมความคิด อภิปรายผลเพื่อเลือกเรื่องที่กลุ่มตนเองสนใจมากที่สุด

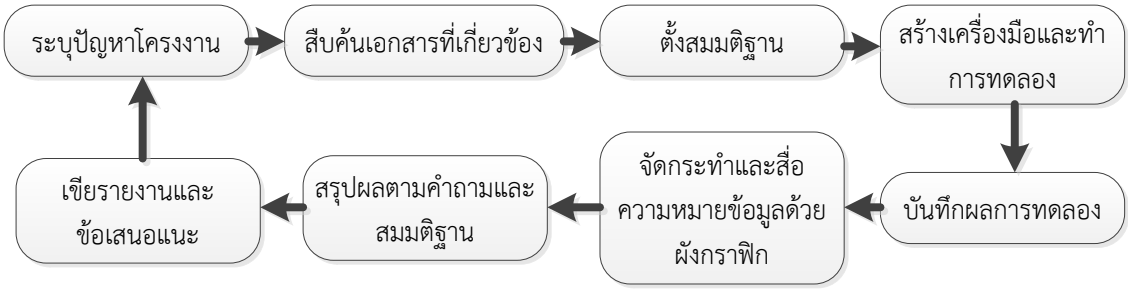
2. นักเรียนทำการสืบค้นข้อมูล เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำผังมโนทัศน์ที่เกี่ยวกับเรื่องที่ต้องการทำโครงงาน เพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับมโนทัศน์ในเรื่องที่ต้องการทำ

3. นักเรียนระดมความคิดเพื่อสร้างตาราง แผนการดำเนินงาน รายละเอียดกิจกรรมที่ต้องทำ และแหล่งข้อมูลที่ต้องทำการสืบค้น

4. นักเรียนดำเนินการตามแผนการดำเนินงานเพื่อทดลอง รวบรวมข้อมูล แล้วนำผลการศึกษามาทำการวิเคราะห์ อภิปราย จากนั้นจึงสร้างผังกราฟิกเพื่อนำเสนอภายในกลุ่มให้เข้าใจได้ตรงกัน แล้วลงข้อสรุปผลการศึกษา

5. นักเรียนนำเสนอผลการทำโครงงานในชั้นเรียน แล้วเปิดโอกาสให้เพื่อนนักเรียนอภิปรายและซักถามข้อสงสัย

Holt (2006: 3) ได้เสนอวงจรขั้นตอนการทำโครงงานไว้เป็นแผนผัง ดังนี้



แผนภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำโครงงานโดย Holt

จากผังกราฟิกข้างต้น Holt ได้กล่าวถึงขั้นตอนการทำโครงงานควรมีขั้นตอนคือ 1) ระบุปัญหาโครงงาน 2) สืบค้นเอกสรที่เกี่ยวข้อง 3) ตั้งสมมติฐาน 4) สร้างเครื่องมือและทำการทดลอง 5) บันทึกผลการทดลอง 6) จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการทดลองด้วยผังกราฟิก 7) สรุปผลการทดลองเพื่อตอบคำถามโครงงานและอภิปรายความสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ และ 8) เขียนรายงานโครงงานและข้อเสนอแนะ

Chanlin (2008: 58-60) ได้เสนอขั้นตอนการทำโครงงานไว้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การได้รับความรู้ และทักษะ
2. ระบุหน้าที่และแผนการทำโครงงาน
3. สืบค้นและรวบรวมข้อมูล
4. จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
5. นำเสนอโครงงานด้วยเทคโนโลยี

Holubova (2008: 27-35) เสนอขั้นตอนในการดำเนินการทำโครงงานควรมีทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมความพร้อมในการทำโครงงาน
2. อ่านเอกสารเพื่อหาประเด็นที่สนใจ
3. สืบค้นข้อมูลที่สนใจอย่างละเอียด
4. ตรวจสอบสมมติฐานให้เกิดความเป็นจริง
5. รายงานผลการทดสอบสมมติฐาน
6. นำเสนอ
7. อภิปรายผล
8. สรุปผล

Parkway Science Fair Committee (2008: 3) ได้เสนอขั้นตอนการทำโครงงานไว้ ดังนี้

1. ระดมความคิดเกี่ยวกับหัวข้อที่สนใจทำโครงงานลงในสมุดบันทึก
2. เลือกหัวข้อที่สนใจมากที่สุด
3. สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อโครงงาน
4. ระบุคำถามหรือปัญหาโครงงาน แล้วตั้งสมมติฐาน พร้อมทั้งระบุและนิยามตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงงาน
5. จัดทำรายการวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ต้องใช้การทำโครงงาน รวมถึงขั้นตอนการดำเนินงาน
6. รวบรวมวัสดุอุปกรณ์ แล้วดำเนินการตามแผนการดำเนินการทำโครงงานจนเกิดความแน่ใจในผลการทดลอง
7. เตรียมข้อมูลเพื่อทำการสรุปผล
8. ทำการทดลองตามกระบวนการอย่างน้อย 3 ครั้ง ทำการรวบรวมข้อมูลและถ่ายภาพการดำเนินการทำการทดลอง
9. สร้างผังกราฟิกเพื่อนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และทำการสรุปผลการทดลอง
10. ทำรายงานโครงงาน
11. เตรียมความพร้อมในการนำเสนอโครงงานรวมถึงจัดทำแผงโครงงาน

Turgut (2008: 66-67) ได้เสนอขั้นตอนการทำโครงงานไว้ ดังนี้

1. ตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่หัวข้อเรื่องที่ต้องการทำโครงงาน
2. วางแผนการดำเนินงานประกอบด้วย กำหนดรูปแบบของการทำโครงงาน ขั้นตอนการดำเนินงาน แหล่งข้อมูล และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. ดำเนินการตามแผนเพื่อสืบค้นและรวบรวมข้อมูล
4. จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
5. วิเคราะห์ผลข้อมูลภายในกลุ่ม
6. สรุปและอภิปรายผล พร้อมทั้งเผยแพร่ข้อมูล

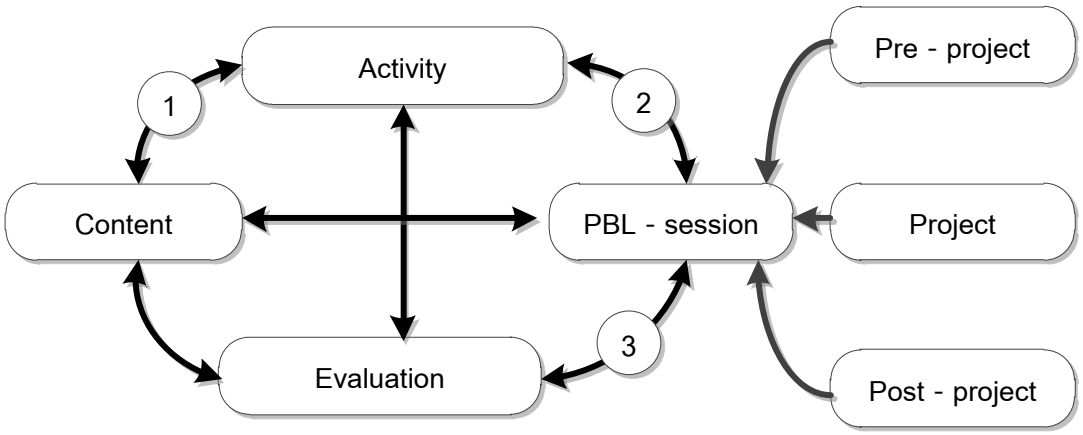
Page Country Schools (2009: 3) เสนอขั้นตอนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ 13 ขั้นตอน ดังนี้

1. เลือกหัวข้อทำหรือปัญหาสำหรับทำโครงงาน
2. ตั้งคำถามโครงงาน
3. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาโครงงาน
4. สร้างสมมติฐาน
5. วางแผนการดำเนินการทำโครงงาน
6. จัดทำรายการเครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์
7. จัดเตรียมเครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์
8. ดำเนินการสร้างเครื่องมือและทดลอง
9. รวบรวมข้อมูล
10. จัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการทดลองและสื่อความหมายด้วยผังกราฟิก
11. สรุปผลข้อมูล
12. เตรียมรายงานโครงงาน
13. เตรียมความพร้อมในการนำเสนอ

Fan and Westwell-Roper (2010: 4-6) เสนอขั้นตอนการทำโครงงาน 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุหัวข้อโครงงานโดยการศึกษาเอกสารงานวิจัย
2. จัดกระทำข้อมูลที่สืบค้นในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับโครงงานที่สนใจ ตั้งคำถามหรือระบุปัญหา และสร้างสมมติฐานที่สามารถเป็นไปได้
3. จัดตารางเวลาและแผนการดำเนินงาน
4. วางแผนและขั้นตอนการทำการทดลอง สำรวจข้อมูล หรือสร้างสิ่งประดิษฐ์
5. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา
6. ดำเนินการตามแผนการทำโครงงาน และรวบรวมข้อมูล
7. จัดกระทำข้อมูลที่ได้จากการทดลองและสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก แล้วแปลผลการทดลองพร้อมทั้งอภิปรายตามปัญหาโครงงาน
8. สรุปผลการทดลอง

Kamou, Bousmah, and Aqqal (2011) ได้เสนอขั้นตอนการทำโครงงานไว้ 3 ขั้นตอน ดังแผนภาพด้านล่างนี้



แผนภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำโครงงานโดย Kamou, Bousmah, and Aqqal (2011)

จากแผนภาพข้างต้น Kamou, Bousmah, and Aqqal ได้อธิบายไว้ ดังนี้

1. SMART – Project เป็นขั้นตอนการนิยามความหมายและกำหนดวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ในบริบทของการเรียนรู้เน้นโครงงานที่สอดคล้องกับเนื้อหาโครงงานที่นักเรียนจะทำ
2. PBL – session เป็นขั้นตอนการดำเนินงานของนักเรียนที่แบ่งเป็นกลุ่มเพื่อทำโครงงาน โดยมีรายละเอียดของขั้นตอน ดังนี้
   2.1. Pre – project เป็นขั้นตอนการออกแบบและกำหนดแผนการดำเนินงาน
   2.2. Project เป็นขั้นตอนการดำเนินการตามแผนงานที่ได้กำหนดไว้ให้เกิดเป็นรูปธรรม พร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสู่การสรุปผล
   2.3. Post – project เป็นขั้นตอนการประเมินผลของสมาชิกภายในกลุ่ม พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขผลงานของกลุ่มตนเอง
3. Evolution เป็นขั้นตอนการนำเสนอ และประเมินโดยเพื่อนร่วมชั้นและครูผู้สอน

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ในข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ได้ 13 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารเพื่อเลือกหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์ตามความสนใจของนักเรียน
2. ระบุปัญหาหรือคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์
3. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์
4. ตั้งสมมติฐาน พร้อมทั้งระบุปัญหาและนิยามความหมายของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์
5. กำหนดวัตถุประสงค์การทำโครงงานวิทยาศาสตร์
6. ออกแบบและวางแผนการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
7. เขียนโครงการเสนอขอทำโครงงานวิทยาศาสตร์

8. ดำเนินการทดสอบสมมติฐานตามแผนการดำเนินการทำโครงงานพร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูล

9. จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก

10. วิเคราะห์และแปลผลข้อมูล

11. สรุปผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับคำถาม สมมติฐาน และวัตถุประสงค์ของการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

12. จัดทำรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์และบทคัดย่อ

13. เตรียมความพร้อมในการนำเสนอผลการทำโครงงานทั้งด้วยวาจาและแผงโครงงาน

1.2 กลยุทธ์ในการจัดการเรียนการสอนโดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์

การเรียนการสอนโดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์เป็นโมเดลสำหรับกิจกรรมในชั้นเรียนที่ไม่ใช่เพียงกิจกรรมในชั้นเรียนหรือครูเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ แต่การเรียนการสอนโดยใช้โครงงานวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ในระยะยาวที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญและบูรณาการความรู้ไปสู่โลกของความเป็นจริง (Ministry of Education Malaysia, 2006: 3) ดังนั้นเมื่อพิจารณาหลักสูตรสากลการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันที่เน้นการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (world-class STEM curriculum) พบว่ามีกลยุทธ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนโครงงานอยู่หลายรูปแบบ แต่ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก มี 5 วิธี (Lantz, 2009: 5-6, Hanover Research, 2011: 24-26) ดังนี้

1. การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering by design)
2. การเรียนรู้โดยใช้วิธีสืบสอบ (Inquiry-based learning)
3. การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based learning)
4. วงจรการเรียนรู้ 5E (5E learning cycle)
5. วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method)

1.2.1 การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering by design)

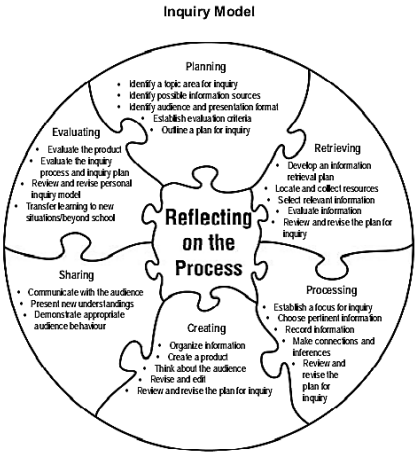
การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกระบวนการสร้างและถ่ายโอนความคิดและมโนทัศน์ไปสู่การสร้างผลงานใหม่ตามความต้องการหรือเพื่อการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน รวมทั้งการพัฒนาคุณภาพการดำรงชีวิตให้ดีขึ้น ซึ่งการจัดการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมแตกต่างจากการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยทั่วไปที่การเรียนวิทยาศาสตร์เรียนรู้ในสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ค้นพบ แต่การเรียนรู้โดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นการเรียนรู้เพื่อนำวิทยาศาสตร์ไปใช้งานจริงในชีวิตประจำวันของนักเรียนผ่านการสร้างผลงาน ดังนั้นการออกแบบทางวิศวกรรมจึงเป็นการเรียนรู้ในการสร้างสรรค์ผลงานที่ไม่เคยมีมาก่อนผ่านกระบวนการทำงานของวิศวกร

1.2.2 การเรียนรู้โดยใช้วิธีสืบสอบ (Inquiry-based learning)

การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบสอบเป็นกระบวนการที่นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียน การตั้งคำถาม การสำรวจตรวจสอบ และการสร้างความเข้าใจ ความหมาย และความรู้ใหม่ ซึ่งอาจเป็นความรู้ที่สามารถใช้ในการตอบคำถาม พัฒนาไปสู่การแก้ปัญหา หรือใช้เป็นข้อสนับสนุนมุมมองหรือความคิดเห็น ความรู้ที่ถูกนำเสนอต่อผู้อื่นอยู่บ่อยครั้งเป็นผลที่เกิดจากกระบวนการสร้างความรู้ด้วยตัวของนักเรียนเอง โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบสอบเป็นการเตรียมโอกาสให้นักเรียนในประเด็น 4 ประเด็น (Alberta, 2004: 3) ดังนี้

1. พัฒนาทักษะที่จำเป็นในชีวิต
2. เรียนรู้การรับมือกับปัญหาที่อาจยังไม่มีแนวทางแก้ไขปัญหาที่ชัดเจน
3. จัดการเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงและความท้าทายเพื่อให้เกิดความเข้าใจ
4. ช่วยให้การสืบค้นแนวทางแก้ปัญหามีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นหรือเป็นรูปธรรมทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

Alberta (2004: 10) ได้เสนอตัวอย่างโมเดลการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบสอบไว้ ดังนี้



แผนภาพที่ 3 โมเดลการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบสอบของ Alberta (2004: 10)

1.2.3 การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based learning)

Utecht (2003: 6-7) ให้กล่าวถึงการเรียนรู้เน้นปัญหาเป็นฐานเป็นโมเดลการเรียนรู้ที่นักเรียนเรียนรู้เนื้อหาและกระบวนการที่ได้รับการพิสูจน์ผ่านการบรรยาย การสอน และการค้นพบ จากนั้นประยุกต์ความรู้ไปสู่สถานการณ์หรือปัญหาใหม่ที่เหมาะสม นอกจากนี้การเรียนรู้เน้นปัญหาเป็นฐานยังเป็นกลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนต้องเผชิญกับสภาพปัญหาที่มีโครงสร้างไม่ชัดเจนและพยายามอย่างถึงที่สุดเพื่อค้นหาแนวทางที่มีประโยชน์ การเรียนรู้เน้นปัญหาเป็นฐานมีลักษณะสำคัญ 3 ประการ ดังนี้

1. เป็นการเรียนรู้ที่นักเรียนมีส่วนร่วมกับสถานการณ์ปัญหาที่ศึกษา

2. เป็นการจัดการหลักสูตรเพื่อให้ครอบคลุมปัญหาแบบองค์รวมที่นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้

3. เป็นการสร้างบรรยากาศการเรียนรู้โดยครูเป็นผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำในการสืบสอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างลุ่มลึก

Walsh (2005: 4) ได้เสนอขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เน้นปัญหาเป็นฐานไว้ 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นระบุปัญหา เป็นการวิเคราะห์ปัญหาโดยฝึกคิดในระดับลึกด้วยการตั้งคำถามที่ว่า “ทำไม” “อย่างไร” และ “เมื่อไหร่”

2. ดึงประสบการณ์เดิม เป็นการระดมความรู้เดิมที่มีเพื่อให้เข้าใจในสภาพปัญหาเบื้องต้นและเป็นแนวทางในการสืบค้นข้อมูลในลำดับถัดไป

3. สร้างสมมติฐานและแนวทางแก้ปัญหา เป็นการอภิปรายภายในกลุ่มเพื่อตั้งสมมติฐานตามลักษณะของปัญหา และแนวทางแก้ปัญหาที่สามารถทำได้

4. ระบุประเด็นปัญหา เป็นการระบุประเด็นโดยอาศัยการตั้งคำถามที่นักเรียนไม่สามารถตอบได้ด้วยความรู้ในปัจจุบัน อันจะนำไปสู่การสืบค้นข้อมูลในลำดับถัดไปในประเด็นที่นักเรียนยังไม่ทราบคำตอบ

5. สืบค้นข้อมูล เป็นการสืบค้นเอกสาร และข้อมูลต่างๆ ด้วยตัวนักเรียนเองในประเด็นข้างต้นที่นักเรียนยังไม่ทราบคำตอบ

6. ตรวจสอบและประยุกต์ความรู้ เป็นการตรวจสอบความรู้จาการสืบค้นข้อมูลแล้วนำความรู้หรือข้อมูลมาประยุกต์เพื่อตอบคำถามหรือแก้ปัญหาในข้างต้นที่นักเรียนต้องการทราบคำตอบ

7. ประเมินและสะท้อนความคิดเห็น เป็นการอภิปรายและสะท้อนความรู้โดยอาศัยข้อมูลจากการศึกษาด้วยตัวนักเรียนเองภายใต้ปัญหา เพื่อให้เกิดความเข้าใจ และสรุปเป็นความรู้ไปสู่ข้อเท็จจริงที่ถูกต้อง

1.2.4 วงจรการเรียนรู้ 5E (5E learning cycle)

Paper (2009: 1) กล่าวถึงการจัดการเรียนการสอนด้วยโมเดลการเรียนรู้ 5E เป็นโมเดลการเรียนรู้ที่สนับสนุนการสร้างความรู้ โดยการสร้างบรรยากาศเพื่อให้นักเรียนค้นพบความรู้ใหม่จากความรู้เดิมที่มีอยู่ด้วยตัวนักเรียนเอง

โมเดลการเรียนรู้ 5E มีขั้นตอน 5 ขั้นตอน (Paper, 2009: 5, Hagerman, 2012: 10) ดังนี้

1. Engagement ดึงความรู้เดิมและกระตุ้นความอยากรู้อยากเห็นในการที่จะเรียนรู้มโนทัศน์ใหม่ผ่านกิจกรรมย่อย

2. Exploration ดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสำรวจตรวจสอบความรู้หรือมโนทัศน์ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ให้ถูกต้อง (conceptual change)

3. Explanation นักเรียนร่วมอภิปรายแลกเปลี่ยนความรู้เพื่อแสดงถึงความเข้าใจในมโนทัศน์ ทักษะกระบวนการ หรือพฤติกรรมที่เชื่อมโยงความรู้หรือมโนทัศน์ที่ถูกต้อง

4. Elaboration ดำเนินกิจกรรมท้าทายความรู้ความสามารถของนักเรียนไปสู่สถานการณ์ใหม่ เพื่อพัฒนาความเข้าใจอย่างลึกซึ้งและประยุกต์ความรู้ไปสู่การสร้างสรรค์ผลงาน

5. Evaluation ประเมินการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

1.2.5 วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method)

EPA (2010: 2-6) กล่าวถึง การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ให้สนุกควรใช้วิธีการสอนแบบโครงงานวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นการทำโครงงานเกี่ยวกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อช่วยเรียนรู้โลกรอบตัวนักเรียนอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ซึ่งการจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนสามารถทำโครงงานวิทยาศาสตร์ได้สำเร็จมีหลายวิธี แต่วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) เป็นแนวทางอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมนักเรียนให้เรียนรู้หลักการทำงานตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

Science Buddies (2008) ได้เสนอขั้นตอนวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไว้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ตั้งคำถาม เป็นขั้นตอนการระบุคำถามจากการสังเกตสถานการณ์หรือปรากฏการณ์

2. สืบค้นข้อมูล เป็นการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางแก้ปัญหาหรือประเด็นคำถาม เพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด และป้องกันความผิดพลาดที่เคยเกิดขึ้น

3. สร้างสมมติฐาน เป็นการคาดคะเนคำตอบ จากคำถามที่สนใจ

4. ทดสอบสมมติฐาน ดำเนินการทดสอบสมมติฐานโดยการทดลองและรวบรวมข้อมูล

5. วิเคราะห์และจัดกระทำข้อมูล นำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และจัดกระทำข้อมูล

6. สรุปผล เป็นการสรุปผลการดำเนินการทำงานให้สอดคล้องกับข้อคำถามก่อนเผยแพร่

EPA (2010: 2-6) เสนอวิธีการทางวิทยาศาสตร์สำหรับการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. การระบุคำถาม เป็นการระบุคำถามจากการสังเกตเพื่อกำหนดหัวข้อหรือประเด็นที่ต้องการศึกษาหรือทำโครงงานวิทยาศาสตร์

2. การสืบค้นข้อมูล สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา โดยใช้การตั้งคำถามตัวเองเพื่อความตรงประเด็นในการสืบค้นข้อมูล

3. การตั้งสมมติฐาน ตั้งสมมติฐานโดยอาศัยข้อมูลจากการสืบคนที่แสดงถึงวิธีการและเหตุผลเพื่อดำเนินการทดลอง

4. การทดสอบสมมติฐานด้วยการทดลอง เป็นการนิยาม/กำหนดตัวแปร ออกแบบและวางแผนการทดสอบสมมติฐานด้วยการทดลองอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ทดลอง และรวบรวมข้อมูลตามแผนที่กำหนด

5. การวิเคราะห์และจัดกระทำข้อมูลด้วยผังกราฟิก เป็นการนำเสนอข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลอง มาวิเคราะห์และจัดกระทำ สรุปเป็นตารางหรือผังกราฟิก แล้วแปลผลข้อมูล

6. สรุปผล เป็นการสรุปผลให้สอดคล้องกับสมมติฐาน แล้วบันทึกรายละเอียดขั้นตอน และผลการดำเนินงานในลักษณะรูปเล่มรายงาน การนำเสนอ หรือแผนผังแสดงผลงาน

1.3 ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาสตร์ไม่มีมาตรฐานตายตัวในการตัดสินว่าโครงงานใดเป็นโครงงานที่ดีที่สุด หรือมีคุณภาพมากที่สุด เนื่องจากแต่ละคนต่างมีเกณฑ์การประเมินที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับมุมมองและประสบการณ์ จากการวิจัยเกี่ยวกับการทำโครงงานวิทยาศาสตร์พบว่าโครงงานวิทยาศาสตร์ที่ดีต้องช่วยให้นักเรียนได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ในการทำโครงงานและสามารถทำโครงงานได้ในอนาคตเพื่อสร้างสรรค์โครงงานใหม่หรือพัฒนาโครงงานให้ดีกว่าเดิม (Seidel and Aryeh, 2002: 20) มีนักวิชาการและนักการศึกษาจำนวนมากได้กล่าวถึงความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

Authenticity Consulting (1998: 102-103) กล่าวถึงการทำโครงงานให้สำเร็จนั้นเป็นเรื่องยากและขึ้นอยู่กับมุมมองและความเหมาะสม นักเรียนที่มีความสามารถในการทำโครงงานนั้นอาจเกิดจากประเด็นใดประเด็นหนึ่งหรือหลายประเด็นดังต่อไปนี้

1. มีการกำหนดวัตถุประสงค์โครงงานได้อย่างชัดเจน
2. ปัญหาได้รับการแก้ไขแม้สำเร็จหรือไม่สำเร็จก็ตาม แต่สามารถอธิบายถึงความรู้ที่ได้รับจากการทำโครงงานได้
3. โครงงานเสร็จในเวลาที่กำหนดไว้
4. ทำงานเป็นทีมและมีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย
5. สามารถระบุปัญหาหรือตั้งปัญหาในอนาคตได้
6. นำเสนอความคืบหน้าของการทำโครงงานเป็นประจำด้วยร่องรอยของภาระงาน

Baccarini and Collins (1999) กล่าวถึงความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ต้องพิจารณานาจาก 2 ส่วน ดังนี้

1. ความสามารถด้านผลผลิตหรือผลงานโครงงาน
   1.1. วิธีการดำเนินงานให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน

1.2. ผลผลิตหรือผลงานต้องสอดคล้องตามวัตถุประสงค์โครงงาน

1.3. ปัญหาโครงงานและผลผลิตสอดคล้องกับปัญหาในชีวิตประจำวัน

2. ความสามารถด้านกระบวนการทำโครงงาน

2.1. การกำหนดวัตถุประสงค์ กำหนดการทำงาน และงบประมาณ

2.2. แผนการดำเนินงานและภาระงานตามช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์การทำโครงงาน

2.3. การทำงานเป็นทีมและการสื่อสาร

Stager (2000: 20-21) กล่าวถึงความสามารถในการทำโครงงานได้ดีต้องพิจารณาจาก 8 องค์ประกอบ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์และความสอดคล้อง ต้องพิจารณาวัตถุประสงค์ของการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ถึงประโยชน์ ความเหมาะสม และความเป็นไปได้ในการสร้างสรรค์โครงงานได้จริง

2. ระยะเวลาในการทำโครงงาน เนื่องจากการทำโครงงานต้องอาศัยเวลา ดังนั้นการบริหารและจัดการเวลาจึงมีความสำคัญในการทำโครงงาน

3. ความซับซ้อน โครงงานวิทยาศาสตร์ที่ดีต้องแสดงให้เห็นถึงการบูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชารวมทั้งความรู้เดิม

4. ความเอาใจใส่ในการทำโครงงาน หมายถึงความทุ่มเทและความพยายามในการทำโครงงานให้แล้วเสร็จ

5. การเชื่อมโยง การทำโครงงานต้องอาศัยความเชื่อมโยงจากหลายสาขาวิชาและโลกของความเป็นจริง รวมทั้งการทำงานร่วมกันเป็นทีม

6. การเข้าถึง กล่าวคือการเข้าถึงแหล่งการเรียนรู้ที่หลากหลาย รวมทั้งการเลือกใช้ข้อมูลที่มีคุณภาพ

7. การแลกเปลี่ยนความรู้ เป็นการแลกเปลี่ยนความรู้และความคิดเห็นกับเพื่อนนักเรียนเพื่อพัฒนาโครงงานให้ดียิ่งขึ้น

8. ความแปลกใหม่ โครงงานวิทยาศาสตร์ที่ดีต้องเป็นโครงงานที่ใหม่หรือสร้างสรรค์

BASEF (2004: 4) กล่าวถึงความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ไว้ว่า การทำโครงงานเริ่มจากการตั้งคำถามจากความสนใจอย่างชัดเจนที่สามารถนำไปสู่การทำงานอย่างเป็นขั้นตอนภายใต้ความสนใจของนักเรียน ซึ่งต้องพิจารณาจาก 3 ประเด็น ดังนี้

1. รายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ที่อธิบายถึงการวางแผนการดำเนินการทำโครงงานและการเก็บรวบรวมข้อมูลที่สอดคล้องกับคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ได้อย่างชัดเจน

2. ผลงานหรือผลผลิตของโครงงานวิทยาศาสตร์ต้องสอดคล้องกับคำถามโครงงาน

3. แนวทางแก้ปัญหาที่นำเสนอมุมมองใหม่และแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

Van der Westhuizen and Fitzgerald (2005: 1) กล่าวถึงความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์นั้นต้องมีความสำเร็จใน 2 ปัจจัย ดังนี้

1. กระบวนการ (process) ซึ่งเป็นความสามารถในการจัดการเพื่อดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ให้แล้วเสร็จตามกำหนด โดยเป็นการเน้นความสนใจไปที่กระบวนการจัดการและรายละเอียดเกี่ยวกับเวลา งบประมาณ และการทำงานเป็นทีมของนักเรียน

2. ผลงาน (product) เป็นการพิจารณาความสำเร็จในการสร้างผลผลิตหรือผลงาน ซึ่งเน้นที่คุณภาพของผลงานของนักเรียน

Ministry of Education Malaysia (2006: 18) กล่าวถึงองค์ประกอบพื้นฐานที่แสดงถึงความสามารถในการทำโครงงาน มีดังนี้

1. ต้องทำงานเป็นทีมอย่างมีประสิทธิภาพ
2. ระบุปัญหาโครงงานที่ซับซ้อน ลึกซึ้ง และสร้างสรรค์ในสิ่งที่นักเรียนสนใจใฝ่รู้
3. วางแผนการดำเนินการทำโครงงาน และการนำเสนอ อย่างรัดกุมและชัดเจน
4. ประเมินการทำโครงงานในส่วนของการสื่อสาร การทำงานเป็นทีม และเนื้อหาที่ใช้ในการทำโครงงานจากเพื่อนและตัวนักเรียนเอง

Singer (2006: 1) กล่าวถึงลักษณะของความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ต้องมีองค์ประกอบ 7 องค์ประกอบ ดังนี้

1. มีความสัมพันธ์ที่ดีของสมาชิกภายในกลุ่ม
2. มีการออกแบบและวางแผนการดำเนินงานเป็นอย่างดี
3. กำหนดวัตถุประสงค์ของการทำโครงงานอย่างชัดเจน
4. ระมัดระวังปัจจัยที่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงงาน หรือระมัดระวังข้อจำกัดในการทำโครงงาน
5. มีร่องรอยอันแสดงให้เห็นถึงการดำเนินงานของนักเรียนในแต่ละขั้นตอน
6. ควบคุมและสื่อสารกับเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพ
7. มีความรับผิดชอบในหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย

Kuen, Zailani, and Fernando (2008) กล่าวถึงนักเรียนที่สามารถทำโครงงานวิทยาศาสตร์ได้นั้นต้องพิจารณาจากประเภทของโครงงานและบรรยากาศหรือสภาพแวดล้อมของปัญหาโครงงานที่นักเรียนเผชิญ ซึ่งมี 3 ปัจจัยที่แสดงว่านักเรียนมีความสามารถในการทำโครงงาน ดังนี้

1. การออกแบบและวางแผนขั้นตอนการทำงาน ต้องมีการออกแบบและวางแผนขั้นตอนการทำโครงงานอย่างเป็นขั้นตอนและรัดกุม เพื่อให้สามารถดำเนินการทำโครงงานได้สอดคล้องกับประเด็นปัญหาและประเภทของโครงงานที่นักเรียนต้องการศึกษา

2. การบรรลุวัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน การดำเนินการทำโครงงานจนสำเร็จนั้นอาจแก้ปัญหาได้และไม่สามารถแก้ปัญหาได้ แต่การดำเนินการตามขั้นตอนของนักเรียนที่ได้กำหนดไว้อย่างครบถ้วน และสามารถทำได้ด้วยตัวนักเรียนเองถือเป็นการบรรลุวัตถุประสงค์ในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

3. การทำงานเป็นทีม เป็นปัจจัยที่สำคัญของการทำโครงงานที่ต้องอาศัยความรับผิดชอบตามบทบาทหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย และความร่วมมือร่วมใจผ่านการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ

สามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นความสามารถที่เกิดจาก 2 ด้าน คือ (1) ความสามารถด้านกระบวนการทำโครงงาน เน้นพิจารณากระบวนการเกี่ยวกับการออกแบบและวางแผนการดำเนินงาน เวลาที่ใช้ในการดำเนินงานในแต่ละภาระงาน และความรับผิดชอบของสมาชิกภายในกลุ่ม และ (2) ความสามารถด้านผลผลิตหรือผลงานโครงงาน เน้นพิจารณาคุณภาพของงานและรายงานโครงงานที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำโครงงานทั้งหมดด้วยความเข้าใจเพื่อแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

1.4 แนวทางการประเมินผลความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

นักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนรู้เน้นโครงงานเป็นฐานจำเป็นต้องสร้างผลงานซึ่งไม่สามารถทำการทดสอบได้ด้วยแบบสอบอิงมาตรฐาน (standardize test) ได้ จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับการทดสอบ เป็นการเน้นวัดทักษะและสมรรถนะการเรียนรู้ของนักเรียนที่เกิดขึ้นในกระบวนการเรียนรู้ (Bell, 2010: 43) สอดคล้องกับแนวคิดของ Simon Science Fair Committee (2010: 5-6) ที่กล่าวถึงแนวทางการประเมินผลการเรียนรู้โดยเน้นโครงงานเป็นฐานสามารถประเมินได้จาก 2 ส่วน ได้แก่ (1) เนื้อหา พิจารณาถึงการสืบค้นข้อมูล ความเข้าใจ ความครบถ้วนของเนื้อหา และความน่าเชื่อถือ และ (2) ทักษะการปฏิบัติ พิจารณาทักษะจำเป็นสำหรับการทำโครงงาน เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการเรียนรู้โดยเน้นโครงงานเป็นฐานสอดคล้องกับพฤติกรรมด้านทักษะพิสัยที่ต้องอาศัยความสามารถเชิงปฏิบัติการ โดยเฉพาะการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับสถานการณ์ใหม่หรือนอกเหนือจากที่เคยทำมาแล้ว (พิชิต ฤทธิ์จรูญ, 2552: 40-41)

การประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์ไม่ใช่เพียงประเมินผลงาน (product) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาถึงกระบวนการ (process) ด้วย (Demien, 2005: 3-4) สอดคล้องกับ พิชิต ฤทธิ์จรูญ (2552: 77-78) อธิบายถึงการประเมินการปฏิบัติสามารถทำการทดสอบได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ หากแบ่งตามปัจจัยการประเมินสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน ได้แก่ (1) การวัดกระบวนการ เป็นการวัดที่พิจารณาเฉพาะ (1) การวัดกระบวนการ เป็นการวัดที่พิจารณาเฉพาะวิธีทำวิธีปฏิบัติในการทำงานหรือกิจกรรม และ (2) การวัดผลงานหรือผลผลิต เป็นการวัดที่พิจารณาที่ผลงานที่เกิดจากการทำงานของนักเรียน

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการวัดและประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การประเมินผลงานโครงงานวิทยาศาสตร์ และแนวทางการสร้างภาระงานเพื่อ

ใช้ในการวัดความสามารถในการทำโครงงานสิทยาศาสตร์สามารถสรุปได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) การวัดและประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และ (2) การวัดและประเมินผลงานโครงงานวิทยาศาสตร์

1.4.1 การวัดและประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

การประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นการประเมินจากพฤติกรรมของนักเรียน ควรพิจารณาถึงขั้นตอนของการทำโครงงานที่นำไปสู่การตอบคำถามหรือก่อให้เกิดการบรรลุภาระงานที่นำไปสู่การตอบคำถามโครงงาน วิธีการประเมินจึงเน้นที่ภาระงานที่นักเรียนต้องทำเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้โดยครูสามารถสะท้อนผลกลับไปสู่นักเรียนระหว่างกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ได้ (Grant, 2002, Klein, et al., 2007: 16-17) Patton and Robbin (2012: 57) จึงได้เสนอการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบตรวจสอบรายการ (checklist) เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจถึงภาระงานที่นักเรียนควรทำให้สำเร็จตามขั้นตอนหรือกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ เช่นเดียวกับการประเมินการพัฒนาการเรียนรู้โครงงานวิทยาศาสตร์ของ Ravitz, et al. (2004) ที่ได้ประเมินโดยใช้แบบตรวจสอบรายการเพื่อตรวจสอบความครบถ้วนของภาระงานที่นักเรียนควรทำระหว่างการทำโครงงาน

แบบตรวจสอบรายการเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดพฤติกรรมการปฏิบัติงาน โดยมีการบันทึกพฤติกรรมที่สังเกตว่าพฤติกรรมหรือกิจกรรมใดมีการปฏิบัติหรือไม่ปฏิบัติ แบบตรวจสอบรายการจึงนิยมใช้กับกิจกรรมที่มีลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติ โดยทำเครื่องหมายลงไปในช่องที่ตรงกับรายการพฤติกรรมของนักเรียนตามรายการที่กำหนดไว้ (พิชิต ฤทธิ์จรูญ, 2552: 83) ดังตัวอย่าง ต่อไปนี้

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ปรับจาก Gaston Regional Science and Engineering Fair (GRSEF) (2004: 7)

ตารางที่ 2 แบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF

รายการ	ผลการดำเนินงาน
1. ภาพรวมการทำงานและการจัดกระทำเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
1.1 จัดกระทำทุกส่วนให้มีความชัดเจนและสอดคล้องกัน	
1.2 สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียดและรอบคอบ	
2. คำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ต้องนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบหรือชวนให้ศึกษาด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลที่นำมาสนับสนุนการตัดสินใจ	
3. ตั้งสมมติฐานให้สามารถเกิดขึ้นได้และมีความชัดเจน	
4. วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงาน	
4.1 จัดทำรายการวัสดุอุปกรณ์	
4.2 อธิบายขั้นตอนการทำโครงงานอย่างเป็นลำดับและชัดเจน	

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Simmons (2004: 15)

ตารางที่ 3 แบบตรวจสอบรายการประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Simmons

รายการดำเนินการ	**ระยะเวลา (สัปดาห์)**	**ผลการดำเนินงาน**
1. เลือกหัวข้อโครงงานศาสตร์	1	
2. ระบุปัญหาและคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์	1	
3. สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2	
4. ตั้งสมมติฐาน	1	
5. วางแผนและออกแบบขั้นตอนการทำโครงงาน	1	
6. ดำเนินการทำโครงงาน	ตามความเหมาะสม	
7. สังเกต วิเคราะห์ และจัดกระทำข้อมูล	1-2	

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ที่ปรับจาก Science Buddies (2007: A-2) ต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Science Buddies

รายการ	**ช่วงเวลาดำเนินการ**
1. ระบุคำถามโครงงาน	
1.1 ค้นหาแนวคิดสำหรับทำโครงงานวิทยาศาสตร์	
1.2 ทำโครงร่างโครงงานวิทยาศาสตร์	
2. สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทำการสืบค้นและรวบรวมข้อมูล	
2.2 ทำรายงานการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
3. ตั้งสมมติฐานโครงงานวิทยาศาสตร์	
4. ทดสอบสมมติฐานด้วยการทดลอง	
4.1 ออกแบบกระบวนการทดลอง	
4.2 ดำเนินการทดลอง	
5. วิเคราะห์ข้อมูล	
6. สร้างผังเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์	
7. ทำรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Thang Tran (2009) มีดังนี้

ตารางที่ 5 แบบตรวจสอบรายการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ปรับจาก Thang Tran

รายการ	ผลการดำเนินงาน
1. บันทึกรายละเอียดที่นักเรียนพบและระดมความคิด	
2. สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
3. ระบุคำถามและประเด็นปัญหา	
4. รวบรวมข้อมูลจากแหล่งการเรียนรู้ต่างๆ รวมถึงหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับปัญหาโครงงาน	
5. จัดกระทำและเลือกข้อมูลที่สอดคล้องกับหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์	
6. รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วจัดกระทำข้อมูลเป็นรูปภาพ กราฟ และแผนภาพ	

จากการศึกษาเอกสารข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การวัดและประเมินความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ในส่วนของกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ สามารถใช้แบบตรวจสอบรายการ (checklist) เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจภาระงานที่ควรทำให้สำเร็จตามขั้นตอนหรือกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

1.4.2 การวัดและประเมินผลงานโครงงานวิทยาศาสตร์

การวัดผลงานเป็นการวัดที่พิจารณาเฉพาะผลงานที่เกิดจากการทำงานหรือกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งการวัดผลงานหรือผลผลิตจากการทำโครงงานวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การประเมินที่บ่งชี้ถึงระดับคุณภาพของการทำงาน รวมถึงการนำเสนอและการทำงานร่วมกันภายในกลุ่ม จึงต้องอาศัยเครื่องมือที่มีความเฉพาะและละเอียดในการประเมิน (Ravitz, 2004) Nitko and Brookhart (2007: 262) กล่าวถึงแนวทางการประเมินสมรรถนะเกี่ยวกับการทำโครงงานของนักเรียนอย่างเป็นระบบต้องประกอบด้วย 3 กระบวน ได้แก่ (1) การระบุรายการของสมรรถนะที่ต้องการวัดให้ชัดเจน ซึ่งครูต้องทำความเข้าใจถึงกระบวนการเรียนรู้ที่นักเรียนใช้ในการสร้างผลงาน (2) การระบุภาระงาน เป็นการกำหนดภาระงานให้กับนักเรียนเพื่อช่วยในการบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ และ (3) สร้างแนวทางการให้คะแนนและบันทึกผล เป็นการสร้างเกณฑ์การประเมินผลให้เกิดความเหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด และจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการประเมินผลงานโครงงานวิทยาศาสตร์สามารถสรุปแนวทางการวัดและประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์ได้ 2 วิธี ได้แก่ (1) การประเมินส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ และ (2) การประเมินโดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบรูบริกส์

1.4.2.1 การประเมินส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบตรวจสอบรายการ

รายงานโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมการสื่อสารหรือสื่อความหมายที่สะท้อนความคิดของนักเรียนเกี่ยวกับเรื่องที่นำเสนอหรือความรู้เพื่อให้คนอื่นได้รับรู้ เกิดความรู้ความเข้าใจและชื่นชมในความสำเร็จ หรือตรวจสอบ และให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำเสนอผลงาน (สสวท, 2555: 100) นอกจากนี้รายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ยังเป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ ระหว่างการทำโครงงาน รวมถึงการอธิบายขั้นตอนการดำเนินงาน การจัดกระทำข้อมูล และการสรุปผล อันแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสนใจศึกษา (Matin-Mayers, Stephen, and Young, 2013: 18) การประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์นั้นต้องมีแบบฟอร์มหรือส่วนประกอบในการเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์เพื่อช่วยนักเรียนเตรียมตัวและช่วยในการประเมิน ส่งผลให้แบบตรวจสอบรายการสำหรับการประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์มีความเหมาะสมในการเตรียมความพร้อมสำหรับการประเมินผลทั้งครูและนักเรียน (Science World British Columbia, 2007: 56)

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF (2004: 13)

ตาราง 6 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF

รายการการประเมิน	**ผ่าน**	**ไม่ผ่าน**
1. การจัดกระทำ		
1.1 จัดกระทำตามลำดับอย่างเป็นขั้นตอน		
1.2 แต่ละส่วนมีการอธิบายอย่างชัดเจน		
1.3 มีการตั้งชื่อโครงงาน		
1.4 มีการจัดกระทำอย่างเป็นระเบียบและสวยงาม		
1.5 ระบุชื่อผู้ทำโครงงานวิทยาศาสตร์		
2. การระบุคำถามหรือปัญหาโครงงานวิทยาศาสตร์		
2.1 บรรยายสภาพปัญหาหรือคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์		
2.2 มีเอกสารและงานวิจัยสนับสนุนโครงงานวิทยาศาสตร์ที่ต้องการทำ		

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ปรับจาก Simmons (2004: 23)

ตาราง 7 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Simmons

ผลดำเนินการ	รายการ
☐	1. หน้าปกประกอบด้วยชื่อโครงงานและรายชื่อผู้ทำโครงงาน
☐	2. บทคัดย่อโครงงานวิทยาศาสตร์
☐	3. สารบัญ
☐	4. บทนำ
☐	5. อธิบายปัญหาหรือคำถาม วัตถุประสงค์ และสมมติฐานโครงงานวิทยาศาสตร์
☐	6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เรียบเรียงด้วยความเข้าใจของนักเรียน

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Science Buddies (2007: A-11)

ตาราง 8 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Science Buddies

ผลดำเนินการ	รายการ
☐	1. หน้าปก
☐	2. บทคัดย่อประกอบด้วยสมมติฐาน เครื่องมือ กระบวนการดำเนินงาน ผลการดำเนินงาน และข้อสรุป
☐	3. คำถามโครงงาน ตัวแปร และสมมติฐาน
☐	4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
☐	5. รายการวัสดุอุปกรณ์

ตัวอย่างแบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ปรับจาก Elzinga, Salzer, and Willioughby (2008: 1-4)

ตาราง 9 แบบตรวจสอบรายการประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Elzinga, Salzer, and Willioughby

รายการ	ผลการตรวจสอบ
1. ที่มาและความสำคัญของโครงงานวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสนใจ	
1.1 อธิบายพัฒนาการการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	
1.2 อธิบายความสำคัญของโครงงานวิทยาศาสตร์	
1.3 วิเคราะห์โครงงานวิทยาศาสตร์ที่คล้ายหรือใกล้เคียงเรื่องที่ศึกษา	
2. วัตถุประสงค์การทำโครงงานวิทยาศาสตร์	
2.1 ระบุวัตถุประสงค์โครงงานวิทยาศาสตร์	
2.2 อธิบายเหตุการณ์สำคัญและกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบตรวจสอบรายการมีความเหมาะสมทั้งต่อครูและต่อนักเรียนในการเตรียมความพร้อมสำหรับการประเมินและความครบถ้วนของส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

1.4.2.2 การประเมินโดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบรูบริกส์

การประเมินด้านสมรรถนะของนักเรียนในการทำโครงงานสามารถวัดได้หลายมิติ แต่การประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนต้องมีความสอดคล้องกันทั้งวัตถุประสงค์ เนื้อหาการเรียนรู้และภาระงาน เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง (outcome) ซึ่งการสอนโดยใช้แบบสอบหลังเรียนไม่สามารถวัดได้ จึงควรใช้เกณฑ์การประเมินแบบรูบริกส์สำหรับการประเมินภาระงาน ซึ่งถือได้ว่าเป็นการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียน (Nitko and Brookhart, 2007: 249, Keppell and Carless, 2006: n.p.)

การสร้างเกณฑ์การประเมินแบบรูบริกส์สำหรับประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์การนำเสนอ หรือการมีส่วนร่วมในการเรียนเป็นเรื่องยากที่จะสามารถสร้างเกณฑ์ให้เหมาะสม แต่เป็นเครื่องมือที่สามารถบ่งชี้ได้ถึงคุณภาพของการทำงานได้เป็นอย่างดี (Ravitz, 2004) ดังตัวอย่างเกณฑ์การประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF (2004: 10-11)

ตารางที่ 10 เกณฑ์การประเมินรายงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์ปรับจาก GRSEF

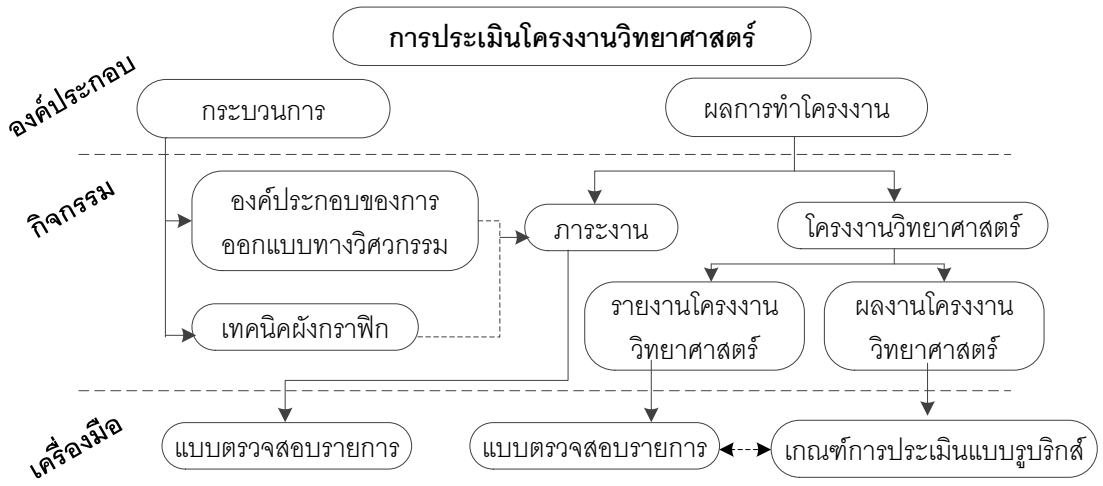
รายการประเมิน	**ระดับคะแนน**			
	1	**2**	**3**	**4**
บทนำ	ไม่สามารถให้ข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงความต้องการทำโครงงาน	ให้ข้อมูลเพียงเล็กน้อย	ให้ข้อมูลมากพอสมควร เพียงพอที่สรุปความต้องการทำโครงงาน	นำเสนอด้วยภาษาที่กระชับ เป็นลำดับให้เห็นถึงความต้องการทำโครงงาน
สมมติฐาน	สมมติฐานไม่สอดคล้องกับคำถามโครงงาน	สมมติฐานสอดคล้องกับคำถามโครงงาน แต่เรียบเรียงไม่ถูกต้อง	สมมติฐานสามารถตอบคำถามโครงงานและเรียบเรียงได้ถูกต้อง	สมมติฐานตอบคำถามโครงงานอย่างน่าสนใจและเรียบเรียงได้อย่างถูกต้อง

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์ของ Simmons (2004: 29) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 11 เกณฑ์การประเมินรายงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์ปรับจาก Simmons

ประเภทโครงงาน	ระดับคะแนน			
	1	2	3	4
ทดลอง	ทดลองซ้ำและรายงานผลการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐาน	ขยายความรู้จากการทดลองไปสู่กระบวนการทำโครงงาน การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการประยุกต์ความรู้	ใช้แนวทางใหม่ในการออกแบบ จัดกระทำ และประยุกต์กระบวนการทำโครงงานด้วยการควบคุมตัวแปรต่างๆ	ใช้แนวทางการทดลองใหม่ไปสู่การวิจัยปัญหาอย่างลุ่มลึก
ประดิษฐ์หรือนวัตกรรม	สร้างแบบจำลองที่เรียบง่าย	สร้างสิ่งประดิษฐ์หรือใช้สิ่งประดิษฐ์ไปยังสถานการณ์ใหม่	ออกแบบและสร้างนวัตกรรมใหม่จากการประยุกต์ความรู้	สร้างเทคโนโลยีใหม่หรือบูรณาการเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและเศรษฐกิจ

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นการประเมินด้านสมรรถนะของนักเรียนที่ต้องอาศัยกระบวนการ 3 ส่วนคือ (1) ระบุสมรรถนะตามกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน เชื่อมโยงสู่ส่วนที่ (2) ระบุภาระงานโดยกำหนดภาระงานให้สอดคล้องกับกระบวนการเรียนรู้ และ (3) สร้างเกณฑ์การประเมินแบบรูบริกส์ โดยกระบวนการทั้ง 3 ส่วนนี้นำไปสู่การประเมินความสามารถในการทำโครงงาน 2 ส่วน คือ (1) กระบวนการที่นักเรียนปฏิบัติ และ (2) ผลงานการทำโครงงานของนักเรียน ซึ่งผู้วิจัยสรุปเป็นแผนภาพดังนี้



แผนภาพที่ 4 สรุปแนวทางการประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์

จากแผนภาพข้างต้น แสดงถึงเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินการทำโครงงานที่แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การประเมินกระบวนการ และ การประเมินผลของการทำโครงงาน การเลือกใช้แบบตรวจสอบรายการในการประเมินกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เพื่อกำหนดภาระงานในการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ส่วนการประเมินผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ประเมินจากสองส่วนได้แก่ (1) ส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ที่ใช้แบบตรวจสอบรายการเพื่อความครบถ้วนของส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ แล้วพิจารณารายละเอียดในแต่ละส่วนของรายงานโดยอาศัยส่วนที่ (2) เกณฑ์การประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์ที่ใช้พิจารณาให้คะแนนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ ผลงานโครงงานวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงการนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์

2. การวิเคราะห์

สภาวการณ์โลกกำลังเคลื่อนย้ายจากยุคข้อมูลข่าวสาร ผ่านยุคสารสนเทศ เข้าสู่ยุคสังคมใหม่ของโลกาภิวัฒน์ที่ไร้พรหมแดน ก่อให้เกิดการเรียนรู้ในโลกของการเปลี่ยนแปลง ความเจริญทางเทคโนโลยีและการสื่อสารมีการแข่งขันสูงขึ้น สังคมไทยย่อมได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม ความรู้และการเรียนรู้เป็นเครื่องจักรสำคัญที่ทำให้คนมีความรู้และทักษะที่จำเป็นได้เปรียบในการแข่งขัน (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2553: 15) ความรู้ในอนาคตเป็นผลจากการประมวลข้อมูลที่สะท้อนความเฉพาะบุคคลหรือเฉพาะท้องถิ่น โดยสังคมเป็นผู้พัฒนากระบวนการกลั่นกรองข้อมูล ค่านิยม และวัฒนธรรมเพื่อสร้างความรู้ สังคมที่ประสบความสำเร็จในอนาคตจึงควรมีแนวทางที่หลากหลายในการเลือกรับข้อมูล และค่านิยมของท้องถิ่นของตน (Passig, 2003: 81) ประเทศไทยจึงมุ่งเน้นสร้างสังคมแห่งภูมิปัญญาและการเรียนรู้ ที่มีลักษณะการถ่ายทอดความรู้ที่เน้นการวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เนื่องจากสังคมไทยขาดทักษะในการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ทำให้ความรู้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2553: 20-21)

ด้วยความต้องการให้สังคมไทยเป็นสังคมแห่งปัญญาและการเรียนรู้ส่งผลให้แผนการศึกษาแห่งชาติ ฉบับปรับปรุง (พ.ศ. 2552-2559) ได้กำหนดวัตถุประสงค์ในข้อที่ 2 กล่าวว่า “สร้างสังคมไทยให้เป็นสังคมคุณธรรม ภูมิปัญญา และการเรียนรู้” แต่สิ่งที่พบจากการประเมินคุณภาพภายนอกของสำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา หรือ สมศ. ในปี พ.ศ. 2550 พบว่า สถานศึกษาที่สามารถจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ สังเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ คิดไตร่ตรอง เป็นร้อยละ 11.8 และทักษะที่จำเป็นในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง เป็นร้อยละ 24.4 ซึ่งกล่าวคือไม่ผ่านมาตรฐานที่ 4 คือ การวิเคราะห์ และสังเคราะห์ และมาตรฐานที่ 6 การแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2553: 48) หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มุ่งเน้นให้นักเรียนมีสมรรถนะ 5 ประการ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ ความสามารถในการวิเคราะห์ เพื่อสร้างองค์ความรู้หรือสารสนเทศ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551: 4) เช่นเดียวกับจุดเน้นสู่การพัฒนาคุณภาพผู้เรียนด้านความสามารถและทักษะสำหรับนักเรียนระดับชั้น ม. 4-6 ที่กล่าวว่า “แสวงหาความรู้เพื่อการแก้ปัญหา ใช้เทคโนโลยีเพื่อการเรียนรู้ ... มีทักษะการคิดขั้นสูง” (กระทรวงศึกษาธิการ, 2553: 6-7) เช่นเดียวกับหลักสูตรการศึกษาแห่งชาติของประเทศอังกฤษที่สนับสนุนทักษะการคิดในการเรียนรู้ หนึ่งในนั้นคือ ทักษะการประมวลข้อมูลที่สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้น คือ (1) รวบรวมข้อมูล (2) ระบุ จำแนก และเรียงลำดับ (3) เปรียบเทียบความเหมือนและความต่าง และ (4) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ซึ่งเป็นระดับสูงสุดที่นักเรียนต้องสามารถมองภาพรวมของมโนทัศน์ และความเป็นเหตุเป็นผล (Secondary National Strategy, 2006: 12)

การคิดเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาการศึกษา การคิดของคนสามารถส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเรียนและประสิทธิภาพในการเรียน ดังนั้นการคิดจึงเชื่อมโยงกับกระบวนการการเรียนรู้ (Heong et al., 2011: 281-282) การพัฒนาการคิดของนักเรียนเกิดจากการผสมผสานของหลายกิจกรรม การวิเคราะห์และสร้างความสัมพันธ์เป็นหนึ่งในนั้น โดยเริ่มจากความสัมพันธ์อย่างง่าย แล้วเพิ่มความซับซ้อนให้มากขึ้น ซึ่งธรรมชาติของการคิด (nature of thinking) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่มีการประยุกต์หรือปรับปรุงเพื่อเพิ่มเติมความท้าทาย (King, Goodson, and Rohani, 2011: 39) การวิเคราะห์ควรได้รับความสนใจในกระบวนการสอนเทคโนโลยีและกระบวนการสร้างทักษะสำหรับการออกแบบ เนื่องจากการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงออกในส่วนของการออกแบบและการวางแผน สำหรับกระบวนการออกแบบนั้นการวิเคราะห์จะแสดงออกในส่วนของการสร้างและการพัฒนา อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์มีความสำคัญและมีบทบาทเพียงบางช่วงเวลา โดยเฉพาะในส่วนของการรวบรวมข้อมูลและการสร้างแบบจำลอง (Levin and Lieberman, 2000.: 1) สอดคล้องกับแนวคิดของ Robbin (2011: 41) ที่กล่าวถึงการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบที่เพิ่มเติมจากสถานการณ์ที่นักเรียนสนใจแล้วสืบค้นข้อมูล โดยการวิเคราะห์เกิดขึ้นเมื่อสถานการณ์นั้นไม่ชัดเจน จำเป็นต้องระบุเพื่อสร้างประเด็นปัญหา รวมไปถึงการระบุตัวแปรและผลที่ต้องการ เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาต่อไป Levin and Lieberman (2000: 1) จึงได้เสนอแนวทางในการปลูกฝังทักษะกระบวนการคิดและการวิเคราะห์สำหรับนักเรียนสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 แนวทาง คือ (1) การปฏิบัติในสิ่งที่สอดคล้องกับโลกของ

ความจริง และ (2) การใช้สัญลักษณ์ในการนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับโลกของความเป็นจริงบนพื้นฐานของทฤษฎีต่างๆ

โลกต้องการพัฒนาคนที่มีความสามารถในการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้น คนที่สามารถวิเคราะห์ได้เป็นคนที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของผลสัมฤทธิ์ในการทำงานด้านต่างๆ เนื่องจากเข้าใจถึงหลักสำคัญที่ใช้ในการขับเคลื่อนกระบวนการต่างๆ ให้ไปสู่ความสำเร็จได้ดีกว่าคนที่ขาดความสามารถในการวิเคราะห์ แต่การวิเคราะห์ที่ดีต้องอาศัยเทคนิค เครื่องมือ และเทคโนโลยีที่เหมาะสม (Rich et al. 2010: 3) การวิเคราะห์นั้นแทรกอยู่ในกลยุทธ์ต่างๆ มากมาย เช่น Advance Organizers, Concept mapping, Classifying, และ Reading image (Glevey, 2008: 42) โดยนักเรียนแต่ละคนต่างมีแนวทางและกลยุทธ์ในการจัดกระทำความรู้ และเหตุการณ์แตกต่างกัน ส่งผลถึงการเข้าใจข้อมูลและเหตุการณ์ รวมไปถึงสังคมและวัฒนธรรมของท้องถิ่นที่นักเรียนอาศัยอยู่ ครูจึงมีหน้าที่ช่วยนักเรียนในการเปลี่ยนโครงสร้างความคิดผ่านการเรียนรู้เกี่ยวกับข้อมูลและทักษะที่จำเป็น เพื่อพัฒนาทักษะในการคิด (King, Goodson and Rohani, 2011: 47)

2.1 ความหมาย และประเภทของการวิเคราะห์

2.1.1 ความหมายของการวิเคราะห์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวกับความหมาของการวิเคราะห์ มีนักวิชาการและนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายเกี่ยวกับการวิเคราะห์ไว้ ดังนี้

Bloom (1956: 144) ให้ความหมายของการวิเคราะห์ว่า เป็นการแตกหรือจำแนกข้อเท็จจริงออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้าง ความสัมพันธ์ของแต่ละส่วนและหลักการ

Jones et al. (1994: 2) กล่าวว่า ทักษะการวิเคราะห์คือความสามารถในการระบุความชัดเจนหรือนัยยะสำคัญของการสื่อสาร ด้วยการตรวจสอบแนวคิดหรือวัตถุประสงค์ของข้อมูลด้วยการพิจารณาข้อเท็จจริงผ่านการจัดกระทำข้อมูล

Jordan, Prevette, and Woodward (2001: 3) กล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นการแปลงข้อมูลดิบที่ได้มาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลไปสู่ข้อมูลเชิงปฏิบัติการ (performance information) และความรู้ ซึ่งจะถูกจัดกระทำและสังเคราะห์ให้อยู่ในรูปของการอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในลักษณะที่เข้าใจได้ง่าย

Krathwohl (2002: 215) ให้ความหมายของการวิเคราะห์ว่า เป็นการแยกข้อเท็จจริงออกเป็นส่วน และสืบค้นหาความสัมพันธ์ของแต่ละส่วน รวมไปถึงโครงสร้างทั้งหมด หรือวัตถุประสงค์

Mayer (2002: 230) ให้ความหมายของการวิเคราะห์ว่า เป็นการแยกแยะข้อเท็จจริงออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ และหาความสัมพันธ์ของแต่ละส่วนประกอบ และความสัมพันธ์ของโครงสร้างทั้งหมด

Amer (2005: 3) ให้ความหมายของการวิเคราะห์ว่า เป็นการแยกแยะส่วนประกอบออกเป็นส่วนๆ แล้วระบุความแตกต่างและความเหมือนของแต่ละส่วนประกอบย่อย เพื่อทำความเข้าใจส่วนย่อยของสถานการณ์เกี่ยวกับหลักการทำงานหรือความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกัน

Forehand (2005: 4) กล่าวถึงการวิเคราะห์เป็นการจำแนกข้อมูลออกเป็นส่วนประกอบย่อยและหาความสัมพันธ์ของส่วนประกอบนั้น รวมไปถึงภาพรวมโครงสร้างความสัมพันธ์ข้อเรื่องนั้นๆ และเป็นการหาวัตถุประสงค์ของการนำเสนอข้อมูลผ่านการเปรียบเทียบความเหมือนความต่างและการจัดกระทำข้อมูล

Academy of Education Development (2006: 19) กล่าวถึงการวิเคราะห์เป็นกระบวนการหรือวิธีการที่เกิดขึ้นหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำไปสู่การจัดกระทำให้อยู่ในรูปแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายรูปแบบอันจะนำไปสู่การสรุปผล โดยข้อมูลที่รวบรวมได้มีประเภทที่แตกต่างกันส่งผลให้การวิเคราะห์แตกต่างกันตามไปด้วยขึ้นอยู่กับคำถามก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่นำไปสู่การวิเคราะห์ผลต่อไป

Watkins (2006: 11) กล่าวถึงทักษะการวิเคราะห์เป็นการจำแนกความคิด มโนทัศน์หรือข้อมูลออกเป็นองค์ประกอบย่อย และหาความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบนั้น

Mazzano and Kendall (2008: 17) ได้ให้ความหมายของการวิเคราะห์ว่า เป็นการระบุข้อมูลหรือความรู้ที่สำคัญออกจากข้อมูลหรือความรู้ที่ไม่สำคัญ รวมไปถึงการสร้างความรู้ใหม่ด้วยตนเองผ่านกระบวนการวิเคราะห์

Mar-Round (2011: 9) กล่าวถึงการวิเคราะห์เป็นการพิจารณาข้อมูลเพื่อตอบสนองและสะท้อนต่อคำตอบที่เราต้องการค้นหา ด้วยการจัดกระทำข้อมูลทางสถิติ เพื่อให้เป็นไปตามแนวทางและเพื่อให้ปรากฏตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ต้องการทราบคำตอบจากข้อมูลที่ได้รับการตรวจสอบและผังข้อมูลที่ได้รับการจัดกระทำส่งผลให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นสามารถสรุปความหมายของการวิเคราะห์ได้ว่า การวิเคราะห์ เป็นความสามารถในการจำแนก แยกแยะข้อมูล ส่วนประกอบ หรือองค์ประกอบของข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ และหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหรือส่วนประกอบของข้อมูลในส่วนต่างๆ

2.1.2 ประเภทของการวิเคราะห์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้มีนักการศึกษาและนักวิชาการกล่าวถึงองค์ประกอบของการวิเคราะห์ไว้ดังนี้

Bloom (1956: 145-148) ได้กล่าวถึงทักษะการวิเคราะห์ประกอบด้วยทักษะสำคัญ 3 ประเภท ดังนี้

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Analysis of Elements) เป็นความสามารถในการแยกแยะองค์ประกอบย่อยๆ จากข้อมูลที่ชัดเจนและไม่ชัดเจน ซึ่งประกอบด้วย

1.1. ความสามารถในการจับประเด็นจากข้อมูลที่ไม่ชัดเจน

1.2. ทักษะในการจำแนกแยกแยะข้อเท็จจริงออกจากสมมติฐาน

1.3. ความสามารุในการแยกแยะข้อเท็จจริงออกจากข้อมูลทั่วไป

1.4. ทักษะในการระบุแรงจูงใจ และพินิจพิเคราะห์เพื่อแยกแยะพฤติกรรมเชิงกลไก (mechanisms of behavior) ของแต่ละบุคคลออกจากกลุ่ม

1.5. ความสามารถในการแยกแยะข้อสรุปออกจากข้อมูลที่ใช้ในการสนับสนุน

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Analysis of Relationships) เป็นการระบุความเหมือนและความแตกต่างขององค์ประกอบ รวมไปถึงการหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบโดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งประกอบด้วย

2.1. ทักษะการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดแต่ละข้อความหรือบทความ

2.2. ความสามารถในการตระหนักถึงข้อมูลที่สำคัญที่สอดคล้องหรือสัมพันธ์กับความตรงในการตัดสิน

2.3. ความสามารถในการทราบข้อเท็จจริงหรือสมมติฐานที่จำเป็นต่อประเด็นหลักหรือใช้ในการโต้แย้งเพื่อสนับสนุนประเด็นนั้น

2.4. ความสามารถในการตรวจสอบความสอดคล้องของสมมติฐานเกี่ยวกับข้อมูลและข้อสมมติ

2.5. ความสามารถในการแยกแยะความสัมพันธ์ของเหตุและผลของความสัมพันธ์อย่างเป็นลำดับ

2.6. ความสามารถในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการโต้แย้งเพื่อแยกแยะข้อมูลที่สอดคล้องออกจากข้อมูลที่ไม่สอดคล้อง

2.7. ความสามารถในการตรวจสอบข้อโต้แย้งที่อ้างเหตุผลโดยใช้หลักการ

2.8. ความสามารถในการตระหนักถึงความสัมพันธ์เชิงเหตุผล และรายละเอียดที่สำคัญและไม่สำคัญของเรื่องราวนั้นๆ

3. การวิเคราะห์เชิงหลักการ (Analysis of Organizational Principles) เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างและหลักการเพื่อให้เข้าใจในวัตถุประสงค์ มุมมอง หรือทัศนคติของข้อมูล วิเคราะห์โครงสร้างและหลักการของข้อมูลว่าสิ่งนั้นดำรงอยู่ในสภาพนั้นได้เช่นไร เนื่องจากอะไร โดยใช้เทคนิคใด รวมไปถึงการทำความเข้าใจในวัตถุประสงค์ มุมมอง และทัศนคติของผู้เขียนหรือผู้ประพันธ์ ซึ่งประกอบด้วย

3.1. ความสามารถในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของส่วนประกอบและวัตถุประสงค์ของบทความ หรือข้อมูล เพื่อให้เกิดความเข้าใจในองค์ประกอบและโครงสร้าง

3.2. ความสามารถในการวิเคราะห์รูปแบบของการเขียนที่แสดงถึงความเข้าใจในวัตถุประสงค์ของผู้ประพันธ์

3.3. ความสามารถในการลงความเห็นในวัตถุประสงค์ของผู้ประพันธ์ มุมมอง และความรู้สึกที่มีในบทความหรือข้อมูล

3.4. ความสามารถในการหาเทคนิคที่ใช้ในการโฆษณาให้ชวนเชื่อ

3.5. ความสามารถในการวิเคราะห์มุมมอง หรือความลำเอียงของผู้ประพันธ์

Krathwohl (2002: 215) และ Mayer (2002: 230) ได้แบ่งกระบวนของการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ด้าน ดังนี้

1. การระบุความแตกต่าง (Differentiating) กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนแยกแยะประเด็นสำคัญออกจากประเด็นไม่สำคัญ

2. การจัดการ (Organizing) เป็นการค้นหาหน้าที่หรือความเหมาะสมของส่วนประกอบที่มีต่อโครงสร้างข้อมูล หรือข้อเท็จจริง

3. การหาลักษณะสำคัญ (Attributing) เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนสามารถค้นหามุมมอง อคติ คุณค่า หรือ ข้อเท็จจริงที่สำคัญได้

Academic of Education Development (2006: 9-12) ได้แบ่งประเภทของการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Visualizing Data เป็นการวิเคราะห์และพิจารณาข้อมูลโดยใช้ผังกราฟิก ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นการสรุปผลที่ทำการสืบค้นหรือรวบรวมได้

2. Exploratory Analyse เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ในสิ่งที่สนใจ รวมไปถึงการอธิบายลักษณะความสัมพันธ์นั้นได้

3. Trend Analyse เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด เพื่อเปรียบเทียบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา นำไปสู่การลำดับความสำคัญและการเกิดเหตุการณ์ และการเปลี่ยนแปลงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

4. Estimation เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ หรือเชิงคุณภาพ หรือใช้ทั้งสองส่วน เพื่อประเมินคุณค่า หรือความน่าเชื่อถือของข้อมูล นำไปสู่การประเมินสถานการณ์หรือเหตุการณ์ในอนาคต กล่าวได้ว่าเป็นการคาดการณ์ (prediction) แนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

Mazzano (2008:5, 17-19) กล่าวถึงการวิเคราะห์จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการในการวิเคราะห์ 5 ด้าน ซึ่งประกอบด้วย

1. การจับคู่ (Matching) เป็นการระบุความสัมพันธ์ในลักษณะของความเหมือนและความแตกต่างของข้อมูล

2. การจำแนก (Classifying) เป็นการจัดกระทำความรู้ให้อยู่ในลักษณะของหมวดหมู่หรือประเภทต่างๆ อย่างมีความหมาย โดยอาศัยความสัมพันธ์ในลักษณะของ superordinate กับ subordinate

3. การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Analyzing Errors) เป็นการระบุเหตุผล ตรรกะหรือความรู้ที่ถูกต้องแม่นยำเกี่ยวกับข้อมูลเพื่อพิจารณายอมรับหรือไม่ยอมรับข้อมูลนั้นๆ อย่างมีเหตุผล

4. การสร้างความรู้ใหม่ (Generalizing) เป็นกระบวนการสร้างความรู้หรือหลักการใหม่โดยอาศัยความรู้เดิมหรือข้อมูลที่ได้จากการสังเกต

5. การระบุรายละเอียด (Specifying) เป็นการลำดับขั้นตอนของข้อมูล รวมถึงกระบวนการประยุกต์ความรู้หรือหลักการไปสู่สถานการณ์หรือปรากฏการณ์ใหม่

Heer (2012: 3) แบ่งประเภทของการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ประเภท ตามแนวคิดของการประเมินทางสติปัญญา ดังนี้

1. การระบุความแตกต่าง เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลที่สนใจ

2. การจัดการ เป็นการกำหนดสถานการณ์ที่เหมาะสมหรือหน้าที่ภายใต้โครงสร้างของข้อมูล

3. คุณลักษณะ เป็นการกำหนดสาเหตุ ความลำเอียง คุณค่า หรือแนวโน้มของสิ่งที่สนใจศึกษา

Critical, Creative, and Practical Thinking (2012: 98) ได้แบ่งองค์ประกอบของการคิดวิเคราะห์ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. จำแนกความคิด (separate the idea) เป็นการจำแนกความคิดหรือแนวคิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่สนใจออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ

2. เปรียบเทียบความเหมือนและความต่าง (compare and contrast) พิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลในส่วนของความเหมือนและความแตกต่าง

3. พิจารณาหาเหตุและผล (examine cause and effect) พิจารณาหาเหตุผลที่สามารถเกิดขึ้นได้ เพื่ออธิบายสาเหตุและผลทั้งเชิงบวกและเชิงลบ

4. พิจารณารูปแบบ ลักษณะ และประเภท (look for themes, patterns, and categories) พิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ของความเชื่อมโยงของข้อมูลแต่ละส่วนรวมไปถึงแนวทางความสัมพันธ์ของข้อมูลและประเภทของข้อมูลนั้นๆ

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับประเภทของการวิเคราะห์ในข้างต้นสามารถสรุปได้ 3 ประเภท ได้แก่ (1) วิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นการแยกแยะประเด็นสำคัญออกจากข้อมูลที่ชัดเจนและไม่ชัดเจน (2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นการระบุความเหมือนและความต่างของข้อมูล รวมไปถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ และ (3) วิเคราะห์เชิงหลักการ เป็นการค้นหาหลักแกนกลาง โครงสร้าง หรือมุมมองที่เชื่อมโยงและสัมพันธ์กันจนเรื่องราว วัตถุ การกระทำ หรือข้อมูลสามารถดำรงสภาพนั้นอยู่ได้

2.2 การจัดการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างการวิเคราะห์

จากการศึกษาการจัดการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างทักษะการวิเคราะห์พบว่ามีนักวิชาการหลายท่านได้ทำการศึกษาและเสนอแนะแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างทักษะการวิเคราะห์ไว้ ดังนี้

Manamara and Thompson (1996 อ้างถึงใน Polnick and Edmondson, 2004: 3) กล่าวถึงแนวทางในการพัฒนาทักษะการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นกระบวนการในการค้นพบความรู้ (process of discovery) ซึ่งสามารถพัฒนาทักษะการวิเคราะห์ได้ตามขั้นตอน 7 ขั้นตอน ต่อไปนี้

1. การให้ความสำคัญต่อการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นการให้เวลาและเน้นความสำคัญของการวิเคราะห์ให้นักเรียนได้ฝึกสังเกตเกี่ยวกับชีวิตประจำวันเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องและแม่นนำในการนำไปใช้ในชีวิตจริง โดยอาศัยวิธีการทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลในโลกของความเป็นจริง

2. การใช้ข้อมูลในชีวิตประจำวัน เป็นการประยุกต์ความรู้พื้นฐานทางสถิติมาใช้ในการแก้ปัญหาและตัดสินใจภายใต้ภาระงานที่ได้รับมอบหมายให้ถูกต้อง

3. การให้ความสนใจในสถิติเชิงบรรยาย เป็นการพิจารณาถึงค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ฐานนิยม และค่าความแปรปรวน เนื่องจากเป็นสถิติพื้นฐานที่นักเรียนทุกคนควรสามารถใช้ได้

4. การกระตุ้นให้แปลความหมายจากข้อมูลเชิงสถิติ เป็นการฝึกฝนให้นักเรียนสามารถบรรยาย อธิบาย หรือแปลความหมายข้อมูลเชิงสถิติซึ่งอาจเป็นตาราง กราฟ หรือแผนผังได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

5. การตรวจสอบข้อมูล เป็นการฝึกตั้งคำถาม และสมมติฐานกับข้อมูล เพื่อพิจารณาหาข้อเท็จจริงภายใต้ข้อผิดพลาด ความสับสน ข้อจำกัดของข้อมูล และความถูกต้อง

6. การใช้ผังกราฟิก เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ได้ทุกข้อมูลทั้งในการเรียนและในโลกของความเป็นจริง แต่ต้องได้รับการฝึกฝนและพัฒนาในการเลือกใช้ การสร้าง และการแปลความหมายข้อมูลของผังกราฟิก

7. การอธิบายสิ่งที่อยู่ทั้งในและนอกเหนือจากผังกราฟิก เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลในชีวิตจริงนั้นมีส่วนประกอบของข้อมูลที่ดี (well-behaved) และข้อมูลที่ไม่ดี (ill-behaved) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการพิจารณาตัดสินใจโดยไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนตัว แต่ต้องอาศัยข้อมูลรอบด้านมาพิจารณาสิ่งที่มีอยู่ในผังกราฟิกที่แสดง และสิ่งที่อยู่นอกเหนือผังกราฟิก เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งและมีความหมายมากยิ่งขึ้น

Jordan, Prevette, and Woodward (2001; 11-16) กล่าวถึงการพัฒนาการวิเคราะห์เป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นที่นักเรียนต้องได้รับการฝึกฝน ซึ่งอาจต้องใช้เวลาพอสมควร การวิเคราะห์ข้อมูลมีองค์ประกอบสำคัญที่นักเรียนต้องได้รับการฝึกฝนและพัฒนา 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ตั้งคำถามที่สนใจเพื่อหาคำตอบ การตั้งคำถามที่นักเรียนสนใจจากข้อมูลเป็นการวางแผนขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูลและเลือกสนใจเฉพาะข้อมูลที่มีความสำคัญเท่านั้น

2. รวบรวมและจัดกระทำข้อเท็จจริงของข้อมูลภายใต้ความสอดคล้องของข้อคำถามเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์และสำคัญที่สุดสำหรับตอบคำถาม ซึ่งจะส่งผลถึงความสะดวกในการวิเคราะห์ จัดกระทำ และแปลความหมายข้อมูลต่อไป

3. วิเคราะห์ข้อมูลภายใต้ข้อเท็จจริงเพื่อใช้ในการตอบคำถาม เป็นการนำเสนอข้อมูลที่รวบรวมได้มาทำการวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่องมือ 2 ชนิด ในการช่วยวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ (1) เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เช่น แผนผัง กราฟ และตาราง เป็นต้น และ (2) เครื่องมือสำหรับระบุความสัมพันธ์ในเชิงลำดับเหตุการณ์ เหตุและผล เช่น แผนภูมิ รูปภาพ ผังกราฟิก และผังมโนทัศน์ เป็นต้น จากนั้นทำการแปลผลเพื่อสร้างข้อสรุปที่สอดคล้องกับข้อคำถาม

4. นำเสนอข้อมูลที่ค้นพบอย่างชัดเจนในการตอบคำถาม การนำเสนอข้อมูลเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมดเพื่อตอบคำถามด้วยการสื่อสารและนำเสนอที่ชัดเจนและเข้าใจได้โดยง่าย ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำเสนอโดยใช้แผนภาพ รูปเล่มรายงาน ปากเปล่า หรือหลายอย่างร่วมกัน

Academy of Education Development (2006: 13-17) พบว่าปัญหาของการวิเคราะห์เกิดจาก 2 ประเด็นคือ (1) การไม่เข้าใจความหมายของการวิเคราะห์ข้อมูล และ (2) ไม่รู้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งกระบวนการหรือวิธีการในการวิเคราะห์นั้นมีมากมายแตกต่างกันไปตามครูที่สอน แต่เมื่อพิจารณาจากเป้าหมาย ความสัมพันธ์ การตัดสินใจ และความคิดเห็นของการวิเคราะห์สามารถสรุปเป็นกระบวนการเพื่อพัฒนาการวิเคราะห์ข้อมูลของนักเรียนได้ ดังนี้

1. การกำหนดวัตถุประสงค์ เป็นการกำหนดประเด็นที่ต้องการทราบคำตอบ พร้อมทั้งเหตุผล

2. การระบุคำถาม เป็นการระบุหรือตั้งคำถามเพื่อให้เกิดความละเอียดและชัดเจนในสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งจะส่งผลถึงการจัดกระทำข้อมูล การตัดสินใจ กาสรรวบรวมข้อมูล และประเภทของการวิเคราะห์ข้อมูล

3. การรวบรวมข้อมูล เป็นกระบวนการเพื่อหาคำตอบที่ต้องการทราบ ซึ่งมีหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับคำถามในตอนต้น

4. การวิเคราะห์ข้อมูล เป็นการนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาจัดกระทำ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้นผ่านการใช้ผังกราฟิก

5. การแปลความหมายข้อมูล เป็นการนำข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์และจัดกระทำมาแปลผลเพื่อให้ทราบความหมาย

6. การเขียนและการรายงาน เป็นการเรียบเรียงขั้นตอนการสืบค้นข้อมูลและผลการดำเนินงานทั้งหมดเพื่อตอบคำถามที่สงสัยในตอนต้น

7. การประเมินผล เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ต้องพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนแรก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมและมีความหมายมากที่สุด

2.3 ความสามารถในการวิเคราะห์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับความสามารถในการวิเคราะห์มีนักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึงความสามารถในการวิเคราะห์ไว้ ดังนี้

Jordan, Prevette, and Woodward (2001: 3) กล่าวถึงความสามารถในการวิเคราะห์นั้นเกิดขึ้นหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นข้อมูลแบบทั่วไปหรือเป็นข้อมูลที่หลากหลายปะปนกัน จึงจำเป็นต้องใช้ความรู้ในการลำดับความสำคัญ หรือจัดกระทำ ก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์นั้นต้องผ่านการวิเคราะห์ จัดกระทำ และทำความเข้าใจเสียก่อน ซึ่งความสามารถในการวิเคราะห์นั้นเป็นความสามารถในการนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาพิจารณาตามองค์ประกอบหรือประเภทของการวิเคราะห์และวัตถุประสงค์ของข้อมูลที่ต้องการนำเสนอ

Luo (2008: 606-607) กล่าวถึงความสามารถในการวิเคราะห์นั้นมีความสัมพันธ์กับภูมิหลังทางการศึกษาและประสบการณ์ในการฝึกฝนที่ต้องอาศัยการตัดสินใจภายใต้ข้อมูลที่หลากหลาย ดังนั้นหากอธิบายถึงความสามารถในการวิเคราะห์ภายใต้หลักการทางการศึกษา สามารถกล่าวได้ว่าเป็นการรวบรวมข้อมูลแล้วจัดกระทำเพื่อให้เข้าไปรวมอยู่ในแผนผังทางสติปัญญา หรือการแสดงออกถึงกลยุทธ์ในการทำให้เข้าใจข้อมูลซึ่งต้องอาศัยความสนใจ ความรู้ และความสามารถในการจัดกระทำและแปลความหมายข้อมูลด้วยการประยุกต์ความรู้ทางสถิติ การใช้ผังกราฟิก และทักษะคอมพิวเตอร์

Watkins (2006: 12) กล่าวถึงความสามารในการวิเคราะห์สามารถพิจารณาได้ 5 ประการ ดังนี้

1. สามารถหารูปแบบ ลำดับ และความสัมพันธ์ของข้อมูลได้
2. สามารถคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตภายใต้ข้อมูลที่มีอยู่ได้
3. สามารถเปรียบเทียบความเหมือนความต่างของข้อมูลได้
4. สามารถจำแนกข้อมูลแล้วนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่หรือนำไปใช้ด้วยวิธีการใหม่ได้
5. สามารถหาความสัมพันธ์ในเชิงเหตุและผลได้

Limbarch and Waugh (2009) กล่าวถึงความสามารในการวิเคราะห์เป็นความสามารถในการหาความสัมพันธ์ รูปแบบ และจำแนกประเภทข้อมูล มโนทัศน์ และทฤษฎีในแต่ละส่วนเพื่อนำไปสู่การตอบคำถามที่สงสัย

จากข้างต้นสามารถสรุปความสามารถในการวิเคราะห์ได้ว่า ความสามารถในการวิเคราะห์เป็นความสามารถในการแยกแยะหรือจัดกระทำข้อมูล เพื่อหาความสัมพันธ์และทำความเข้าใจข้อมูล โดยเกิดขึ้นภายหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.4 แนวทางการวัดความสามารถในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์เป็นส่วนหนึ่งของพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย เครื่องมือที่ใช้วัดด้านพุทธิพิสัยที่ใช้กันโดยส่วนใหญ่คือ แบบสอบ ซึ่งมีหลายประเภท แต่ที่นิยมกันโดยมากคือ แบบสอบวัดสมรรถภาพที่ใช้วัดผลสัมฤทธิ์ที่มีจุดมุ่งหมายวัดสมรรถภาพด้านสมอง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) แบบสอบที่ครูสร้างขึ้นเอง (teacher-made test) เป็นแบบสอบที่มุ่งวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนเฉพาะกลุ่มที่ครูสอนมีใช้กันทั่วไปในโรงเรียนซึ่งครูสามารถวัดได้ตรงจุดมุ่งหมายเพราะครูเป็นผู้ออกข้อสอบด้วยตนเอง และ (2) แบบสอบมาตรฐาน (standardized test) เป็นแบบสอบที่มุ่งวัดผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนทั่วไปที่ได้มีการหาคุณภาพมาแล้ว มีมาตรฐานการดำเนินการสอบและมาตรฐานในการแปลความหมายของคะแนน (พิชิต ฤทธิ์จรูญ, 2552: 61-62; Passig, 2003: 82) สอดคล้องกับการศึกษาของประสาท เนื่องเฉลิม (2552: 83) ที่ศึกษาการพัฒนาสติปัญญา การวิเคราะห์ และความพึงพอใจในการเรียนโดยใช้การเรียนแบบสืบสอบ ได้เลือกใช้เครื่องมือในการวัดความสามารถในการวิเคราะห์ เป็นแบบสอบที่ครูสร้างขึ้นเอง ด้วยแบบสอบ 3 ตัวเลือกจำนวน 30 ข้อ

จากการศึกษาแนวทางการวัดความสามารถในการวิเคราะห์ในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการวิเคราะห์เป็นการวัดพฤติกรรมเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยที่สามารถวัดได้โดยแบบสอบซึ่งมี 2 ประเภท ได้แก่ (1) แบบที่ครูสร้างขึ้นเอง และ (2) แบบสอบมาตรฐาน โดยแบบสอบที่ครูสร้างขึ้นเองเพื่อให้สามารถวัดได้ตรงจุดมุ่งหมายตามที่ครูต้องการ

3. การออกแบบทางวิศวกรรม

ในช่วงปลายปี ค.ศ. 1800 John D. Runkle ผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีประจำมลรัฐ Massachusetts นำแนวคิดเกี่ยวกับระบบการศึกษาวิศวกรรมตามแนวคิดของประเทศรัสเซียมาใช้ในการฝึกทักษะสำหรับวิศวกร แต่ไม่ได้รับการยอมรับเท่าที่ควร ในภายหลัง Calvin Woodward เห็นด้วยกับแนวความคิดนี้และเห็นความสำคัญของปัญหาที่นักเรียนยังขาดความสามารถในการเข้าใจภาพรวมของการออกแบบและทักษะที่จำเป็นสำหรับการออกแบบ จึงคิดค้นโปรแกรมสำหรับการจัด

เรียนการสอนโดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมขึ้นมามากมาย แต่มีเสียงคัดค้านและแรงกดดันจากนักวิชาการจำนวนมากเกี่ยวกับแนวคิดนี้ ภายหลังในปี ค.ศ. 1981 Charles Bennett ได้นำแนวคิดนี้มาใช้ โดยพัฒนาการเรียนการสอนที่นำการวาดรูปบูรณาการกับการออกแบบทางวิศวกรรมจนเกิดเป็นกิจกรรมการสร้างผลงาน (Smith and Wicklein, 2007: 12-13) ทำให้ในเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 1984 การศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ (engineering education) เริ่มสนใจรายละเอียดของคำอธิบายเกี่ยวกับวิธีการทางวิศวกรรม (engineering method) ซึ่งถือว่าเป็นก้าวแรกของการหาคำอธิบายต่างๆ เกี่ยวกับวิศวกรรมและการออกแบบทางวิศวกรรม นำไปสู่การพัฒนาการศึกษาวิศวกรรมในเวลาต่อมา (Koen, 1994: 193)

การพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีส่งผลให้ตลาดแรงงานต้องการแรงงานและวิศวกรที่มีความสามารถและมีความคิดสร้างสรรค์ในการทำงานเป็นทีมได้ รวมไปถึงนักออกแบบทางวิศวกรรมที่สามารถสร้างแนวทางแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์และพัฒนาการคิดที่อาศัยมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่สังคมยอมรับและสามารถเผยแพร่ได้ โดยหัวใจสำคัญของการเป็นนักออกแบบทางวิศวกรรมที่มีความรู้ความสามารถขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างการแข่งขัน การสร้างผลผลิตและมาตรฐานในการดำรงชีวิตของแต่ละประเทศที่ต้องได้รับการฝึกฝนเป็นประจำจนกลายเป็นนิสัย ส่งผลให้การศึกษาเห็นถึงความสำคัญของการสร้างและพัฒนาหลักสูตรเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรม (ElMadany and Al-Bahakli, 2004: 772) สำหรับการเรียนการสอนโดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมในโรงเรียนมัธยมศึกษามีที่มาจากการพัฒนาการศึกษาเทคโนโลยี (technology education) ในประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อสร้างและบูรณาการหลักสูตรให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดโครงการ “Technology for All American Project” ได้รับการดูแลจากหน่วยงาน “International Technology Education Association” (ITEA) ที่ได้รับการสนับสนุนจาก National Science Foundation และ NASA โดยมุ่งเน้นการรู้เทคโนโลยี (technology literacy) สำหรับประชากรที่อยู่ในสังคมที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น และสนับสนุนการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีสำหรับนักเรียนทุกคน ITEA ได้เผยแพร่บทความเพื่อให้เห็นถึงความชัดเจนของโครงการโดยมีบทความดังนี้ (1) “Technology for All Americans: A Rationale and Structure for the Study of Technology” ในปี ค.ศ. 1996 ที่แสดงถึงวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการสร้างหลักสูตรบูรณาการจากหลายสาขาวิชา ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และการศึกษาเทคโนโลยี รวมไปถึงความสามารถในการประยุกต์ความรู้จากหลายสาขาวิชาไปสู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริง ความสามารถในการออกแบบและพัฒนาระบบเทคโนโลยีผ่านประสบการณ์ และ (2) “Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology” ในปี ค.ศ. 2000 ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการออกแบบและการออกแบบทางวิศวกรรม โดยในมาตรฐานการเรียนรู้ที่ 9 เน้นพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของวิศวกร และ มาตรฐานการเรียนรู้ที่ 11 เน้นพัฒนาความสามารถในการประยุกต์กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอย่างมีระบบ

3.1 ความหมาย และขั้นตอนของการออกแบบทางวิศวกรรม

3.1.1 ความหมายของการออกแบบทางวิศวกรรม

นักการศึกษาได้ให้ความหมายของการออกแบบทางวิศวกรรม มาจากคำในภาษาอังกฤษ คำว่า Engineering Design ดังต่อไปนี้

ElMadany and Al-Bahakli (2004: 773) กล่าวถึงการออกแบบทางวิศวกรรม หมายถึง กระบวนการที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และข้อมูลทางเทคโนโลยี เพื่อใช้ในการสร้างหรือออกแบบสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อสังคม

Stacey (2004: 29) กล่าวว่า การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกระบวนการสำหรับการออกแบบหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เกี่ยวกับระบบ ส่วนประกอบ หรือกระบวนการตามที่มนุษย์ต้องการ

Dym et al (2005: 104, 2006: 422) กล่าวว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกระบวนการที่มีระบบ และสามารถปรับให้เข้ากับภาวะต่างๆ ที่วิศวกรใช้ศึกษา ประเมินผล และระบุความรู้หรือมโนทัศน์สำหรับสิ่งประดิษฐ์ ระบบ หรือกระบวนการทำงาน เพื่อประสิทธิภาพของรูปแบบ และหน้าที่ในการทำงานตามวัตถุประสงค์ หรือความต้องการของผู้ใช้ เพื่อแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่เฉพาะเจาะจง

Khandani (2005: 4) กล่าวว่า การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นการสร้างสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรม หรือระบบที่มนุษย์ได้พยายามสร้างขึ้น โดยเป็นสิ่งที่ไม่เคยมีมาก่อนหรือพัฒนาต่อยอดสิ่งที่มีอยู่ ต้องอาศัยเวลาและวิธีการที่มีลำดับขั้นตอน

Accreditation Board for Engineering and Technology [ABET] (2007 อ้างถึงใน Mentzer, 2008: 17-18) ให้ความหมายของการออกแบบทางวิศวกรรมว่า เป็นกระบวนการในการแยกหรือจำแนกระบบ องค์ประกอบ หรือกระบวนการที่ทำให้ค้นพบความต้องการในการออกแบบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้การตัดสินใจภายใต้องค์ความรู้ของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์เชิงวิศวกรรม เพื่อประยุกต์แหล่งทรัพยากรไปสู่สิ่งที่สังคมต้องการ

Kim and Lee (2010: 1797-1798) กล่าวถึงความหมายของการออกแบบทางวิศวกรรมว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นการใช้ความรู้และความชำนาญในการสร้างสรรค์และพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงาน ประโยชน์ และรูปลักษณ์ของสิ่งประดิษฐ์ รวมถึงระบบการทำงาน เพื่อประโยชน์ของผู้ใช้และผู้ประกอบการ

Transferable Integrated Design Engineering Education [TIDEE] (2010) กล่าวถึงความหมายของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกระบวนการที่วิศวกรใช้ในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์เกี่ยวกับความต้องการของมนุษย์ แหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติ และความต้องการทางเศรษฐกิจ

V-Neun (2010) ได้กล่าวถึงความหมายของการออกแบบทางวิศวกรรมว่า เป็นวิธีการที่มีระเบียบโดยอาศัยแหล่งข้อมูลและประสบการณ์ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ด้วยการคิดและสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ซึ่งมีขั้นตอนคล้ายกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์

Loginov (2011: 95) กล่าวถึงความหมายของการออกแบบทางวิศวกรรมว่าเป็น ระยะ (phase) ที่มีกระบวนการชัดเจน ซึ่งแต่ละระยะเป็นการรวมกันของวัตถุประสงค์ที่ต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับชีวิตจริง และความรู้เกี่ยวกับระบบ กลไก และกระบวนการทำงานของสิ่งประดิษฐ์

โดยสรุป การออกแบบทางวิศวกรรม หมายถึง ระยะ ขั้นตอน หรือกระบวนการที่ใช้ความรู้และความชำนาญในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนอย่างสร้างสรรค์ รวมไปถึงการสร้างสรรค์และพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมสอดคล้องกับสภาพปัญหาในชีวิตจริงและความต้องการของมนุษย์

3.1.2 ขั้นตอนของการออกแบบทางวิศวกรรม

นักการศึกษาและนักวิชาการได้ระบุขั้นตอนหรือกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมที่มาจากคำในภาษาอังกฤษคำว่า Engineering Design Process [EDP] ดังต่อไปนี้

Stacey (2004: 31) ศึกษาความสำคัญของการออกแบบ การปฏิบัติ และหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างการปฏิบัติจริงกับข้อมูลหรือขั้นตอนที่ได้มีการเตรียมไว้แล้ว โดยขั้นตอนการออกแบบทางวิศวกรรมมี 10 ขั้นตอน ดังนี้

1. บรรยายสภาพปัญหา
2. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ต้องการศึกษา
3. รวบรวมข้อมูล
4. กำหนดแนวทางในการแก้ปัญหา
5. วิเคราะห์ส่วนประกอบของแนวทางในการแก้ปัญหา
6. สังเคราะห์และสร้างแนวทางสำรองในการแก้ปัญหา
7. ประเมินผลแนวทางแก้ปัญหาที่มีอยู่แล้วเลือกแนวทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด
8. ปฏิบัติและรวบรวมข้อมูล
9. อภิปรายผลการดำเนินงาน
10. สรุปผลการทำงาน

Cejka and Rogers (2005) และ Sylvia (2012: 1-4) ได้เสนอขั้นตอนของการออกแบบทางวิศวกรรมมี 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุปัญหาที่ต้องการแก้ไข
2. ทำการสืบค้นเอกสารที่เกี่ยวข้องกับปัญหา
3. พัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหา
4. เลือกแนวทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด
5. สร้างแบบจำลอง
6. ทำการทดสอบและประเมินผลตามแนวทางแก้ปัญหา
7. อภิปรายกลุ่มเพื่อหาประเด็นในการปรับปรุงแก้ไข
8. ทำการปรับปรุงผลการดำเนินงาน

Khandani (2005: 5-24) ได้กล่าวถึงขั้นตอนของการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. นิยามปัญหา เป็นการอธิบายสภาพปัญหาอย่างเป็นลำดับ เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาอย่างละเอียด

2. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อช่วยให้เข้าใจปัญหาได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้นซึ่งอาจค้นพบข้อผิดพลาดของการแก้ปัญหาของผู้ที่เคยทำการศึกษามาก่อน

3. สร้างแนวทางแก้ปัญหาที่หลากหลาย พยายามสร้างแนวทางแก้ปัญหาที่มีความหลากหลาย ซึ่งมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงจุดบกพร่องของวิธีการอื่นๆ

4. วิเคราะห์และเลือกแนวทางแก้ปัญหา เป็นการวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาโดยอาศัยข้อมูลเพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด

5. ทดสอบและนำไปใช้ เป็นการทดสอบเพื่อปรับปรุงให้ดีขึ้นแล้วนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

CK-12 Foundation (2009: 71-74) ได้เสนอขั้นตอนของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ 11 ขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุปัญหา เป็นการสำรวจข้อมูลที่สังคมต้องการให้แก้ปัญหา จากนั้นระบุปัญหาเพื่อมุ่งประเด็นไปยังสภาพปัญหาที่สนใจ

2. สร้างเกณฑ์ในการวัดและระบุตัวแปร เป็นการกำหนดวิธีการวัดข้อมูลจากตัวแปรที่ได้ระบุ กล่าวคือเป็นการตั้งสมมติฐานด้วยตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้

3. ระดมความคิด เป็นการระดมความคิดเพื่อออกแบบภาพรวมของการทำงานและแนวทางในการดำเนินงาน

4. สืบค้นข้อมูล ทำการสืบค้นข้อมูลเพื่อหาความน่าจะเป็นของแนวทางการแก้ปัญหาแบบต่างๆ

5. เลือกหัวข้อ ทำการเลือกหัวข้อหรือแนวทางการแก้ปัญหาที่สามารถทำได้จริงและเป็นที่สนใจของกลุ่ม

6. ศึกษาข้อมูลรายละเอียด ทำการสืบค้นข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบและทำความเข้าใจอย่างลุ่มลึกในทุกมิติ

7. สร้างโมเดลหรือแบบร่าง ทำการออกแบบและดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์

8. ทดสอบและประเมินผล

9. ปรับปรุงผลงาน ทำการระดมความคิดเพื่อปรับปรุงผลงานที่ได้จากการทดสอบและประเมินผล

10. แปลผลข้อมูลที่ได้จากการปรับปรุงผลงาน

11. สรุปผลการทำงาน

Kelly (2010: 22) ได้เสนอขั้นตอนของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ ดังนี้

1. ระบุปัญหาที่ต้องการศึกษา
2. นิยามสภาพปัญหา
3. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา
4. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหา
5. สร้างเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดข้อมูลตัวแปร
6. กำหนดแนวทางการแก้ปัญหา
7. วิเคราะห์ข้อมูล ทำการออกแบบและวางแผนการดำเนินงาน
8. ดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์
9. อภิปรายเพื่อตัดสินใจในประเด็นที่ต้องปรับปรุง
10. ปรับปรุงผลงาน
11. เผยแพร่ผลงาน

V-Nuen (2010) ได้เสนอขั้นตอนการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ 10 ขั้น ดังนี้

1. ระบุปัญหาที่สนใจ

2. สร้างความเฉพาะด้วยการออกแบบเงื่อนไขของปัญหาด้วยการระบุตัวแปรจากประเด็นปัญหาที่สนใจศึกษา รวมถึงการระบุเครื่องมือ วัสดุ และแนวทางการแก้ปัญหา

3. ระบุความแตกต่างของตัวแปรในการทดลอง ซึ่งในการทดลองต้องจัดตัวแปรต้นให้มีความแตกต่างกัน ดังนั้นต้องระบุความแตกต่างของตัวแปรต้นอย่างชัดเจน

4. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปร ออกแบบและวางแผนการดำเนินการ

5. ดำเนินการปฏิบัติและสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อให้เกิดการเรียนรู้การแก้ปัญหาในชีวิตจริง

6. อภิปรายผลการดำเนินการภายในกลุ่มเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงผลงาน

7. ดำเนินการปรับปรุงผลงาน

8. ออกแบบและเตรียมความพร้อมในการนำเสนอผลงาน

9. จัดแสดงสิ่งประดิษฐ์
10. สรุปผลการทำงาน

Gordon Jablokow, and Bilén (2011) และ Asuda and Hill (2007:31-36) ได้เสนอขั้นตอนของการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. นิยามปัญหา เป็นการบรรยายหรืออธิบายสภาพปัญหาที่สนใจ
2. ระบุปัญหา เป็นการกำหนดความเฉพาะของคำถามหรือปัญหาให้แคบลงและมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น
3. สืบค้นแนวทางในการแก้ปัญหา เป็นการหาแนวทางแก้ปัญหาที่แตกต่างกันหลายๆ แนวทาง
4. สร้างความชัดเจนให้กับแนวทาง เป็นการพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหาให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ของแนวทางที่สามารถดำเนินการได้จริงให้สอดคล้องกับตัวแปรที่ต้องการแก้ไขปัญหา
5. พัฒนารูปแบบการทำงาน เป็นการสร้างรูปแบบหรือโมเดลของผลงานที่ต้องการทำให้สอดคล้องกับตัวแปรที่ต้องการแก้ไขปัญหา
6. สร้างขั้นตอนการดำเนินงาน เป็นการระบุขั้นตอนการดำเนินงานให้ระเอียดและชัดเจน
7. ปฏิบัติงาน ดำเนินงานตามขั้นตอนเพื่อแก้ปัญหาและเก็บรวบรวมข้อมูล
8. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 ไปเรื่อยๆ เป็นวัฏจักร

จากการศึกษาขั้นตอนหรือกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในข้างต้นสามารถสรุปกระบวนการของการออกแบบทางวิศวกรรมโดยใช้ตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 12 วิเคราะห์กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

กระบวนการออกแบบางวิศวกรรม	**นักการศึกษา**							
	Gordon, et al. (2011)	Kelly (2010)	V-Neun (2010)	CK-12 Foundation (2009)	Asunda and Hill (2007)	Cejka and Rogers (2005)	Khandani (2005)	Stacey (2004)
1. ระบุปัญหา	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2. นิยามสภาพปัญหา	✓	✓			✓		✓	✓
3. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
4. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหา		✓	✓	✓				✓
5. สร้างเกณฑ์และเครื่องมือวัดตัวแปร		✓		✓				

ตารางที่ 12 วิเคราะห์กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (ต่อ)

กระบวนการออกแบบางวิศวกรรม	นักการศึกษา							
	Gordon, et al. (2011)	Kelly (2010)	V-Neun (2010)	CK-12 Foundation (2009)	Asunda and Hill (2007)	Cejka and Rogers (2005)	Khandani (2005)	Stacey (2004)
6. พัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหา	✓				✓	✓	✓	✓
7. กำหนดแนวทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8. ออกแบบและวางแผนการดำเนินงาน	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9. เก็บรวบรวมข้อมูล	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10. วิเคราะห์ข้อมูล		✓						
11. แปลผลข้อมูล				✓				
12. อภิปรายผล		✓	✓			✓		
13. ปรับปรุงผลงาน		✓	✓	✓		✓		
14. สรุปผล			✓	✓				✓
15. เตรียมนำเสนอผลงาน			✓					
16. เผยแพร่ผลงาน		✓	✓					

จากตารางข้างต้น สามารถสรุปขั้นตอนหรือกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของนักการศึกษาได้ 9 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ระบุและนิยามสภาพปัญหา
2. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา
3. ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหา
4. กำหนดแนวทางในการแก้ปัญหา
5. วิเคราะห์และออกแบบแผนการดำเนินงาน
6. ดำเนินการปฏิบัติเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล
7. วิเคราะห์และแปลผลข้อมูล
8. ปรับปรุงผลงาน
9. สรุปผลการดำเนินงาน

3.1.3 องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม

นักวิชาการหลายท่านได้ศึกษากระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม แต่มีส่วนน้อยศึกษาองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม โดยแต่ละองค์ประกอบหลักของการออกแบบ

ทางวิศวกรรมเกิดจากกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมและขั้นตอนที่ได้รับการวิเคราะห์บนพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยให้เกิดความเข้าใจในการออกแบบทางวิศวกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาความรอบรู้ ดังนั้นการสังเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อให้ได้องค์ประกอบหลักจึงทำให้เกิดความเข้าใจในแต่ละขั้นตอนและความสัมพันธ์ของแต่ละกระบวนการได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น (Mentzer, 2008: 16-17) สอดคล้องกับบทความของ The National Academic Press (2009: 38) กล่าวถึงกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมนั้นไม่ได้มีกระบวนการที่ชัดเจนอย่างเป็นลำดับขั้นตอน แต่ขึ้นอยู่กับแนวทางการแก้ปัญหาที่เลือก และเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงต้องทำความเข้าใจองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบทางวิศวกรรม มีรายละเอียดดังนี้

Eide et al (2001 อ้างถึงใน Mentzer, 2008: 18) ได้เสนอองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การระบุปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งเกณฑ์ในการประเมิน
2. นิยามปัญหาและระบุข้อจำกัด
3. วิเคราะห์และคาดคะเนคำตอบในเชิงคณิตศาสตร์
4. สืบค้นแนวทางในการแก้ปัญหา ทำการตัดสินใจและสร้างแนวทางในการแก้ปัญหา
5. วิเคราะห์และสื่อความหมายข้อมูลของการออกแบบ

Elmadany and Al-Bahakli (2004: 774-775) กล่าวถึงองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ 8 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การสืบค้นข้อมูล ต้องรู้จักที่จะสืบค้นข้อมูลจากแหล่งความรู้ที่หลากหลาย
2. การระบุปัญหา เป็นการระบุและนิยามปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา และระบุตัวแปรในการศึกษา
3. การระดมความคิด การใช้เทคนิคระดมความคิดนี้เป็นประโยชน์ในการรวบรวมความคิดเพื่อพิจารณาหาแนวทางที่ดีที่สุด
4. การประเมินและการตัดสินใจ ต้องเรียนรู้การใช้ทักษะการประเมินและการตัดสินใจอย่างมีเหตุและผล
5. การแปลความหมายและการสร้างสิ่งประดิษฐ์ เป็นการแปลความหมายจากการระบุตัวแปรและการสืบค้นข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบและวางแผนการดำเนินการรวมถึงการสร้างสิ่งประดิษฐ์
6. เตรียมความพร้อมในการเขียนรายงาน รวบรวมข้อมูลทุกขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อใช้ในการเขียนรายงาน
7. การสื่อสาร ต้องเรียนรู้การสื่อสารกับสมาชิกและบุคคลที่เกี่ยวข้องกับงานอย่างมีประสิทธิภาพ
8. การทำงานเป็นทีม ต้องเรียนรู้ที่การทำงานร่วมกับผู้อื่นและมีความรับผิดชอบในงานของตนเพื่อไม่ให้กระทบกับการทำงานของสมาชิกในกลุ่ม

Dym et al (2005: 104-109, 2006: 423-426) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรม มีองค์ประกอบ 5 ด้าน ดังนี้

1. ด้านการตั้งคำถาม นักเรียนต้องรู้จักตั้งคำถามเพื่อช่วยในการออกแบบ นำไปสู่การอธิบายและวิเคราะห์สภาพปัญหา รวมไปถึงการสืบค้นเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาที่ชัดเจนและมีประโยชน์ โดยส่วนใหญ่นักวิทยาศาสตร์นิยมตั้งคำถามที่ขึ้นต้นด้วยคำว่า “ทำไม” (why) แต่สำหรับวิศวกรนิยมตั้งคำถามที่ขึ้นต้นด้วยคำว่า “ทำไมถึงไม่” (why not)
2. ด้านการคิดเกี่ยวกับระบบของการออกแบบ เป็นการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบระบบหรือกลไกการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งองค์ประกอบนี้ประกอบด้วย
    2.1. การคิดเกี่ยวกับการดำเนินการหรือกลไกของระบบ
    2.2. การให้เหตุผลเกี่ยวกับความไม่แน่นอนหรือความคลาดเคลื่อน
    2.3. การรู้จักประมาณการ
    2.4. การควบคุมการดำเนินการทดลอง
3. ด้านการตัดสินใจ ในการตัดสินใจต้องมีแหตุผลรองรับการตัดสินใจ
4. ด้านการคิดถึงบรรยากาศการทำงานเป็นทีม เป็นการคำนึงถึงความสามารถบทบาทหน้าที่และความรับผิดของของตนเองและผู้อื่นในการทำงานร่วมกัน
5. ด้านการนำเสนอผลการออกแบบทางวิศวกรรม เป็นการกำหนดรูปแบบในการนำเสนอความรู้ทางวิศวกรรมและความรู้จากการออกแบบ

Eisenkraft (2005: 24-25) ศึกษาความท้าทายของการออกแบบทางวิศวกรรมในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ ในรายวิชา ฟิสิกส์ ของโรงเรียนมัธยมศึกษา ซึ่ง Eisenkraft ได้เสนอองค์ประกอบสำคัญที่ใช้สำหรับวงจรการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ ดังนี้

1. องค์ประกอบด้านวัตถุประสงค์
    1.1. การอธิบายปัญหา
    1.2. ระบุแหล่งข้อมูลที่สามารถใช้ได้
    1.3. สร้างแนวทางแก้ปัญหา
    1.4. จัดทำรายการข้อจำกัดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระหว่างดำเนินการ
2. องค์ประกอบด้านข้อมูล
    2.1. เรียนรู้มโนทัศน์ทางฟิสิกส์และคำศัพท์ใหม่
    2.2. ทำความเข้าใจเนื้อหาในแต่ละบทเรียน
3. องค์ประกอบด้านกระบวนการ
    3.1. ประเมินการทำงานเป็นประจำ
    3.2. เปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของกระบวนการและแนวคิด
    3.3. พิจารณาเลือกแนวทางที่เหมาะสมในการบรรลุวัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย
    3.4. สร้างโมเดลจากข้อมูลที่มีอยู่
    3.5. ออกแบบการทดลองที่ทดสอบความคิดและความสมบูรณ์ของโมเดล
4. องค์ประกอบด้านผลลัพธ์

4.1. นำเสนอความท้าทายขนาดย่อมเกี่ยวกับขั้นตอนและผลงาน

4.2. นำเสนอความท้ายทายขนาดใหญ่ภายใต้การสะท้อนกลับของการนำเสนอผลงานและขั้นตอนในข้างต้น

5. องค์ประกอบด้านการสะท้อนกลับ

5.1. รับการประเมินและผลการสะท้อนกลับจากเพื่อนร่วมชั้นเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

5.2. ระบุข้อจำกัดเพิ่มเติมแล้วเริ่มกระบวนการใหม่อีกครั้งเพื่อปรับปรุงผลงาน

Mentzer (2008: 18-22) ได้ทำการสังเคราะห์งานวิจัยของ Dym และ Eide แล้วสรุปองค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรมที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนมีองค์ประกอบ 6 ด้าน ดังนี้

1. ด้านการนิยามปัญหา (problem definition) การนิยามสภาพปัญหาควรพิจารณาคำถามที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมในการนำไปสู่การนิยามสภาพปัญหา ช่วยในการกำหนดวัตถุประสงค์ของการออกแบบอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ทั้งในบริบทของการเรียนรู้ในชั้นเรียนและในโลกของความเป็นจริง ทำให้เข้าใจถึงความต้องการอย่างแท้จริง การอธิบายหรือนิยามสภาพปัญหาได้อย่างชัดเจนจะส่งผลให้สามารถวิเคราะห์และระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม รวมไปถึงการกำหนดขอบเขตในการสืบค้นเอกสารได้อย่างตรงประเด็น

2. ด้านการแก้ปัญหา (solution) แนวทางการแก้ปัญหาสามารถสร้างได้จาก 2 วิธี คือ (1) ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาที่เคยมีผู้ศึกษาไว้แล้ว และ (2) ระดมสมองเพื่อสร้างแนวทางการแก้ปัญหาขึ้นมาใหม่ ดังนั้นการมีทีมหรือสมาชิกในกลุ่มที่สามารถสืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย ตัดสินใจด้วยเหตุและผล ย่อมส่งผลถึงคุณภาพของข้อมูลในการสร้างแนวทางในการแก้ปัญหา

3. ด้านการวิเคราะห์และการสร้างโมเดล (analysis/modeling) การวิเคราะห์ในที่นี้เป็นการวิเคราะห์บทบาท หน้าที่ หรือพฤติกรรม โดยอาศัยหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งควรวิเคราะห์ในส่วนของเทคนิค งบประมาณ ระบบ วงจรชีวิต และความล้มเหลว เพื่อนำไปสู่การสร้างโมเดล หรือออกแบบภายใต้ขีดจำกัดหรือเงื่อนไขของเวลา และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อให้เกิดความเข้าใจในปรากฏการณ์ ดังนั้นองค์ประกอบด้านการวิเคราะห์และการสร้างโมเดลจึงเป็นการวิเคราะห์เพื่อออกแบบหรือกำหนดขั้นตอนการดำเนินการทดลองโดยสอดแทรกการสร้างโมเดลหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ไว้ในระหว่างการดำเนินการทดลอง

4. ด้านการทดลอง (experimentation) เป็นการดำเนินตามแนวทางหรือขั้นตอนที่กำหนดไว้จากส่วนของการวิเคราะห์และสร้างโมเดล เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และเป็นการรวบรวมข้อมูลให้ได้หลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งการออกแบบโดยส่วนใหญ่อาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์การทดลองและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างการทำการทดลองและการออกแบบ นำไปสู่การดำเนินการในแต่ละขั้นตอนด้วยความเข้าใจ

5. ด้านการตัดสินใจ (decision making) การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยเหตุและผลในการเลือกแนวทางในการแก้ปัญหา การตัดสินใจช่วยให้นักเรียน

พิจารณาเลือกแนวทางการแก้ปัญหาได้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการบนพื้นฐานของประโยชน์ที่มีต่อตัวนักเรียนเอง การตัดสินใจในการออกแบบทางวิศวกรรมให้มีคุณภาพต้องอาศัยการมีส่วนร่วมของสมาชิกภายในกลุ่มอย่างเต็มที่ในการแสดงความคิดเห็น ส่วนแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสมนั้นพิจารณาและตัดสินใจจากความถี่ของวิธีการแก้ปัญหาที่นิยมใช้และความละเอียดของวิธีการนั้นๆ

6. ด้านการทำงานเป็นทีมและการสื่อสาร(teamwork/communication) การมีบทบาทหน้าที่ในการทำงานร่วมกันเป็นทีมของนักเรียนเป็นโอกาสในการปรับปรุงความสามารถในการทำงานร่วมกันเป็นทีม เช่นเดียวกับทักษะการสื่อสารหรือสื่อความหมายข้อมูล ทีมที่ดีจะแสดงออกให้เห็นถึงลักษณะเด่น เช่น บทบาท ความรับผิดชอบ ทัศนคติ การจัดการกับแหล่งข้อมูลหรือการวางแผน เป็นต้น องค์ประกอบที่สำคัญของการทำงานเป็นทีมคือความสามารถในการสื่อสาร Dym (2005: 108) ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการสื่อสารสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม ควรใช้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น การบรรยาย การใช้กราฟิก การใช้สมการทางคณิตศาสตร์ หรือการใช้โมเดล และการใช้ตัวเลข

Sneider (2011: 37) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบสำคัญสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ 7 ข้อ ดังนี้

1. การออกแบบทางวิศวกรรมต้องเป็นระบบ มีความสร้างสรรค์ และเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นซ้ำๆ เพื่อให้สอดคล้องกับความท้าทายในความสามารถของนักเรียน โดยครูต้องกระตุ้นนักเรียนในระหว่างการทำโครงงานหรือสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อให้เห็นระบบการทำงานและลักษณะกระบวนการทำงานระหว่างการออกแบบ

2. การออกแบบทางวิศวกรรมต้องรวมไปถึงการระบุปัญหา ความต้องการสิ่งที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต การระดมและประเมินความคิด การเลือกแนวทางการแก้ปัญหา รวมถึงการใช้ทักษะการสื่อสารหรือสื่อความหมาย ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนและทักษะเหล่านี้ถือเป็นสิ่งที่นักเรียนต้องเรียนรู้และฝึกฝนอยู่เป็นประจำเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมสำหรับอนาคต

3. สิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมคือการกำหนดวัตถุประสงค์ของความสำเร็จ และข้อจำกัดระหว่างการดำเนินงาน เช่น วัสดุ ค่าใช้จ่าย ความปลอดภัย เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนจะได้รับระหว่างการดำเนินการทำโครงงาน

4. ความท้าทายของการออกแบบทางวิศวกรรมคือการค้นหาแนวทางการแก้ปัญหาที่สามารถนำไปใช้ได้จริง เป็นสิ่งที่นักเรียนต้องทำการสืบค้นข้อมูล และฝึกการวิเคราะห์เพื่อเลือกแนวทางการแก้ปัญหาที่มีอยู่หลายแนวทาง ให้ได้แนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานั้นๆ

5. การประเมินผลเป็นสิ่งที่มีความหมายที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนที่จำเป็นต้องทำการประเมินผลงานทุกครั้ง

6. การออกแบบทางวิศวกรรมสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาต้องตั้งอยู่บนความเหมาะสมซึ่งรวมถึงการเลือกแนวทางการแก้ปัญหา การกำหนดวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดระหว่างการทำงานที่ควรมีน้อยที่สุด

7. การออกแบบทางวิศวกรรมต้องใช้การพัฒนาและการจัดกระทำข้อมูล การนำเสนอ และการสร้างโมเดลอยู่เป็นประจำ ดังนั้นความสามารถในการพัฒนาและจัดกระทำข้อมูลโดย

อาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่นักเรียนควรได้รับโอกาสในการฝึกฝนและพัฒนาทักษะที่จำเป็นนี้

องค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรมที่กล่าวมาในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า องค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรม มี 6 องค์ประกอบ ดังนี้ (1) องค์ประกอบด้านการนิยามปัญหา (2) องค์ประกอบด้านการแก้ปัญหา (3) องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์และการสร้างโมเดล (4) องค์ประกอบด้านการทดลอง (5) องค์ประกอบด้านการตัดสินใจ และ (6) องค์ประกอบด้านการทำงานเป็นทีมและการสื่อสาร

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางวิศวกรรม

Massachusetts State Department of Education เป็นที่แรกในการประยุกต์ความรู้การศึกษาวิศวกรรม (engineering education) มาใช้ในการศึกษาทุกระดับชั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการเรียนรู้กระบวนการทำงาน การปรับปรุงการตัดสินใจ และการพัฒนาการแก้ปัญหาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นผ่านการทำโครงงาน ไม่ใช่การเรียนรู้เพื่อสร้างสิ่งของเท่านั้น (Hayne, et al., 2011: 8) National Assessment of Education Process (NAEP) จึงได้กำหนด Technology and Engineering Framework for the 2014 โดยกล่าวถึงหลักการในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์นั้นได้รับอิทธิพลจากการพัฒนาเทคโนโลยีและสังคม รวมทั้งเทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ซึ่งจะกลายมาเป็นองค์ประกอบสำคัญในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ทุกชั้นเรียนอย่างแน่นอน ทฤษฎีการเรียนรู้ที่นักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองอาจไม่เพียงพอ แต่ต้องเรียนรู้ในการประยุกต์เครื่องมือทางเทคโนโลยีในการสร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนเอง (Sneider, 2011: 31-32) ดังนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางวิศวกรรมได้แก่ (1) ทฤษฎีสรรคนิยม (Constructivism) และ (2) ทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้ (Constructionism)

3.2.1 ทฤษฎีสรรคนิยม (Constructivism)

ทฤษฎีสรรคนิยมมีต้นกำเนิดในช่วงศตวรรษที่ 18 โดยนักปรัชญาชาวอิตาลีชื่อ Giambattista Vico อ้างถึงมนุษย์สามารถเข้าใจเฉพาะสิ่งที่ตนเองเป็นผู้สร้างความรู้หรือสร้างความเข้าใจนั้นๆ จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดนี้เพิ่มมากขึ้น ได้แก่ทฤษฎีสรรคนิยมตามแนวคิดของ John Dewey ที่ความรู้และความคิดจะรวมหรือผสานกัน ผ่านประสบการณ์ที่มีความสำคัญและมีความหมายต่อนักเรียน และทฤษฎีสรรคนิยมตามแนวคิดของ Jean Piaget ที่การเรียนรู้เกิดจากการสร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนเอง (Swan, 2005: 2)

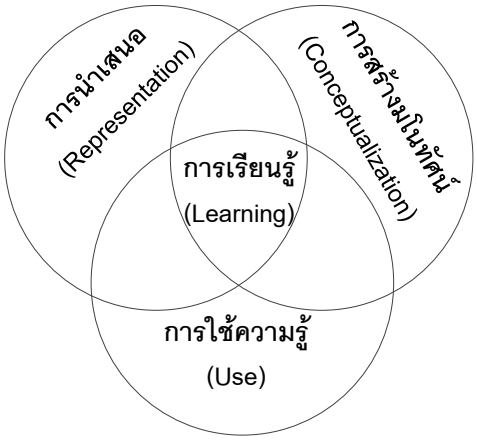
Sadler, Coyle and Schwartz (2000: 323) พบว่า “การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกิจกรรมที่นักเรียนต้องสืบค้นและสร้างแนวทางการแก้ปัญหาซึ่งเป็นปัญหาที่สอดคล้องกับสภาพ

ปัญหาของสังคมหรือสิ่งที่สังคมต้องการ โดยที่นักเรียนต้องประยุกต์ความรู้และประสบการณ์ในการแก้ปัญหานั้น ทำให้นักเรียนได้รับความรู้และประสบการณ์ใหม่ด้วยตัวนักเรียนเอง” การที่นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อสร้างแนวทางในการแก้ปัญหาเป็น “การซึมซับข้อมูล” (assimilate) ที่นักเรียนต้องนำความรู้และประสบการณ์ไปใช้ในการดำเนินการแก้ปัญหา ในระหว่างการดำเนินการนักเรียนต้องทำการสังเกต และรวบรวมข้อมูล ซึ่งเกิด “การซึมซับข้อมูล” อีกครั้ง หากข้อมูลใหม่ที่นักเรียนได้รับมีความสอดคล้องกับข้อมูลเดิมที่นักเรียนมีอยู่สามารถส่งผลให้นักเรียนเข้าใจข้อมูลนั้นได้ง่ายขึ้น เรียนรู้ได้เร็วขึ้น และจดจำได้ดียิ่งขึ้น แต่หากข้อมูลใหม่ไม่เชื่อมโยงหรือสัมพันธ์กับข้อมูลเดิม ส่งผลให้เกิด “การปรับกระบวนการรู้คิด” (accommodate) ภายหลังจากการรับข้อมูลใหม่ ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลนั้นสามารถใช้อภิปรายเพื่อปรับปรุงผลงานให้ดียิ่งขึ้น เช่นเดียวกับความรู้ใหม่ของนักเรียนที่มีการปรับให้เกิดความสอดคล้องหรือสัมพันธ์กับความรู้เดิมจนเกิดความสมดุล (equilibrium) ของระบบทางสติปัญญา (cognitive system) (Cakir, 2008: 194-195, Swan, 2005: 2, Classroom Compass, 1995: 2) หัวใจของการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรม คือ นักเรียนต้องเรียนรู้อย่างกระตือรือร้นในการสร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนเองไม่ใช่รอรับความรู้จากครูเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการที่นักเรียนเรียนรู้โดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมจากกิจกรรมเดียวกันหรือจากแหล่งข้อมูลเดียวกัน แต่ความรู้และประสบการณ์ที่นักเรียนได้รับของแต่ละคนนั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสามารถในการสร้างความรู้ทางสติปัญญาของนักเรียนแต่ละคน (Swan, 2005: 2)

มุมมองของนักจิตวิทยาการเรียนรู้ทำให้เข้าใจความสำคัญของทฤษฎีสรรคนิยมที่เน้นกระบวนการทางสติปัญญาที่ว่า “การเรียนรู้ของนักเรียนจะเกิดขึ้นภายในสมองของนักเรียนแต่ละคน และการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่กระตือรือร้นในการสร้างความรู้ภายในสมองโดยเชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อมภายนอก นอกจากนี้ความรู้ใหม่ที่นักเรียนได้รับมีการเชื่อมโยงกับความรู้เดิม ทำให้เกิดการบันทึกความเชื่อมโยงนั้นในโครงสร้างทางความคิด” (Swan, 2005: 3; Bhat, 2001: 3) เชื่อมโยงกับการเรียนการสอนโดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมที่เน้นให้นักเรียนใช้ความรู้เพื่อแก้ปัญหาที่สังคมต้องการ สามารถทำให้ได้รับความรู้และประสบการณ์ (Bhat, 2001: 5) สามารถสรุปการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมตามทฤษฎีสรรคนิยมได้ ดังนี้

1. นักเรียนเกิดเรียนรู้เมื่อได้รับหรือมีการประยุกต์ความรู้ ทักษะ และความรู้สึกไปใช้กับสิ่งที่มีความสำคัญกับนักเรียน หรือปรากฏการณ์ที่นักเรียนศึกษา
2. นักเรียนเกิดการเรียนรู้เมื่อศึกษาหรือมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่นอกเหนือจากการเรียนในชั้นเรียน ซึ่งเป็นการเรียนรู้ภายใต้การดำรงชีวิตของตัวนักเรียนเอง

Swan (2005: 10-14) ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่มีรากฐานความคิดจากทฤษฎีสรรคนิยมได้เสนอลักษณะสำคัญของการเรียนการสอนตามแนวคิดทฤษฎีสรรคนิยมที่เน้นกระบวนการสติปัญญาเป็นแผนภาพ ดังนี้



แผนภาพที่ 5 ลักษณะสำคัญของการเรียนการสอน
ตามแนวคิดทฤษฎีสรรคนิยม ของ Swan (2005: 10)

จากแผนภาพข้างต้น Swan ได้ให้คำอธิบายลักษณะสำคัญของการเรียนการสอนตามแนวคิดทฤษฎีสรรคนิยมที่เน้นกระบวนการสติปัญญา ดังนี้

1. การนำเสนอความรู้ (Representation of knowledge) เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงความรู้ที่นักเรียนสร้างขึ้นและนำเสนอในสิ่งที่เรียนรู้ การนำเสนอความรู้ให้ตนเองเข้าใจถือเป็นการสร้างความคิดรวบยอดหรือการสร้างมโนทัศน์นั่นเอง การนำเสนอจึงเป็นเครื่องมือในการสะท้อนเพื่อเชื่อมโยงระหว่างการสร้างมโนทัศน์กับการนำความรู้ไปใช้

2. การสร้างมโนทัศน์ (Conceptualization of knowledge) เป็นการพัฒนาโครงสร้างความคิดเกี่ยวกับความรู้ที่นักเรียนได้รับและจัดกระทำตามวิธีและการจัดกระทำของแต่ละบุคคล ซึ่งมีหลายวิธีในการสร้างมโนทัศน์ เช่น กระบวนการทางสมอง การนำเสนอ การจัดกระทำข้อมูล หรือการใช้ผังกราฟิก เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าการสร้างมโนทัศน์เป็นการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและสังคมที่นักเรียนต้องจัดกระทำและประมวลผลข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้ด้วยความเข้าใจ

3. การใช้ความรู้ (Use of knowledge) เป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยการมีปฏิสัมพันธ์เกี่ยวกับความรู้ที่ได้สร้างขึ้นไปใช้ในบริบทใหม่ การสร้างมโนทัศน์เป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับตัวเอง และเกิดขึ้นภายในตัวนักเรียนเอง แต่การใช้ความรู้นั้นเป็นการนำความรู้ออกมาใช้นอกตัวของนักเรียนภายใต้กิจกรรมในชั้นเรียนที่ต้องมีปฏิสัมพันธ์กับสังคมหรือเพื่อนร่วมชั้น ดังนั้นการใช้ความรู้จึงเป็นสิ่งที่นักเรียนแสดงออกถึงความรู้ที่นักเรียนมีให้สอดคล้องและมีปฏิสัมพันธ์กับกิจกรรมทางสังคม โดยการฝึกอภิปรายภายในกลุ่ม การนำเสนอ การโต้แย้ง และการฝึกคิด สามารถพัฒนาไปสู่การสร้างชิ้นงานด้วยตัวของนักเรียนเองภายใต้ประเด็นปัญหาทางสังคมที่นักเรียนอาศัยอยู่

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีสรรคนิยมที่เน้นกระบวนการทางสติปัญญากับการสอนโดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมสามารถสรุปได้ว่า ความรู้ใหม่ที่นักเรียนได้รับเกิดขึ้นจากความรู้เดิมที่ได้จากการสืบค้นแล้วนำไปแก้ปัญหาที่นักเรียนสนใจในบริบทปัญหาของสังคม เมื่อนักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาตามพื้นฐานความรู้เดิมต้องทำการรวบรวมข้อมูลตามแนวทางที่นักเรียนสร้างขึ้น

ส่งผลให้ได้รับข้อมูลใหม่ นำไปสู่การปรับปรุงโครงสร้างความคิดที่เชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมกับข้อมูลใหม่จนเกิดความสมดุลและเป็นความรู้ใหม่ที่นักเรียนสร้างขึ้นด้วยตัวนักเรียนเองผ่านประสบการณ์การเรียนรู้อย่างกระตือรือร้น โดยทฤษฎีสรรคนิยมที่เน้นกระบวนการทางสติปัญญามีลักษณะสำคัญที่ส่งเสริมการเรียนรู้สรุปได้ ดังนี้

1. นักเรียนสร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนเองโดยการลงมือปฏิบัติอย่างกระตือรือร้น ทั้งจากการสืบค้นข้อมูลเพื่อสร้างแนวทางการแก้ปัญหา และการนำแนวทางแก้ปัญหาที่สร้างขึ้นไปใช้แก้ปัญหา ซึ่งไม่ใช่การรอรับความรู้จากครูผู้สอน
2. นักเรียนได้รับโอกาสในการใช้ความรู้ผ่านกิจกรรมโครงงาน โดยประยุกต์ความรู้และประสบการณ์ไปใช้ในการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับบริบทของสังคม
3. นักเรียนต้องได้รับโอกาสในการนำเสนอความรู้ที่นักเรียนได้เรียนรู้เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงความรู้ที่นักเรียนได้สร้างขึ้นด้วยตัวนักเรียนเอง

3.2.2 ทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้ (Constructionism)

Seymour Papert ศิษย์ของ Jean Piaget ได้นำทฤษฎีสรรคนิยมมาประยุกต์ โดยกล่าวถึงการสร้างความรู้คิดของนักเรียนเกิดจากการสร้างสิ่งต่างๆ ถ้าสิ่งที่นักเรียนสร้างขึ้นตลอดจนความรู้คิดของนักเรียน หากมีผู้สนใจวิพากษ์วิจารณ์และนำไปใช้ จะทำให้นักเรียนเรียนรู้ได้มากขึ้น และจากการสร้างสรรค์ความรู้ ผู้เรียนได้รับการฝึกเผชิญประสบการณ์และปัญหาประสบการณ์ที่เกิดขึ้นตลอดจนการทำกิจกรรมทุกขั้นตอนทำให้นักเรียนสร้างสรรค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง (ราชบัณฑิตยสถาน: 2551: 87, Papert and Harel, 2002)

Bers (2001: 9-14) ศิษย์ของ Papert ได้อธิบายการเรียนรู้ของนักเรียนตามทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้ว่าสามารถเรียนรู้ได้ดีถ้าสร้างผลงานที่มีความหมายและแลกเปลี่ยนผ่านการใช้สื่อ โดยเริ่มจากการเลือกหัวข้อที่สนใจซึ่งต้องอาศัยทักษะในการสื่อสารจากการอภิปรายและสะท้อนความคิดเพื่อใช้ในการระบุปัญหาในการทำโครงงาน สอดคล้องกับแนวคิดของ Stager (2005: 1-2) ในการเลือกหัวข้อสำหรับการทำโครงงานโดยกล่าวว่า “การเรียนรู้ที่มีพลัง คือการเรียนรู้ด้วยการเป็นคนช่างสงสัยในเรื่องที่สนใจ” นอกจากนี้ Bers (2001: 9-14) ได้อธิบายเพิ่มเติมในส่วนของการออกแบบและวางแผนการทำโครงงานต้องอาศัยการสื่อสารและสื่อความหมายเป็นอย่างมากเพื่อให้ได้ขั้นตอนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ในระหว่างการดำเนินการทำโครงงานและสร้างสรรค์ผลงานเป็นส่วนที่ต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานของวิศวกรรมจนกระทั่งแล้วเสร็จเป็นผลงานที่ผ่านการสำรวจตรวจสอบแล้วสร้างสรรค์ออกมาเป็นผลงานที่สัมผัสได้

Papert (2002) กล่าวถึงความรู้ใดที่นักเรียนต้องใช้ในชีวิตประจำวัน สิ่งนั้นเป็นสิ่งที่นักเรียนต้องเรียนรู้ด้วยตนเองถึงครูจะสอนหรือไม่ก็ตาม ส่งผลให้การเรียนรู้ด้วยทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้เป็นการเปลี่ยนแปลงนักเรียนในระดับลึกเกี่ยวกับโอกาสที่จะนำนักเรียนไปสู่การเรียนรู้ที่ไม่ใช่

การพิสูจน์สิ่งที่ครูสอนหรือสิ่งที่นักเรียนรู้ แต่เป็นการเชื่อมโยงโลกของการเรียนรู้เข้ากับโลกของความเป็นจริงผ่านประสบการณ์ในการสร้างสรรค์ผลงาน ซึ่ง Harel (2002: 11) ได้อธิบายถึงสิ่งที่นักเรียนได้รับจากการเรียนรู้ด้วยทฤษฎีสรรคนิยมมี 2 ประการคือ (1) ความรู้ที่ได้รับเป็นความรู้ที่เป็นรูปธรรม และ (2) วิธีการเรียนรู้ ซึ่งเป็นการเรียนรู้วิธีการเรียนหรือการเข้าใจวิทยาศาสตร์ด้วยตัวนักเรียนเอง (how children do science) ไม่ใช่การเรียนรู้ในสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์เคยศึกษามา (how scientist do science)

Papert (2002: 4) ได้สรุปหลักสำคัญของทฤษฎีสร้างสรรค์ความรู้ไว้ 8 ประการ ดังนี้

1. เรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ
2. ใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือช่วยในการเรียนรู้
3. เรียนและทำงานอย่างสนุกสนานและมีความสุขผ่านภาระงานหนัก
4. เรียนรู้วิธีการเรียนรู้ (learn how to learn)
5. ใช้เวลามากเพื่อการเรียนรู้
6. เรียนรู้สิ่งผิดพลาด เพื่อให้เข้าใจสิ่งที่ถูกต้อง
7. นักเรียนและครูเรียนรู้ไปพร้อมกัน
8. เรียนรู้ทักษะการใช้เทคโนโลยีเพื่อเรียนรู้และอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน

3.3 ความสัมพันธ์ของการออกแบบทางวิศวกรรมกับโครงงานวิทยาศาสตร์

การจัดการศึกษาของสหรัฐอเมริกาในช่วงเริ่มต้นได้รับอิทธิพลจากนักการศึกษาชาวยุโรป Friedrich Froebel และ Johann Heinrich Pestalozzi โดยยึดถือแนวคิดในการจัดการศึกษาต้องอาศัยกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน และใช้แนวทางการจัดการเรียนการสอนด้วยการลงมือปฏิบัติ (hands-on approach teaching) ซึ่ง Pestalozzi ได้ทำการศึกษาในปี ค.ศ. 1804 โดยใช้การสอนเน้นการปฏิบัติร่วมกับการสร้างภาพร่าง (sketch) เพื่อสอนให้นักเรียนเรียนรู้วิธีการเรียนและเรียนรู้วิธีการเขียนจดหมาย หลังจากนั้น Froebel ได้ศึกษาและพัฒนาต่อยอดงานของ Pestalozzi จนกลายมาเป็นทฤษฎีที่นักเรียนสามารถเรียนรู้ผ่านการเล่นใน 3 ส่วน ได้แก่ (1) จากธรรมชาติ หรือชีวิตจริง (2) จากความรู้ หรือวิทยาศาสตร์ และ (3) จากความสวยงามหรือศิลปะ ซึ่ง Froebel อาศัยทฤษฎีนี้ในการพัฒนาการเรียนรู้ร่วมกับการฝึกให้นักเรียนใช้ตาราง รูปทรงเลขาคณิต และตัวต่อที่ทำจากไม้ ด้วยแนวคิดนี้สถาปนิกชื่อ Frank Lloyd Wright ได้พัฒนาตัวต่อไม้เพื่อการเรียนรู้จนกลายเป็นตัวต่อ LEGO® ที่รู้จักกันเป็นอย่างดี (Kelly, 2010: 34-35)

ในปี ค.ศ. 1835 การจัดการเรียนการสอนวิศวกรรมเริ่มเป็นที่รู้จักจากการพัฒนาโรงเรียนที่เน้นการสอนวิศวกรรมศาสตร์ของ Van Rensselaer ผู้ก่อตั้ง Rensselaer Polytechnic Institute [RPI] พร้อมกับ Amos Eaton ผู้ก่อตั้งมหาวิทยาลัยสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์ที่ประยุกต์ปรัชญาทางกลศาสตร์ (mechanical philosophy) ไปสู่อู่ต่อเรื่องไอน้ำ (steamboats mills) และความรู้

เกี่ยวกับโรงงาน ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปบูรณาการกับคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบ วางแผน และสร้างสรรค์ผลงาน ซึ่ง Rensselaer ได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการจัดตั้งสถาบันแห่งนี้ว่า “ต้องการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้เกิดความเข้าใจในวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี” หลังจากนั้นจึงได้มีการพัฒนาโรงเรียนสำหรับวิศวกรรมศาสตร์มากมาย ด้วยเหตุนี้ในปี ค.ศ. 1865 Worcester Technological Institute ใน Massachusetts โดย Washburn และ Boynton ได้เพิ่มองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับหลักสูตรการเรียนรู้โดยกำหนดให้สอนทักษะทางอาชีพ (vocational skill) และความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในวิชาเรียนกลศาสตร์ โดยนักเรียนจะได้เรียนรู้ประสบการณ์การทำงาน ทฤษฎีการเรียนรู้ต่างๆ การประยุกต์ความรู้วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในการฝึกปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ โดยไม่ได้มุ่งเน้นให้นักเรียนฝึกทักษะทางด้านอุตสาหกรรม แต่ต้องการให้เรียนรู้การทำงานของวิศวกร (Kelly, 2010: 35-36)

แนวคิดของ Pestalozzi และ Froebel ที่เน้นกิจกรรมการเรียนการสอนต้องสัมพันธ์กับชีวิตประจำวัน และใช้การสร้างภาพร่าง และแนวคิดของ Rensselaer ที่เน้นฝึกพัฒนาทักษะทางอาชีพควบคู่กับการประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ จากทั้งสองแนวคิดส่งผลให้การจัดการเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 เกิดช่องว่างมากยิ่งขึ้นระหว่างวิชาเรียนในสถานศึกษา (academic subject) กับกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติ (hands-on activity) Dym, et al. (2005: 103-120) จึงทำการศึกษาและค้นพบความซับซ้อนของการคิดออกแบบ และวิธีการออกแบบที่ดีที่สุดสำหรับวิศวกรนั่นคือการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงาน (Project-based learning [PBL]) ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการเรียนสอนที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรม โดยได้เสนอองค์ประกอบสำคัญสำหรับวิทยาศาสตร์พุทธิปัญญา (cognitive science) ซึ่งเป็นวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับความคิดและความฉลาด คือ การถ่ายโอนความรู้ (transfer of learning) ที่นักเรียนต้องประยุกต์สิ่งที่เรียนรู้ไปสู่สถานการณ์ใหม่ และเรียนรู้ผ่านการเชื่อมโยงข้อมูลสารสนเทศ นอกจากนี้การเรียนรู้โดยใช้โครงงานสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมยังกระตุ้นความสามารถในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ให้เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ยังสามารถจดจำความรู้ได้เป็นเวลานาน ซึ่งการเรียนรู้โดยใช้โครงงานค้นพบโดย Willianm H. Kilpartick ในปี ค.ศ. 1918 ที่มีชื่อว่า “The Project Method” เพื่อกระตุ้นกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนผ่านการทำโครงงานที่หลากหลาย (Kelly, 2010: 36-37)

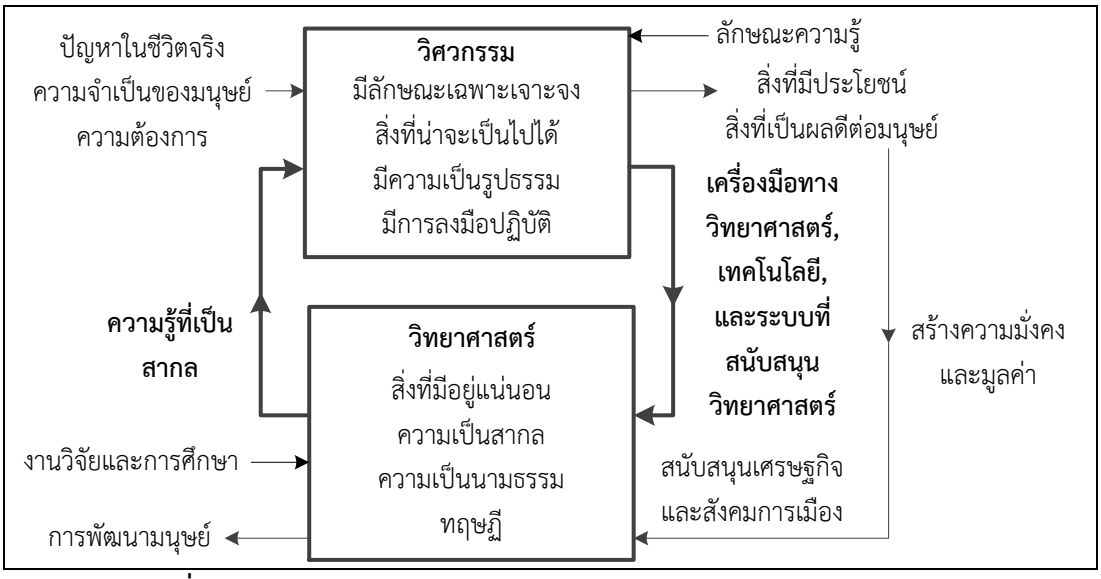
ด้วยแนวคิดการจัดการเรียนรู้เน้นการออกแบบ (design-based learning) ของ Rensselaer และ PBL ของ Kilpartick มาบรรจบรวมกันเป็นการจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ [STEM] ตามแนวคิดของ Worcester Technical Institute ด้วยมุมมองที่ว่า “ตลาดแรงงานอุตสาหกรรมต้องการวิศวกรที่มีความชำนาญด้านความรู้และเทคนิคควบคู่ไปกับประสบการณ์ในการออกแบบและสร้างโครงงานที่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและต้องทำงานเป็นทีมร่วมกับผู้อื่นได้” และจากผลการทดสอบความรอบรู้โดยโครงการ PISA ทำให้สหรัฐอเมริกาตระหนักถึงผลคะแนนทั้ง 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ จึงได้ก่อตั้ง National Science

Foundation เพื่อปฏิรูปการศึกษาให้เพิ่มคุณภาพทางการศึกษาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้ง 4 วิชา โดยเป้าประสงค์ของ STEM คือ เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของเด็กสหรัฐอเมริกาในส่วนของนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นอกจากนี้ยังเพิ่มความรู้ความเข้าใจในการรู้ทั้ง 4 สาขาวิชาให้กับพลเมืองอเมริกาทุกคน จึงทำให้การเรียนการสอนด้วยกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมผ่านการทำโครงงานที่บูรณาการข้ามกลุ่มสาระการเรียนรู้เป็นวิธีการสอนที่นำไปสู่นวัตกรรมการเรียนรู้ใหม่ที่เน้นแนวทางการสอนเกี่ยวกับโลกของความเป็นจริงและสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ ไม่ใช่เพียงแค่การฝึกทักษะทางอาชีพ แต่เป็นการเรียนรู้ การคิด และการทำงานตามแบบของวิศวกร (Kelly, 2010: 37, Dym, et al., 2005: 109-110, Hanover Research, 2011: 5)

3.4 แนวทางและคุณค่าของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม

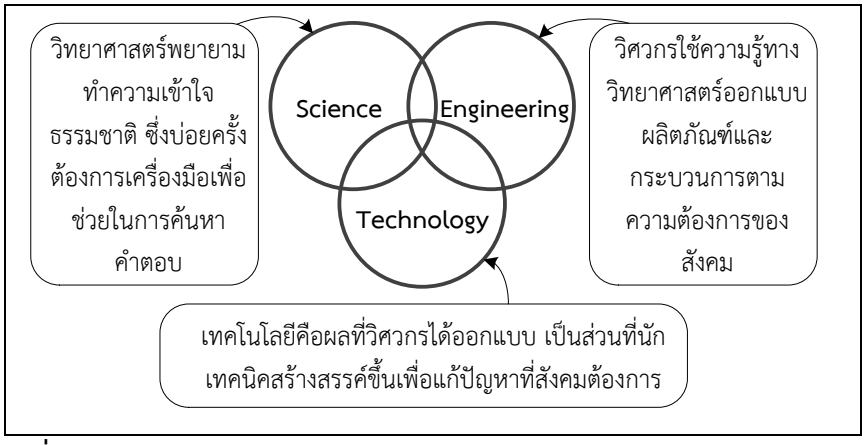
3.4.1 แนวทางการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม

การจัดการเรียนการสอนการออกแบบทางวิศวกรรมจากระดับประถมศึกษาถึงมัธยมศึกษามีความสอดคล้องกับความคิดใหม่ของระบบการศึกษาสำหรับเนื้อหาและกระบวนการต่างๆ ในโรงเรียน เพื่อมุ่งเน้นให้นักเรียนได้สร้างสิ่งประดิษฐ์ โดยการออกแบบทางวิศวกรรมนั้นแตกต่างจากวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในส่วนที่ต้องบูรณาการความรู้มากกว่า และต้องลงมือทำอย่างจริงจัง (The National Academic Press, 2009: 71-72) การออกแบบทางวิศวกรรมต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่สัมพันธ์หรือสอดคล้องกับเรื่องที่ใช้ในการสร้างผลงานที่มีประโยชน์และเป็นสิ่งใหม่ที่ยังไม่เคยที่ใครทำมาก่อน หรืออาจเรียกได้ว่าเป็น ผลงานสำหรับอนาคต (future object) โดย Callaos (2011: 9-10) ได้แสดงความสัมพันธ์ของความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการออกแบบทางวิศวกรรมไว้ ดังแผนภาพต่อไปนี้



แผนภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับการออกแบบทางวิศวกรรม

จากแผนภาพข้างต้น Callaos อ้างถึงความพยายามในการเปรียบเทียบเพื่อแยกความรู้เกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีออกจากกัน แต่ในความเป็นจริงวิศวกรรมศาสตร์ละการออกแบบทางวิศวกรรมต้องอาศัยความรู้จากทุกสาขาวิชามาช่วยในการดำเนินงาน จึงไม่สามารถแยกออกจากกันได้อย่างสิ้นเชิง ถึงแม้มีความแตกต่างกันก็ตาม สอดคล้องกับงานของ Massachusetts Department of Education (2006, อ้างถึงใน Mahacek and Worker, 2013: 47) ที่ได้เสนอความสัมพันธ์ของเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี ดังแผนภาพต่อไปนี้



แผนภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี

จากแผนภาพข้างต้น MDE กล่าวถึงนักวิทยาศาสตร์ทำการสืบสอบความรู้เกี่ยวกับโลกและสร้างความรู้ใหม่ ในขณะที่วิศวกรใช้ความรู้เหล่านั้นในการออกแบบเทคโนโลยีใหม่ ทำให้นักเทคนิคใช้ความรู้ที่ได้จากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรมาประดิษฐ์ แก้ไขปรับปรุง ทดสอบ และสร้างระบบต่างๆ สอดคล้องกับข้อสังเกตของ NAS (2009: 72) ที่กล่าวถึงความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นศึกษาว่า “สิ่งนั้นคืออะไร” (what is) ทำให้เกิดการค้นพบความรู้ใหม่จากสิ่งที่ไม่เคยรู้มาก่อน สำหรับวิศวกรเน้นสร้างสิ่งที่ยังไม่เคยมีมาก่อน ประดิษฐ์สิ่งที่คนและสังคมต้องการ ทำให้เป้าหมายในการสร้างหลักสูตรเกี่ยวกับการศึกษาวิศวกรรมและการออกแบบทางวิศวกรรม รวมถึงมาตรฐานการศึกษาแห่งชาติและรัฐได้ระบุถึงการจัดการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรม โดยการสนับสนุนการเรียนรู้การออกแบบให้นักเรียนเข้าใจถึงวิธีการวางแผน และวิธีการออกแบบ (how to plan and design) ให้นักเรียนได้เห็นคุณค่าของการพัฒนาทักษะต่างๆ ที่จำเป็น เช่น การระบุปัญหา การนำเสนอ และการวางแผนการแก้ปัญหา เป็นต้น จึงเห็นได้ว่าการออกแบบทางวิศวกรรไม่ใช่เพียงแค่กิจกรรมให้นักเรียนสร้างผลงานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่เป็นพื้นฐานในการจัดการศึกษาที่สามารถทำให้นักเรียนเข้าใจหลักการทำงานของวิศวกร จึงถือได้ว่าการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาและเป็นหลักสูตรที่กระตุ้นให้นักเรียนพัฒนาทักษะอย่างเต็มศักยภาพ

สำหรับการศึกษาหรือพัฒนาเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรม มีนักวิชาการหลายท่านได้ศึกษาการจัดการเรียนการสอนวิศวกรรม การออกแบบทางวิศวกรรม และการใช้องค์ประกอบหลัก

ของการออกแบบทางวิศวกรรมหลายท่าน เพื่อให้เข้าใจถึงแนวทางการจัดการเรียนการสอนและผลการเรียนรู้ที่ต้องการ ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางการเรียนการสอน ดังต่อไปนี้

Sadler, Coyle, and Schwartz (2000: 324-325) ศึกษาการแข่งขันทางด้านวิศวกรรมในชั้นเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษา โดยมุ่งเน้นศึกษาองค์ประกอบในการพัฒนาความท้าทายในการออกแบบให้มีประสิทธิภาพ โดยได้เสนอองค์ประกอบของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรมให้ประสบความสำเร็จในโรงเรียนมัธยมศึกษาไว้ ดังนี้

1. มีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน กล่าวคือในการจัดการเรียนการสอนครูควรแสดงออกให้เห็นถึงความชัดเจนในประเด็นปัญหา สิ่งที่นักเรียนต้องการศึกษา และแนวทางการปฏิบัติ โดยที่ครูเป็นผู้ช่วยเหลือและแนะนำนักเรียนในการเลือกหรือตัดสินใจกลยุทธ์ต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อนักเรียนและสามารถทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่นักเรียนต้องการ

2. การออกแบบควรได้รับการประเมินด้วยการทดสอบที่น่าเชื่อถือมากที่สุดเกี่ยวกับประโยชน์การใช้งาน ไม่ใช่การตัดสินด้วยเกณฑ์การให้คะแนนแบบ rubrics หรือเกณฑ์การประเมินรายวิชาเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประเมินด้วยทัศนคติของครูและของนักเรียนเป็นสิ่งที่ควรระวังมากที่สุด

3. การออกแบบแบบร่างในการทำโครงงาน นักเรียนแต่ละคนจะมีความแตกต่างด้านทักษะและระดับในการสร้างความรู้และความเชื่อมั่นในการทำงาน ดังนั้นการทำคู่มือการออกแบบสามารถช่วยให้นักเรียนที่มีความสามารถในระดับที่ไม่ชำนาญสามารถสืบค้นและเริ่มต้นการทำงานอย่างมีลำดับขั้นตอน อีกทั้งยังพัฒนาทักษะการสร้างผลงานได้อีกด้วย

4. การเรียนรู้ของนักเรียนสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ความล้มเหลวไปจนถึงประสบความสำเร็จ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้ทำการทดสอบความคิด ปรับปรุงผลงาน และสามารถเข้าใจอย่างลึกซึ้งได้ ครูควรทำการทดสอบเป็นระยะๆ และให้นักเรียนทำซ้ำๆ หรือทำการประเมินเป็นระยะสั้นๆ

5. การออกแบบทางวิศวกรรมจำเป็นต้องใช้เวลาในการทำงานพอสมควร การที่นักเรียนจะดึงความสามารถและเพิ่มศักยภาพในการทำงานได้นั้น จำเป็นต้องให้เวลาในแต่ละขั้นตอนการทำงานพอสมควร

6. บันทึกรายละเอียดระหว่างการดำเนินงาน นักเรียนควรบันทึกรายละเอียดระหว่างการดำเนินการทำโครงงาน ถ่ายภาพรายละเอียดการทำงาน เพื่อใช้ในการอภิปรายการดำเนินงานในชั้นเรียนและปรับปรุงผลงานให้ดียิ่งขึ้น

Carr and Strobel (2001: 14-18) ได้ศึกษาการบูรณาการความท้าทายของการออกแบบทางวิศวกรรมไปสู่การศึกษาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ในโรงเรียนระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา จึงได้เสนอแนวทางการจัดการศึกษาไว้ ดังนี้

1. กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในการเรียนการสอนระดับประถมและมัธยมศึกษานั้นพัฒนามาจากการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานซึ่งนักเรียนต้องทำการวิจัยให้เหมาะสมกับระดับความสามารถและวัยของนักเรียน การจัดกิจกรรมในลักษณะนี้ช่วยเพิ่มความสนใจ

ความสามารถในการทำงาน และความเข้าใจที่ลึกซึ้งทำให้สามารถจดจำได้ในระยะยาว ประเด็นปัญหาสำหรับการจัดการเรียนการสอนจึงมีความสำคัญซึ่งควรเป็นคำถามปลายเปิด และเป็นปัญหาในโลกของความเป็นจริงที่มีแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ดังนั้นผลการเรียนรู้ที่คาดหวังในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในลักษณะนี้คือ การแก้ปัญหาและทักษะต่างๆ ที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาในสภาพจริงที่นักเรียนเผชิญอยู่ ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง

2. ลักษณะการสอนของครูควรสอนแบบอุปนัยที่มีประเด็นปัญหาและการประยุกต์ความรู้เป็นส่วนสำคัญที่นักเรียนควรเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้รู้วิธีการสำหรับค้นหาแนวทางการแก้ปัญหาด้วยตนเองเช่นเดียวกับแนวทางการจัดการเรียนการสอนแบบสืบสอบ การเรียนการสอนโดยใช้ปัญหาเป็นฐาน การเรียนการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน และการเรียนการสอนโดยใช้กรณีศึกษาเป็นฐาน การเตรียมปัญหาสำหรับนักเรียนจึงมีความสำคัญในการจัดการเรียนรู้ ส่งผลต่อข้อมูลที่นักเรียนต้องทำการสืบค้นและทักษะต่างๆ ที่ครูต้องเตรียมให้นักเรียนมีความพร้อม จึงเน้นเปลี่ยนวิธีสอนของครูจากการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมมาเป็นการให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและพัฒนาทักษะต่างๆ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่นักเรียนสนใจ โดยครูเป็นผู้ช่วยและให้การสนับสนุนให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหานั้นได้ ไม่ใช่ครูเป็นผู้สอนด้วยการบรรยายแล้วให้นักเรียนจำเหมือนแต่ก่อน

3. ความรอบรู้ของนักเรียนมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากประเด็นปัญหาในการสอนโดยใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นปัญหาในโลกของความเป็นจริง รวมไปถึงบรรยากาศในการเรียนการสอนที่เป็นกิจกรรมเปิดและต้องใช้เวลาพอสมควร ทำให้นักเรียนต้องใช้ความรู้ทั้งทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหา แต่ด้วยความแตกต่างและความหลากหลายของความสามารถของนักเรียนย่อมมีทั้งคนที่ยังไม่ชำนาญ (novice) และคนที่มีความสามารถสูง (expert) ซึ่งนักเรียนที่ยังไม่ชำนาญไม่ได้หมายถึงคนที่ไม่มีความรู้ความสามารถแต่อาจมีความสามารถในด้านอื่นมากกว่าการจดจำโนทัศน์ ในที่นี้ทักษะเป็นสิ่งสำคัญพื้นฐานที่นักเรียนใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม เมื่อถึงเวลาหนึ่งที่ต้องเผชิญกับปัญหาในอนาคต ทักษะและความสามารถที่มีอยู่จะถูกใช้อย่างอัตโนมัติ ทักษะและข้อมูลใหม่จะถูกเพิ่มเข้ามาในภายหลัง หากพิจารณานักเรียนที่มีความชำนาญหรือมีความสามารถสูงพบว่าความสามารถของนักเรียนที่ไม่ชำนาญไม่มีหรือมีน้อย นั่นคือ การวิเคราะห์ปัญหา การติดสินใจ และการประยุกต์ความรู้เดิมไปสู่ความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในปัญหาใหม่ ดังนั้นในส่วนนี้ทักษะจึงมีความสำคัญสำหรับนักเรียนที่ครูต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษโดยเฉพาะอย่างยิ่งทักษะต่อไปนี้ (1) การวิเคราะห์ (2) การคาดคะเน (3) การแปลความหมายข้อมูล (4) การสร้างโมเดล (5) การสรุป (6) การระดมสมอง (7) การระบุปัญหาและแนวทางแก้ปัญหา (8) การตัดสินใจ และ (9) การแก้ปัญหา

4. ควรบูรณาการการศึกษาวิศวกรรมไปสู่มาตรฐานหรือหลักสูตรสถานศึกษา นอกจากนี้ควรสนับสนุนและกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาจนกลายเป็นนิสัย (habits of mind) ได้แก่ (1) การคิดอย่างเป็นระบบ (2) ความคิดสร้างสรรค์ (3) การมองโลกในแง่ดี (4) การเรียนรู้ร่วมกัน (5) การสื่อสาร และ (6) การพิจารณาตามหลักจริยธรรม ซึ่งจะเชื่อมโยงกับทักษะสำคัญของศตวรรษที่ 21 ที่การออกแบบทางวิศวกรรมคาดหวังให้นักเรียนสามารถประยุกต์ความรู้ สื่อสารได้อย่างสมบูรณ์แบบ มีทักษะทางสังคม สามารถแก้ปัญหาที่ไม่ใช่ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ สามารถจัดการ

ตนเองได้ และสามารถสร้างความรู้อย่างเป็นระบบ การออกแบบทางวิศวกรรมมีจุดเด่นในเรื่องของการตั้งคำถามและการสืบสอบความรู้นำไปสู่ความสามารถในการให้เหตุผล โดยนักเรียนต้องใช้พื้นฐานความรู้จากทั้งคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาต่างๆ ดังนั้นหลักสูตรสถานศึกษาและมาตรฐานของชาติควรสนับสนุนทักษะเหล่านี้ให้เกิดกับนักเรียนและให้เหมาะสมกับกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนตามวัยและระดับความสามารถ

ElMadany and Al-Bahakli (2004: 777-780) กล่าวถึงการศึกษาการออกแบบทางวิศวกรรมของมหาวิทยาลัย King Saud University ได้ยึดมาตรฐานการจัดการเรียนการสอนตามเกณฑ์ของ ABET 2000 ซึ่งนักวิชาการต่างคาดหวังให้นักเรียนรู้ซึ้งในพื้นฐานความรู้วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการปฏิบัติของวิศวกรรม ทักษะการสื่อความหมายที่มีประสิทธิภาพ และความสามารถในการคิด โดย ElMadany and Al-Bahakli ได้เสนอผลการเรียนรู้ที่คาดหวังในการจัดการเรียนการสอน ดังนี้

1. ความสามารถในการระบุปัญหา และสืบค้นแนวทางในการแก้ปัญหา เป็นสิ่งที่นักเรียนต้องประยุกต์ความรู้ วิเคราะห์ และระบุปัญหา เพื่อใช้ในการสร้างแนวทางการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์
2. ความสามารถในการมีปฏิสัมพันธ์กับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่ออภิปรายในรายละเอียดของโครงงาน
3. ความสามารถในการนำเสนอการออกแบบและการพัฒนาระบบ
4. ความสามารถในการกำหนดบทบาทหน้าที่ของสมาชิกภายในกลุ่ม
5. ความสามารถในการปฏิบัติภาระงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดบนพื้นฐานความรู้ของวิศวกรรมและเทคโนโลยี
6. ความสามารถในการประยุกต์มโนทัศน์และจริยธรรมไปสู่การดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพ
7. ความสามารถในการประยุกต์ความรู้ด้านเศรษฐศาสตร์และประเด็นทางสังคมไปสู่การดำเนินงานได้
8. ความสามารถในการประยุกต์ทักษะการปฏิบัติการไปสู่การทำโครงงาน การตัดสินใจ และการจัดซื้อรายการต่างๆ
9. ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำวิจัยในการพัฒนาโครงงานและการศึกษาองค์ประกอบต่างๆ

Kelly (2011: 39-40) ศึกษาเนื้อหาหลักสูตรการออกแบบทางวิศวกรรมในโรงเรียนมัธยมศึกษาและประเมินการฝึกปฏิบัติของนักเรียนมัธยมศึกษาในรายวิชาการศึกษาเทคโนโลยี พบว่าตลาดแรงงานในปัจจุบันต้องการบุคคลที่มีทักษะในการทำงานที่มีความชำนาญตามความเฉพาะเจาะจงของสายงาน เมื่อทำการสำรวจเกี่ยวกับทักษะการทำงานที่จำเป็นสำหรับนักเรียนนั้นได้แก่ ทักษะทางวิชาการ และทักษะทางเทคนิค แต่ทักษะสำคัญที่เพิ่มเข้ามาได้แก่ ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล ทักษะการวิเคราะห์ ทักษะการแก้ปัญหา การคิดอย่างสร้างสรรค์ ทักษะการแปล

ความหมาย และการจัดการตัวเอง ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงให้เป็นมโนทัศน์หลักของการออกแบบทางวิศวกรรม Kelly จึงได้เสนอ 5 มโนทัศน์สำคัญที่ได้จากการสำรวจจาก 123 ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการศึกษาเทคโนโลยี การศึกษาวิศวกรรม และครูผู้สอน ซึ่งมโนทัศน์ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการทำงาน มีดังนี้

1. ทักษะระหว่างบุคคล เป็นทักษะที่จำเป็นเพื่อใช้ในการทำงานเป็นกลุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งทัศนคติและจรรยาบรรณในการทำงาน

2. ความสามารถในการสื่อความหมายเกี่ยวกับความคิด การใช้ภาษาทั้งทางข้อความและกายภาพ รวมไปถึงการนำเสนอเป็นแผนภาพต่างๆ

3. การทำงานภายใต้ข้อจำกัดและตัวแปรต่างๆ

4. ประสบการณ์ในการระดมสมองและการสร้างสรรค์ความคิด

5. การประเมินผลผลิตที่ได้จากการออกแบบซึ่งรวมไปถึงบทบาทหน้าที่และประสิทธิภาพในการทำงานของผลผลิต

3.4.2 คุณค่าของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม

Sadler, Coyle, and Schwartz (2000: 302-304) พบว่าการจัดการเรียนการสอนโดยการออกแบบทางวิศวกรรมในโรงเรียนมัธยมศึกษาช่วยเพิ่มทักษะกระบวนการ การสร้างเนื้อหาความเข้าใจ และเตรียมความพร้อมด้านอาชีพให้กับนักเรียนผ่านกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เมื่อสัมภาษณ์นักวิทยาศาสตร์ นักเทคนิค และวิศวกรพบว่าการที่นักเรียนได้เรียนรู้ในลักษณะนี้เป็นการเพิ่มประสบการณ์ด้านอาชีพการทำงานในโลกของความเป็นจริงอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งนักเรียนทั้งชายและหญิงในโรงเรียนมัธยมศึกษาต่างมีความสนใจในเรื่องของอาชีพในอนาคตเช่นเดียวกับการให้ความสนใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ดังนั้นการสอนในลักษณะนี้จึงเป็นการเพิ่มโอกาสและมุมมองด้านอาชีพให้กับนักเรียน Sadler, Coyle, and Schwartz ได้วิจัยพบลักษณะสำคัญของการออกแบบทางวิศวกรรมที่เป็นประโยชน์สำหรับการสอนในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ ดังนี้

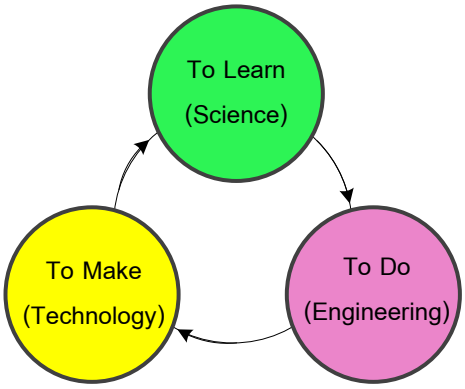
1. ประเด็นปัญหาในการออกแบบเป็นสิ่งที่ต้องอาศัยความรู้จากการเรียนวิทยาศาสตร์ซึ่งถูกกระตุ้นความสนใจด้วยกิจกรรมที่สอดคล้องกับโลกของความเป็นจริง

2. การออกแบบเป็นสิ่งที่สร้างโมเดลทางความคิดซึ่งเป็นโมเดลทางมโนทัศน์ที่ตกผลึกจนสามารถทำให้เกิดเป็นรูปธรรมได้ ซึ่งไม่ใช่เพียงแค่กระดาษแผ่นเดียวเท่านั้น

3. การออกแบบจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงอยู่เสมอ แนวทางการแก้ปัญหาต่างๆ จะได้รับการสร้างขึ้นมาใหม่และประเมินหรือทดสอบอยู่เป็นประจำ ดังนั้นการสะท้อนกลับจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการปรับปรุงและสร้างผลงานในครั้งต่อไป

4. การออกแบบจำเป็นต้องอาศัยความรู้จากหลายสาขาวิชามาบูรณาการรวมถึงข้อเท็จจริง มโนทัศน์ และทักษะ

Mahacek and Worker (2013: 50-51) ศึกษาการพัฒนาการศึกษาวิทยาศาสตร์ด้วยการบูรณาเข้ากับวิศวกรรมศาสตร์และการศึกษาเทคโนโลยีในการเรียนการสอนตามหลักสูตรการออกแบบหุ่นยนต์ โดยได้เสนอประโยชน์ด้วยแผนภาพดังนี้



แผนภาพที่ 8 ประโยชน์ที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี

จากแผนภาพข้างต้น Mahacek and Worker กล่าวถึงประโยชน์จากการเรียนรู้ไว้ ดังนี้

1. ประโยชน์จากการเรียนรู้เกี่ยวกับเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ผ่านการสำรวจ และสืบค้นข้อมูล นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านกิจกรรมการสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสนับสนุนการสืบสอบความรู้ในระดับลึก แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์และเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างความรู้
2. ประโยชน์จากการปฏิบัติผ่านการออกแบบทางวิศวกรรม นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านกิจกรรมการออกแบบบนพื้นฐานความรู้ที่ได้จากการสำรวจและสืบค้นข้อมูล โดยนักเรียนนำเสนอประเด็นปัญหาและกระบวนการต่างๆ ที่นักเรียนพบ รวมไปถึงการออกแบบและวางแผนการดำเนินการในการแก้ปัญหา ซึ่งสนับสนุนให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในการระบุปัญหา การแก้ปัญหา การออกแบบและวางแผนการทำงาน
3. ประโยชน์จากการสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามแนวคิดของนักเทคโนโลยี เป็นการประยุกต์มโนทัศน์ ลงมือสร้างและทดสอบสิ่งประดิษฐ์รวมไปถึงการสังเกตและรวบรวมข้อมูลทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจอย่างลุ่มลึกมากยิ่งขึ้น

National Academy of Science (2009: 49-64) กล่าวถึงประโยชน์ของการจัดการเรียนการสอนการออกแบบทางวิศวกรรมในโรงเรียนการศึกษาขั้นพื้นฐาน (K-12) ไว้ 5 ประเด็น ดังนี้

1. เพิ่มความสามารถในการเรียนรู้และความสำเร็จในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
2. เพิ่มความตระหนักในความเป็นวิศวกรและหลักการทำงานของวิศวกร
3. เกิดความเข้าใจและมีความสามารถในการออกแบบทางวิศวกรรม
4. เพิ่มความสนใจในการบรรลุวัตถุประสงค์ในการอาชีพวิศวกร
5. เพิ่มการรู้เทคโนโลยี

Puteh, Ismail, and Mohammad (2010: 415-416) ศึกษาการจัดการเรียนการสอนการออกแบบทางวิศวกรรมโดยใช้โครงงานเป็นฐานในประเทศมาเลเซีย ได้สัมภาษณ์นักเรียนเกี่ยวกับประโยชน์ในการเรียนด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การจัดการเรียนการสอนด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นการจัดบรรยากาศการเรียนรู้ของการทำงานที่แท้จริง ซึ่งนักเรียนได้ประยุกต์ความรู้เพื่อช่วยในการสร้างโครงงาน อีกทั้งยังเพิ่มประสบการณ์และความรู้สำหรับการทำงานในอนาคต
2. การจัดการเรียนการสอนด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมช่วยให้เข้าใจวัตถุประสงค์ของรายวิชาอย่างสมบูรณ์ ซึ่งการจัดการเรียนการสอนในลักษณะนี้เป็นช่วยให้นักเรียนเข้าใจการออกแบบผ่านกิจกรรมการปฏิบัติภายใต้ทฤษฎีการเรียนรู้ต่างๆ
3. การจัดการเรียนการสอนด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมช่วยในการฝึกปฏิบัติให้เกิดความชำนาญในการออกแบบซึ่งนักเรียนแต่ละคนอาจเคยเรียนทฤษฎีหรือวิธีการจากวิชาเรียนอื่น แต่เมื่อผ่านการเรียนด้วยการออกแบบทางวิศวกรรมโดยใช้โครงงานเป็นฐานนักเรียนจะได้รับประสบการณ์และทักษะในการออกแบบมากยิ่งขึ้น

4. เทคนิคการใช้ผังกราฟิก

รากฐานของเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมาจากงานวิจัยของ Ausubel ประมาณช่วงปี ค.ศ. 1963 พัฒนาการใช้ Advance Organizers เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการเรียน (Tsai and You, 2009: 829, Price; 2008: 8, Hoffmann, 2010: 21-24) ความสนใจเกี่ยวกับผังกราฟิกเริ่มมีมากขึ้นในปลายปี ค.ศ. 1970 (พ.ศ. 2513) โดย Ausubel ต้องการเตรียมความพร้อมเกี่ยวกับวิธีการที่นักเรียนจะนำความรู้เดิมที่มีอยู่มาจัดกระทำและแปลความหมายให้เข้ากับข้อมูลใหม่ ในยุคแรกเริ่มของผังกราฟิกมีลักษณะเป็นข้อความสั้นที่แสดงถึงโครงสร้างเนื้อหาโดยรวม แต่เนื่องด้วยลักษณะของการจัดกระทำข้อมูลได้นำเสนอความรู้เดิมที่นักเรียนมีไปสู่ความรู้ใหม่ที่นักเรียนกำลังจะศึกษา จึงถูกเรียกว่า “Advance Organizers [AOs]” ซึ่ง Ausubel ได้นำเสนอภาพรวมของโครงสร้างเนื้อหามาใช้จัดกระทำความรู้ที่นักเรียนต้องศึกษาแล้วนำเสนอให้นักเรียนเข้าใจภาพรวมของเนื้อหาที่ต้องการศึกษา โครงสร้างของเนื้อหา และรายละเอียดต่างๆ ที่จะศึกษาต่อไปในอนาคต ดังนั้น AOs จึงเป็นการเตรียมความพร้อมและกระตุ้นความรู้เดิมเพื่อให้พร้อมสำหรับการเรียนรู้สิ่งใหม่ ในขณะที่ Ausuble ใช้ข้อความสั้นเชื่อมโยงข้อมูลสำหรับทำ AOs ทางด้าน Barron and Cooper ได้ใช้วิธีการนำเสนอด้วยรูปภาพแทนข้อความสั้นๆ และพบว่าการใช้รูปภาพมีประสิทธิภาพสูงกว่า ในปี ค.ศ. 1976 Mayer เกิดความสนใจจึงศึกษาประสิทธิภาพของ AOs พบว่า AOs ที่นำเสนอด้วยข้อความจำนวนมากแล้ววางไว้ในตำแหน่งที่ใกล้กันส่งผลให้นักเรียนเกิดความสับสนและไม่มีประสิทธิภาพในการระลึกข้อมูลได้ แต่ประเด็นที่น่าสนใจคือ AOs ไม่ได้ช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจและระลึกได้หากใช้กับข้อมูลหรือหนังสือที่อ่านง่าย ในปี ค.ศ. 1981 Alvermann ทำวิจัยเกี่ยวกับความเข้าใจและระลึกได้โดยใช้ AOs พบว่า AOs ช่วยในการจดจำและระลึกได้ดีกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นคำอธิบาย

และต้องการการจัดกระทำให้เกิดความเข้าใจ แต่ถ้าเป็นข้อมูลที่ไม่ต้องการการจัดกระทำใหม่ AOs จะไม่สามารถช่วยให้ระลึกได้ (Hoffmann, 2010: 21-22)

การใช้ข้อความสั้นเป็นลักษณะของ AOs ในยุคเริ่มต้นของผังกราฟิกที่แสดงถึงโครงสร้างข้อมูลหรือเนื้อหา แล้วเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์โดยที่ครูเป็นผู้จัดกระทำแล้วนำเสนอให้นักเรียนเข้าใจ แต่ในปี ค.ศ. 1974 Barron and Stone ได้ทำการศึกษาแนวทางการใช้ AOs ในส่วนของกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน และพัฒนามาเป็น “Graphic Post-Organizers” โดยให้นักเรียนสร้างผังกราฟิกในแบบฉบับของตนเองภายหลังจากอ่านหนังสือหรือศึกษาข้อมูลที่มีลักษณะเป็นข้อความบรรยาย จากการศึกษาของ Barron and Stone พบว่า การให้นักเรียนเป็นผู้สร้างผังกราฟิกด้วยตัวของนักเรียนเองเป็นผลดีกว่าการที่ครูเป็นผู้สร้างแล้วนำเสนอให้นักเรียนศึกษา ถือเป็นการจุดประกายการศึกษาผังกราฟิกในส่วนของกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน โดย Horton ได้ศึกษาในประเด็นเดียวกับ Barron and Stone โดยให้นักเรียนทำผังกราฟิกภายหลังจากการศึกษาข้อมูล พบว่า การรวบรวมความรู้ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อให้มีความหมายสำหรับการสอนซึ่งครูยังคงสอนคำศัพท์ ข้อเท็จจริง และมโนทัศน์ที่ไม่เห็นความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ส่งผลให้นักเรียนไม่ประทับใจในการเรียนลักษณะนี้ แต่การที่ให้นักเรียนสร้างผังกราฟิกภายหลังจากการเรียนนั้น เนื่องด้วยผังกราฟิกมีข้อความน้อยและใช้พื้นที่ต่างๆ ของกระดาษให้เกิดประโยชน์ จึงเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหรือข้อมูลด้วยตรรกะความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงอย่างเป็นลำดับ จึงทำให้นักวิชาการเริ่มสนใจศึกษาผังกราฟิกในบริบทของเครื่องมือสำหรับการเรียนรู้ของนักเรียน (Hoffmann, 2010: 22-24) โดยผังกราฟิกไม่ใช่เครื่องมือที่ช่วยนักเรียนในการบันทึกข้อมูลหรือจำแนกประเภทข้อมูลเท่านั้น แต่ยังช่วยให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ที่ยาก วิเคราะห์ และระบุความเชื่อมโยงระหว่างความคิด ที่สามารถนำมาใช้ได้กับทุกส่วนของกิจกรรมการเรียนรู้ตั้งแต่การระดมความคิด ไปจนถึงการนำเสนอข้อค้นพบต่างๆ (Zaini, Mokhtar and Niwawi, 2010: 17-18)

จากข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า เทคนิคการใช้ผังกราฟิกช่วยให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ที่ยากผ่านการวิเคราะห์ และระบุความเชื่อมโยงระหว่างความคิด ข้อเท็จจริง และความรู้ต่างๆ ผ่านการจัดกระทำข้อมูลแล้วนำเสนอเป็นรูปภาพ อันนำไปสู่การเรียนรู้อย่างมีความหมายจากการสร้างความรู้ด้วยตัวนักเรียนที่เชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่มี การเรียนรู้ด้วยองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อต้องการให้นักเรียนสามารถสร้างโครงงานวิทยาศาสตร์ได้นั้นนักเรียนต้องทำการศึกษาเอกสาร และข้อมูลต่างๆ มากมาย อีกทั้งยังต้องรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลภายหลังการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ดังนั้นเทคนิคการใช้ผังกราฟิกจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับนักเรียนในการเชื่อมโยง จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลอย่างมีคุณภาพ

4.1 ความหมาย และประเภทของผังกราฟิก

4.1.1 ความหมายของผังกราฟิก

นักวิชาการและนักวิจัยได้ให้ความหมายของคำว่า “ผังกราฟิก” (Graphic Organizers) ในการเรียนการสอนค่อนข้างกว้าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอนำเสนอความหมายของ “ผังกราฟิก” ดังต่อไปนี้

Dye (2000: 1) ได้กล่าวถึงความหมายของผังกราฟิกว่าเป็นการแสดงรูปภาพที่ได้รับการจัดกระทำข้อมูลเพื่อทำให้เข้าใจข้อมูลได้ง่ายขึ้นและเรียนรู้ได้ดีขึ้น

Hall and Strangman (2002: 1) กล่าวถึงความหมายของผังกราฟิกว่า เป็นการแสดงภาพหรือกราฟิกที่บรรยายหรือพรรณนาความสัมพันธ์ระหว่างข้อเท็จจริง (fact) คำศัพท์ (term) และแนวคิด (idea) ในภาระการเรียนรู้

Horran (2002: 723) ให้ความหมายของผังกราฟิกว่า เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนที่นำเสนอด้วยแผนภาพ ใช้ในการสื่อสารด้วยโครงสร้างที่เป็นตรรกะ

Education Bureau (2003: 3-4) ได้ให้ความหมายของผังกราฟิกว่าเป็นการนำเสนอแผนภาพของความรู้ที่ได้รับการจัดกระทำเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของมโนทัศน์หรือประเด็นที่สำคัญ

Ellis (2004: 1) ให้ความหมายของผังกราฟิกว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้ติดต่อสื่อสารที่แสดงถึงการจัดกระทำหรือโครงสร้างของมโนทัศน์ เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ การจัดสรรพื้นที่เพื่อนำเสนอโครงสร้างข้อมูล เพื่อลดการทำงานหนักของสมองโดยการอาศัยรูปภาพหรือแผนภาพของข้อมูล

Bowman (2005: 1) ให้ความหมายของผังกราฟิกว่า ผังกราฟิกเป็นเครื่องมือการเรียนรู้อย่างสร้างสรรค์และมีพลังที่ช่วยให้สามารถจัดการกระดาษที่ว่างเปล่าให้กลายเป็นการบันทึกรายละเอียดที่ช่วยผู้เรียนในการจัดกระทำข้อมูลในลักษณะของผังบรรยาย

Ellis and Howard (2005: 1) ให้ความหมายของผังกราฟิกว่า เป็นอุปกรณ์หรือสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นรูปภาพ ใช้บรรยายหรือพรรณนาข้อมูลด้วยวิธีการที่หลากหลาย โดยส่วนใหญ่นิยมใช้เส้นตรง วงกลม และกล่อง ในการบรรยายหรืออธิบายข้อมูล เพื่ออำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร และง่ายต่อการเข้าใจข้อมูลที่ต้องการนำเสนอ

Robinson and Kiewra (2005: 455) ได้กล่าวถึงความหมายของผังกราฟิกว่าเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการเรียนและเชื่อมโยงระหว่างมโนทัศน์ โดยนำเสนอเป็นแผนภาพแนวคิดสำคัญ

Feigenson and Sherwin (2007: 2-3) ได้กล่าวถึงความหมายของผังกราฟิกว่าเป็นการนำเสนอแผนภาพที่แฝงด้วยนัยยะที่มีความหมาย ซึ่งเป็นแนวทางที่ดีกว่าการใช้คำหรือข้อความเพียงอย่างเดียว

Hughes and Macy (2008) กล่าวว่า ผังกราฟิกเป็นการนำเสนอแผนภาพความรู้ซึ่งได้รับการจัดกระทำข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับมโนทัศน์หรือหัวข้อเพื่อใช้ในการบรรยาย

Nicholas (2008: 3) ให้ความหมายของผังกราฟิกว่า เป็นตัวอย่างที่ประกอบด้วยแผนภาพที่จัดกระทำและเน้นความสำคัญของเนื้อหา ข้อมูล คำศัพท์ และ/หรือประโยค เพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาข้อมูลด้วยวิธีการที่มีความหมาย ช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจตอย่างชัดเจน

Ciascai (2009: 1) ให้ความหมายของผังกราฟิกว่าเป็นตัวอย่าง รูปภาพหรือแบบจำลองที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลในลักษณะของแผนภาพ

Kobler (2009: 1) ให้ความหมายของผังกราฟิกว่า เป็นการนำเสนอความรู้ในรูปแบบของรูปภาพหรือแผนภาพ โดยนำเสนอโครงสร้างของข้อมูลที่ได้รับการจัดกระทำ ช่วยให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละส่วนได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

Ae-Hwa et al (2010: 105) ได้กล่าวถึงความหมายของผังกราฟิกว่าเป็นการนำเสนอรูปภาพที่ได้รับการออกแบบเพื่อช่วยในการสอนและการเรียนผ่านการใช้เส้น ลูกศรและพื้นที่เพื่ออธิบายเนื้อหาที่เป็นคำบรรยาย โครงสร้างและความสัมพันธ์ของมโนทัศน์ที่สำคัญ

ดังนั้นสามารถสรุปความหมายของผังกราฟิกได้ว่า ผังกราฟิก เป็นวิธีการนำเสนอข้อมูลหรือความรู้ที่ผ่านการวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายในลักษณะของรูปภาพหรือแผนภาพ โดยอาศัยการใช้เส้น สัญลักษณ์ ตาราง กล่องข้อความ รูปภาพ และรูปแบบต่างๆ เพื่อเชื่อมโยงหรือแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล เนื้อหา คำศัพท์ และแนวคิด ให้สามารถติดต่อสื่อสาร ทำความเข้าใจและนำเสนอได้อย่างมีคุณภาพ

4.1.2 ประเภทของผังกราฟิก

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเภทของผังกราฟิกที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนพบว่ามีด้วยกันหลายประเภทขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาที่แตกต่างกัน โดยรายละเอียดที่นักวิชาการได้แบ่งประเภทของผังกราฟิกมีดังนี้

Vekiri (2002: 264-266) ได้เสนอประเภทของผังกราฟิกไว้ 4 ประเภทดังนี้

1. ไดอะแกรม (diagrams)

2. แผนภาพ (maps)
3. กราฟ (graphs)
4. ชาร์จ (charts)

Education Bureau (2003: 3-4) ได้แบ่งประเภทของผังกราฟิกออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. แผนผังเชิงมโนทัศน์ (conceptual organizers) เป็นการแสดงการสรุปมโนทัศน์ด้วยข้อเท็จจริง หลักฐานเชิงประจักษ์และลักษณะ เช่น ผังนิยามมโนทัศน์ (concept definition map) เป็นต้น

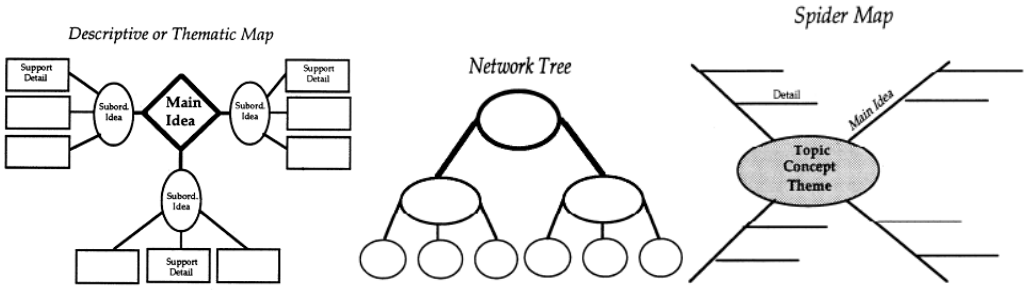
2. แผนผังแสดงลำดับขั้นตอน (sequential organizers) เป็นผังแสดงปรากฏการณ์ภายใต้ลำดับเวลา เช่น เส้นลำดับเหตุการณ์ (timeline) เป็นต้น

3. แผนผังลำดับชั้น (hierarchical organizers) เป็นผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์และลักษณะในระดับย่อยเป็นลำดับชั้นลงไป เช่น ไดอะแกรมลำดับชั้น (hierarchical diagrams) เป็นต้น

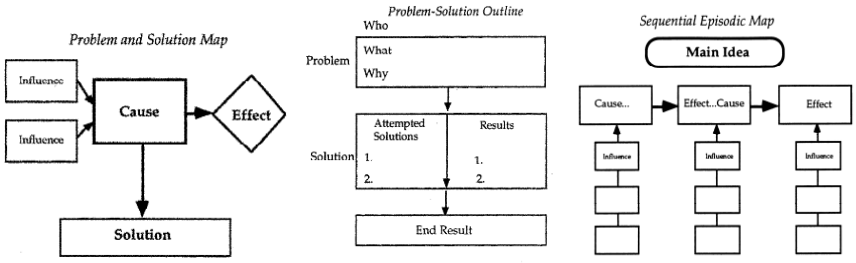
4. แผนผังวงจร (cyclical organizers) แสดงลำดับเหตุการณ์ในลักษณะของกระบวนการ เช่น ผังวัฏจักร (cyclical map) เป็นต้น

Ellis and Howard (2005: 1) และ Hall and Strangman (2002: 1-3) แบ่งประเภทของผังกราฟิกออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

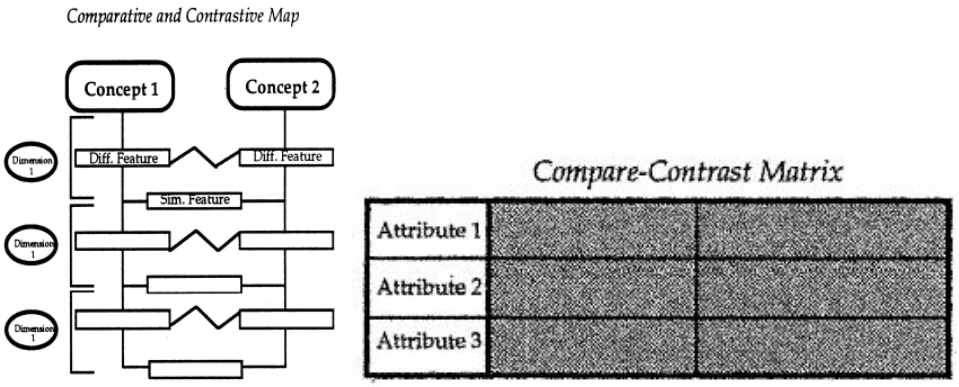
1. Descriptive or Thematic Map เป็นผังกราฟิกที่อธิบายถึงใจความสำคัญเหมาะสำหรับข้อมูลทั่วไปที่ต้องการแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบจำแนกประเภทข้อมูล (hierarchical set of information)



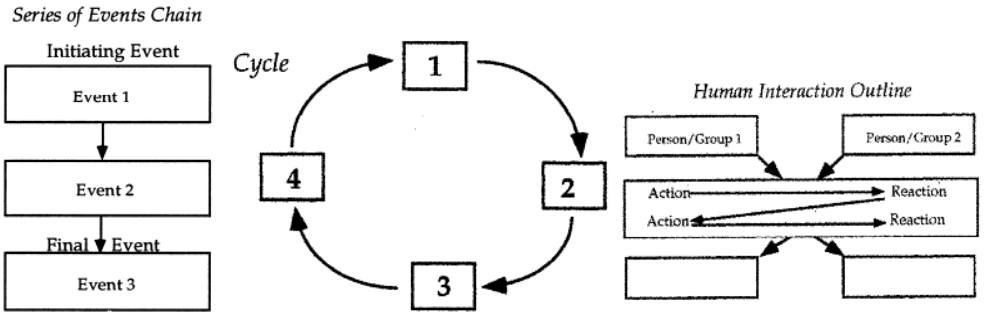
2. Problem and solution map เหมาะสำหรับข้อมูลที่เป็น cause effect and solution



3. Comparative and contrastive map เป็นแผนผังประเทที่ช่วยให้นักเรียนเปรียบเทียบความเหมือน และความต่างของมโนทัศน์



4. Series of events chain ช่วยจัดกระทำข้อมูลให้เป็นลำดับ หรือเป็นระยะเวลา



Hughes and Macy (2008) แบ่งประเภทของผังกราฟิกออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

1. Hierarchical organizers นำเสนอแนวคิดสำคัญและรายละเอียดแบบลำดับชั้น

2. Comparative organizers นำเสนอมโนทัศน์สำคัญที่มีลักษณะเหมือนหรือคล้ายกัน

3. Sequential organizers นำเสนอข้อมูลแบบลำดับขั้นตอนของเหตุการณ์ในลักษณะของลำดับเวลา

4. Diagram แสดงภาพวัตถุทางกายภาพและระบบในโลกที่แท้จริงของวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์

5. Cyclical organizers แสดงภาพลำดับเหตุการณ์ที่ไม่มีจุดเริ่มต้น และไม่มีจุดสิ้นสุดของเหตุการณ์

6. Conceptual organizers เป็นการรวบรวมมโนทัศน์สำคัญที่สนับสนุนด้วยข้อเท็จจริง หลักฐาน และลักษณะเฉพาะ

Hoffmann (2010: 31-34) แบ่งประเภทของผังกราฟิกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ผังกราฟิกประเภทเครือข่ายและลำดับชั้น (Network & Hierarchies) โดยส่วนใหญ่เป็นแผนผังเกี่ยวกับความรู้หรือมโนทัศน์ ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มความรู้แล้วเชื่อมโยงไปยังความรู้อื่นๆ คล้ายการเชื่อมต่อของเส้นประสาท แผนผังลักษณะนี้ช่วยกระตุ้นความจำ เพิ่มความสนใจ และทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ของเนื้อหาได้เป็นอย่างดี

2. ผังกราฟิกประเภทลำดับขั้นตอน (Sequence Organizers) เป็นแผนผังที่มีลักษณะเป็นลำดับเหตุการณ์ ลำดับของมโนทัศน์ หรือผังงานที่ทำให้เห็นเป็นลำดับขั้นตอนที่เกิดขึ้นภายใต้ลำดับของเวลา รวมไปถึงแผนผังเหตุและผล (causal diagram) ซึ่งมีลักษณะคล้ายผังมโนทัศน์ แต่เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล

3. การฟิกประเภทเปรียบเทียบความเหมือนและความต่าง (Compare and Contrast) เป็นแผนผังที่ใช้เปรียบเทียบในส่วนของความเหมือนและความต่างของมโนทัศน์ เช่น แผนผังแบบเวนน์ และตาราง เป็นต้น

Zaini, Mokhtar, and Nawawi (2010: 18) ได้แบ่งประเภทของผังกราฟิกตามรูปแบบ (pattern) ออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

1. Hierarchical ใช้ในการจำแนกประเภท
2. Conceptual ใช้ในการอธิบายข้อเท็จจริงในลักษณะข้อความสั้น
3. Sequential ใช้ลำดับเหตุการณ์ภายใต้ลำดับเวลา
4. Evolutional ใช้อธิบายการประเมินผลในเชิงข้อมูลสนับสนุน
5. Relational ใช้แสดงความสัมพันธ์ในลักษณะของแผนภาพหรือแผนภูมิ
6. Cyclical ใช้อธิบายความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นวงจรหรือวัฏจักร

จากการศึกษาเอกสารข้างต้นสามารถสรุปประเภทของผังกราฟิกได้ 5 ประเภท ได้แก่ (1) Hierarchical Organizer เป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์หลักกับมโนทัศน์ย่อยอย่างเป็นลำดับขั้นลงไป หรือใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูล (2) Cause/Effect Diagram เป็นการนำเสนอข้อมูลที่เป็นเหตุ ผล และแนวทางแก้ปัญหา (3) Compare/Contrast Organizer เป็นการนำเสนอการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งความเหมือน และความต่าง (4) Sequential Organizer เป็นการนำเสนอข้อมูลที่เป็นลำดับเวลา หรือเหตุการณ์ภายใต้ลำดับเวลา และ (5) Conceptual Organizer เป็นการนำเสนอข้อมูลที่สนับสนุนมโนทัศน์ด้วยข้อเท็จจริง หลักฐานเชิงประจักษ์ โดยใช้ลักษณะหรือรูปแบบเฉพาะ

4.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

การเรียนการสอนโดยใช้เทคนิคการใช้ผังกราฟิกนั้นมีรากฐานมาจากงานวิจัยของ Ausubel ที่พัฒนา Advance organizers สำหรับเป็นเครื่องมือในการเรียน โดยมุ่งเน้นการเชื่อมโยงความรู้ใหม่เข้ากับประสบการณ์หรือความรู้เดิมของนักเรียนเพื่อสร้างความรู้ใหม่ เทคนิคการใช้ผังกราฟิกจึงมี

รากฐานมาจากทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful learning theory) (Tsai and You, 2009: 829) สอดคล้องกับในช่วงปี ค.ศ. 1980 (พ.ศ. 2523) ทฤษฎีโครงสร้างความคิด (schema theory) นิยมใช้อธิบายการเรียนรู้ของมนุษย์ขึ้นอยู่กับประสบการณ์เดิม ความรู้เดิม หรือโครงสร้างความคิดเดิมที่มีอยู่ สมองของมนุษย์จัดกระทำข้อมูลเพื่อจำแนกประเภทข้อมูลบนพื้นฐานของประสบการณ์เดิม ดังนั้นการเรียนรู้ของมนุษย์เกิดจากความสัมพันธ์ของข้อมูลใหม่ที่ประกอบด้วยความรู้และมโนทัศน์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างความคิดเดิม (Price, E. A.; 2008: 8-10) ข้อมูลที่ถูกประมวลเข้าสู่โครงสร้างทางสติปัญญาและสามารถจดจำข้อมูลนั้น ถูกนำเข้าสู่กระบวนการจดจำข้อมูลซึ่งถูกแบ่งออกเป็น ความจำระยะสั้น (short-term memory) และ ความจำระยะยาว (Long-term memory) ขึ้นอยู่กับการเข้ารหัสของนักเรียน ในส่วนนี้เป็นส่วนของทฤษฎีการประมวลข้อมูล (Information Processing Theory) ของ Howard Klausmeier (Hoffmann, 2011: 21-24, Zaini, Mokhtar and Nawawi, 2010:17-18, Price, E. A.; 2008: 10-17)

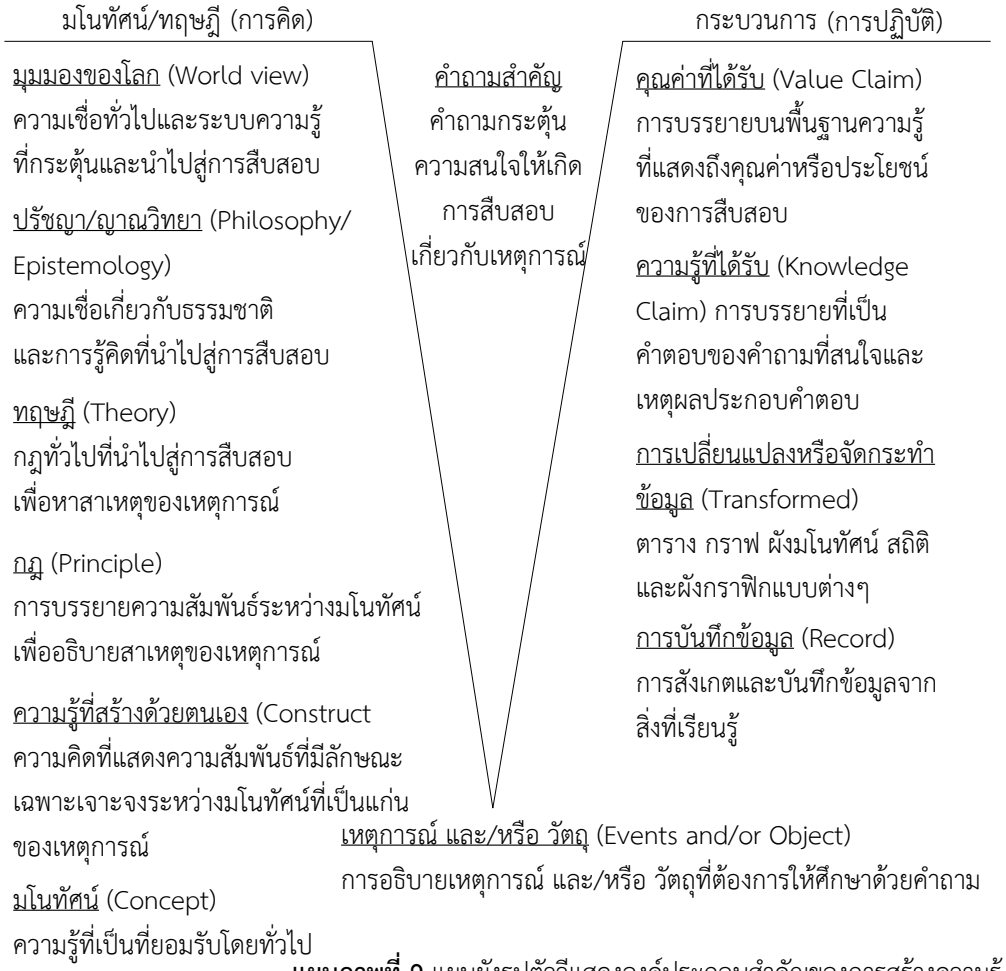
จากข้างต้นพอสรุปได้ว่าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกประกอบด้วย (1) ทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful Learning Theory) และ (2) ทฤษฎีการประมวลข้อมูล (Information Processing Theory)

4.2.1 ทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful Learning Theory)

การเรียนรู้อย่างมีความหมายเกิดขึ้นจากแนวคิดของ Ausubel บนพื้นฐานของการเรียนรู้และสติปัญญา ซึ่งการเรียนรู้อย่างมีความหมายเป็นกระบวนการเชื่อมโยงข้อมูลใหม่ให้สัมพันธ์กับความรู้เดิมภายในโครงสร้างสติปัญญาของนักเรียนแต่ละคน โดย Ausubel สนใจศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างทางสติปัญหาและเครื่องมือที่ใช้สำหรับการเรียนรู้เกี่ยวกับข้อมูลจำนวนมาก จึงได้พัฒนาไปกลายมาเป็น ผังกราฟิก (Viola, Giretti, and Leo, 2007: 64)

“ผังกราฟิกช่วยให้นักเรียนสนใจข้อความ ประเด็น หรือมโนทัศน์สำคัญ ผ่านการเชื่อมโยงหรือหาความสัมพันธ์ของมโนทัศน์เหล่านั้น แล้วบันทึกข้อมูลในลักษณะเครือข่ายที่สามารถเพิ่มเติมหรือจัดกระทำความรู้เดิมด้วยความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงหรือแตกต่างระหว่างความรู้เดิมและข้อมูลใหม่” (Education Bureau, 2003: 3-4) ในการสืบค้นข้อมูลเพื่อสร้างแนวทางแก้ปัญหาทำให้ได้รับข้อมูลใหม่จำนวนมาก อาจมีทั้งที่เชื่อมโยงหรือไม่เชื่อมโยงกับสมมติฐานที่นักเรียนได้คาดการณ์ไว้ เช่นเดียวกับข้อมูลที่เก็บรวบรวมระหว่างการดำเนินการทำโครงงาน การเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆ ระหว่างข้อมูลใหม่กับความรู้เดิมต้องอาศัยเทคนิคหรือเครื่องมือ ซึ่งผังกราฟิกเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมโยงความรู้อย่างมีความหมายด้วยการบูรณาการความรู้ใหม่กับโครงสร้างความคิดเดิมที่มีอยู่ กล่าวได้ว่าเทคนิคการใช้ผังกราฟิกเป็นเครื่องมือทางความคิดในการช่วยให้นักเรียนมองเห็นและเข้าใจความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลเหล่านั้นอย่างมีความหมาย (Viola, Giretti and Leo, 2007: 64-65, Education Bureau, 2003: 3-4)

“การเรียนรู้อย่างมีความหมายมีลักษณะคล้ายกับการซึมซับความรู้ ที่ความรู้เดิมต้องสัมพันธ์กับข้อมูลใหม่ แล้วนำความรู้นั้นไปปรับให้เกิดความสมดุลในภายหลัง แต่สำหรับการเรียนรู้อย่างมีความหมายเป็นการสร้างมโนทัศน์ที่ต้องเชื่อมโยงระหว่างความรู้ภายในมโนทัศน์นั้นๆ ด้วย” (Viola, Giretti and Leo, 2007: 64-65) Novak ได้นำแนวคิดนี้มาศึกษาร่วมกับ Gowin เกี่ยวกับโครงสร้างความรู้ โดยนำเสนอเป็นแผนผังตัววี (Vee diagram) (Novak, 2000: 549-550) ดังนี้



แผนภาพที่ 9 แผนผังรูปตัววีแสดงองค์ประกอบสำคัญของการสร้างความรู้

จากแผนภาพข้างต้น Gowin ได้อธิบายถึงองค์ประกอบทั้ง 12 องค์ประกอบในการดำเนินการของโครงสร้างความรู้ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กัน โดยกระบวนการสร้างความรู้สามารถเริ่มได้จากทุกๆ องค์ประกอบ แต่ที่สำคัญที่สุดคือ คำถามที่นำนักเรียนไปสู่การหาคำตอบและเหตุการณ์ที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ การที่นักเรียนสืบค้นข้อมูลทำให้ได้รับความรู้เกี่ยวกับมโนทัศน์ทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างแนวทางแก้ปัญหาเพื่อนำไปดำเนินการแก้ปัญหาและเก็บรวบรวมข้อมูล นักเรียนต้องทำการบันทึกข้อมูลและจัดกระทำข้อมูล จนเกิดเป็นความรู้และประสบการณ์ที่นักเรียนได้รับจากจุดเริ่มต้นคือคำถามที่นักเรียนสนใจภายใต้เหตุการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตจริง (Novak, 2000: 549-550)

“ผังกราฟิกเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ด้วยความเข้าใจได้ง่าย แต่ไม่ใช่การเรียนรู้แบบท่องจำ” (Designed Instruction, 2003: 1) โดยการเรียนอยู่แบบท่องจำเป็นการที่นักเรียนไม่พยายามหรือไม่ให้ความสนใจในการบูรณาการความรู้ใหม่หรือมโนทัศน์ใหม่ให้เชื่อมโยงกับโครงสร้างความรู้เดิมที่มีอยู่ แต่สำหรับการเรียนรู้อย่างมีความหมายนั้นเป็นการที่นักเรียนมีความกระตือรือร้นมีการบูรณาการความรู้ใหม่หรือมโนทัศน์ใหม่ให้สอดคล้อง สัมพันธ์ และเชื่อมโยงกับโครงสร้างความรู้เดิมอย่างมีความหมาย โดย Novak ได้เสนอแผนภาพสรุปความเข้าใจเกี่ยวกับการเรียนรู้อย่างมีความหมายไว้ (Novak, 2011:1-2,) ดังนี้

แผนภาพที่ 10 สรุปความเข้าใจเกี่ยวกับการเรียนรู้อย่างมีความหมาย

จากแผนภาพข้างต้น Novak ได้แสดงให้เห็นถึงสิ่งที่ต้องการสำหรับการเรียนรู้เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย โดยการสร้างผลงานที่สร้างสรรค์ เป็นผลที่เกิดจากการเรียนรู้อย่างมีความหมายในระดับที่สูงขึ้นไป แต่หากนักเรียนไม่สนใจหรือไม่ใส่ในการเรียนจะกลายมาเป็นการเรียนรู้แบบท่องจำ ซึ่งการเรียนการสอนโดยใช้การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นฐาน นักเรียนต้องสร้างผลงานหรือโครงงานที่ต้องมีความรับผิดชอบในการดำเนินงาน รวมไปถึงการบูรณาการความรู้เดิมผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Novak, 2011: 1-2)

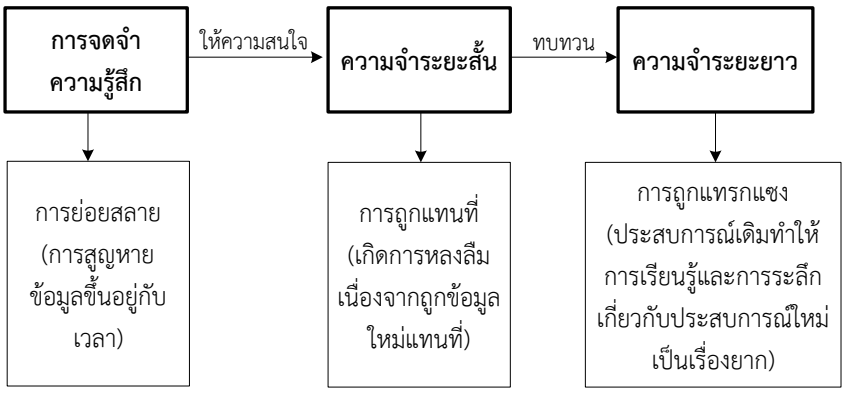
Moreira (2010: 3-4) อ้างถึงเหตุผลที่ต้องจัดการเรียนการสอนให้เป็นการเรียนรู้อย่างมีความหมาย ซึ่งเรียนรู้เกี่ยวกับความหมายด้วยความเข้าใจ สามารถจดจำได้นาน และต้องใช้ทักษะในการจัดกระทำและถ่ายโอนข้อมูล ซึ่งเป็นผลการเรียนย่อยที่ครูต้องการในการจัดการเรียนการสอน เมื่อเทียบกับการเรียนการสอนแบบท่องจำแล้วจะพบว่า การเรียนการสอนแบบท่องจำเป็นสิ่งที่เสียเวลา ซึ่ง Novak อธิบายว่าการเรียนรู้อย่างมีความหมายในความคิดมนุษย์นั้นจะขึ้นอยู่กับการสอน

ให้คิดแบบบูรณาการในเชิงบวกและการสอนที่เน้นการสร้างความรู้ด้วยตัวเอง ความรู้สึก และการลงมือปฏิบัติ ซึ่งมนุษย์ต้องมีการคิด มีความรู้สึก และต้องปฏิบัติที่บูรณาการกันอย่างแยกไม่ออกไม่ว่าทางใดทางหนึ่งในเชิงบวกหรือลบ ดังนั้นการเรียนรู้อย่างมีความหมายจึงเป็นการทำให้เกิดการบูรณาการในเชิงบวกของความคิด ความรู้สึก และการปฏิบัติกลายเป็นรูปธรรมสำหรับการเรียนรู้ให้กลายเป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์แบบ

ดังนั้นความเกี่ยวข้องระหว่างทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายและการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกสรุปได้ว่า การที่นักเรียนทำการสืบค้นและรวบรวมข้อมูล แล้วนำมาจัดกระทำให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมกับข้อมูลใหม่ รวมไปถึงการเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลต่างๆ ในมโนทัศน์นั้นๆ ของนักเรียนผ่านการใช้ผังกราฟิกที่เป็นเครื่องมือเชื่อมโยงความรู้จนสามารถสร้างผลงานหรือโครงงานจนแล้วเสร็จ ส่งผลให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีความหมายด้วยตัวของนักเรียนเองทั้งในและนอกชั้นเรียน

4.2.2 ทฤษฎีการประมวลข้อมูล (Information Processing Theory)

การเรียนรู้โดยเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมุ่งเน้นให้นักเรียนสามารถจัดกระทำข้อมูลที่เชื่อมโยงความรู้ใหม่ให้เข้ากับประสบการณ์เดิมของนักเรียนเพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมายและสามารถจดจำนำไปใช้ได้ในอนาคต โดยความรู้ที่นักเรียนได้รับจะถูกจดจำไว้ในโครงสร้างทางความคิดซึ่งต้องผ่านกระบวนการประมวลข้อมูลเพื่อเลือกรับข้อมูล แนวทางการประมวลผลข้อมูลนี้นำไปสู่แบบจำลองความจำที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานการเก็บข้อมูลที่ได้จากการวัดอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการบันทึกข้อมูลของคอมพิวเตอร์ โดยในปีช่วงปี ค.ศ. 1960 แนวความคิดของ Atkinson and Shiffrin (อ้างถึงใน Kandarakis and Poulos, 2008: 111-112) มีอิทธิพลต่อการศึกษาแบบจำลองความจำที่ยอมรับว่าข้อมูลต่างๆ มาจากสิ่งแวดล้อม จะถูกรับรู้เข้าสู่ระบบความจำชั่วระยะจากการรู้สึกสัมผัส แล้วส่งต่อไปยังความจำระยะสั้นที่มีความจุในการจดจำที่จำกัด ระบบความจำได้เก็บข้อมูลนี้ไว้ระยะเวลาหนึ่งซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้มาใช้งานได้ รวมไปถึงสามารถเปลี่ยนแปลงไปสู่ความจำระยะยาวได้ โดย Atkinson and Shiffrin ได้เสนอเป็นแผนภาพแบบจำลองความจำ ดังนี้



แผนภาพที่ 11 แบบจำลองความจำของ Akinson and Shiffrin ในปี ค.ศ. 1968

จากแผนภาพข้างต้น Atkinson and Shiffrin แบ่งความจำออกเป็น 3 ส่วน คือ การจดจำความรู้สึก ความจำระยะสั้น และความจำระยะยาว โดยที่การจดจำความรู้สึกเป็นส่วนที่มีความสามารถในการรับรู้ข้อมูลได้มากที่สุดแต่มีช่วงเวลาในการจดจำน้อยที่สุด โดยจะรับรู้เกี่ยวกับภาพและเสียง เมื่อรับรู้ข้อมูลนั้นแล้วข้อมูลจะหายไป ยกเว้นหากนักเรียนให้ความสนใจและเลือกที่จะรับรู้ข้อมูลนั้น การให้ความสนใจเลือกรับข้อมูลเป็นการกระตุ้นการรับรู้ข้อมูลใหม่ไปสู่ความจำระยะสั้น โดยในระยะนี้ยังไม่สามารถจัดกระทำข้อมูลหรือจัดการข้อมูลได้ เนื่องมาจากความสามารถในการจุข้อมูลของความจำระยะสั้นนั้นมีน้อย แต่ถ้านำข้อมูลที่มีอยู่ในความจำระยะสั้นมาทำการทบทวนเป็นประจำส่งผลให้เกิดการบันทึกข้อมูลไปสู่ความจำระยะยาว กระบวนการทบทวนความรู้นี้นักเรียนต้องทำการจัดกระทำและเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อบันทึกข้อมูลสู่ความจำระยะยาวที่สามารถจดจำเกี่ยวกับความรู้และประสบการณ์จากอดีตจนถึงปัจจุบัน การจัดกระทำและเชื่อมโยงข้อมูลต้องอาศัยเครื่องมือหรือเทคนิคเฉพาะตัวของแต่ละคน ซึ่งเทคนิคการใช้ผังกราฟิกในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมที่นักเรียนต้องรวบรวมและจัดกระทำข้อมูล ส่งผลให้เข้าใจความสัมพันธ์ทั้งข้อมูลและประสบการณ์ อันจะนำไปสู้การบันทึกความรู้ลงในความจำระยะยาว (Kandarakis and Poulos, 2008: 111-112)

การประมวลผลข้อมูลเป็นการรับรู้ข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมผ่านความรู้สึก หากข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลที่นักเรียนให้ความสนใจจะถูกบันทึกในความจำระยะสั้น และหากทำการทบทวนซ้ำจะถูกบันทึกเป็นความจำระยาว ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสมองของนักเรียน สอดคล้องกับการศึกษาของ Klausmeier (1985 อ้างถึงใน ทิศนา แขมณี, 2551: 80-82) ที่สนใจเกี่ยวกับการทำงานของสมองที่มีการทำงานคล้ายกับคอมพิวเตอร์ โดยได้อธิบายกระบวนการประมวลข้อมูลเริ่มจากมนุษย์รับรู้สิ่งเร้ามาบันทึกในความจำระยะสั้นผ่านทางประสาทสัมผัสทั้ง 5 การบันทึกนี้ขึ้นอยู่กับการรู้จักและการใส่ใจ ข้อมูลที่ถูกบันทึกในความจำระยะสั้นจะดำรงคงอยู่ในระยะเวลาที่จำกัดมาก จำเป็นต้องใช้เทคนิคหรือวิธีการในการช่วยจำให้สามารถนำมาใช้ในภายหลังได้ การเก็บข้อมูลไว้ใช้ในภายหลังสามารถทำได้โดยต้องได้รับการประมวลและเปลี่ยนรูปโดยการเข้ารหัส เพื่อนำไปเก็บไว้ในความจำระยะยาว ซึ่งต้องอาศัยเทคนิคต่างๆ เพื่อทำให้ข้อมูลนั้นมีความหมายต่อตนเอง โดยความสัมพันธ์ของความรู้ใหม่กับความรู้เดิมที่เคยเรียนรู้มาก่อน ความจำระยะยาวมี 2 ชนิด คือ ความจำเกี่ยวกับภาษาและความจำเกี่ยวกับเหตุการณ์ สอดคล้องกับงานของ Education Bureau (2003: 7) ที่กล่าวเทคนิคการใช้ผังกราฟิก เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการและจัดกระทำข้อมูลให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนั้นๆ อีกทั้งยังช่วยซึมซับและยอมรับมุมมองต่างๆ ทำให้เพิ่มความสามารถในการจำและรับรู้ข้อมูลได้ง่ายยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับบทความเรื่อง Sehacesaber (2011: 47) กล่าวว่า ผังกราฟิกเป็นการรับข้อมูลจำนวนมากมาจัดกระทำซึ่งสมองมีพื้นที่จำกัด หากไม่มีการจัดกระทำก็เปรียบเสมือนเรายืนอยู่บนลานโล่งกว้าง ซึ่งยากที่จะหาข้อมูลจำนวนมหาศาล แต่หากมีการจัดกระทำจะเสมือนยืนอยู่บนภูเขาสามารถมองลงไปยังเบื้องล่างและสามารถมองเห็นภาพรอบตัวได้ดีกว่าการยืนบนพื้นราบ ทำให้การจัดกระทำข้อมูลเป็นการลดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล ลดการทำงานหนักของสมอง และช่วยในการเข้าใจข้อมูลจำนวนมากได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Robinson et al. (2006: 103) การที่นักเรียนจดบนทึกเปรียบได้กับการเข้ารหัสข้อมูล หากนักเรียนจดบันทึกแบบกระจัด

กระจาย หรือไม่มีแบบแผนจะไม่เป็นผลดีกับการจดจำเข้าสู่สมอง ดังนั้นต้องมีเทคนิคหรือวิธีการที่ช่วยให้นักเรียนสามารถจัดกระทำข้อมูลนั้นให้ง่ายด้วยความเข้าใจ ซึ่งเครื่องมือนั้นคือ ผังกราฟิก

ดังนั้นความเกี่ยวข้องระหว่างทฤษฎีประมวลข้อมูลกับการใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการประมวลข้อมูลเกิดขึ้นในสมองของนักเรียน แต่หากต้องการให้นักเรียนสามารถจดจำข้อมูลให้บันทึกในความจำระยะยาวต้องอาศัยเทคนิคหรือวิธีทำให้ช่วยจำได้ง่ายขึ้น เพื่อนำไปใช้งานได้ในอนาคต ซึ่งเทคนิคที่ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าถึงข้อมูลและจดจำได้ง่ายขึ้นสามารถกล่าวได้คือ เทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่นักเรียนต้องทำการจัดกระทำข้อมูลใหม่ให้สัมพันธ์กับความรู้เดิมที่มีอยู่อย่างมีความหมาย

4.3 ประโยชน์ของการใช้ผังกราฟิก

นักวิชาการและนักวิจัยได้ศึกษาประโยชน์ของผังกราฟิกทั้งในส่วนของการเรียนรู้และผลที่เกิดขึ้นในสมอง เพื่อผู้อ่านเกิดความเข้าใจถึงประโยชน์ของผังกราฟิก ผู้วิจัยจึงขอนำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์ของผังกราฟิก ดังต่อไปนี้

Horran (2002: 723-724) กล่าวถึงประโยชน์ของผังกราฟิกว่า ผังกราฟิกช่วยให้นักเรียนอ่านหนังสือได้อย่างลุ่มลึก และช่วยให้สามารถรื้อฟื้นความรู้ความจำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ครูสามารถจัดการเรียนการสอนเพื่อสร้างและขยายความรู้ใหม่ได้ง่ายยิ่งขึ้น

Vekiri (2002: 264-266) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการใช้ผังกราฟิก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ช่วยให้สมองสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น ส่งผลต่อความจำระยะยาว ทำให้สามารถฟื้นฟูความรู้ได้ง่ายมากขึ้น
2. ช่วยให้เกิดความเข้าใจในความสัมพันธ์ในตำแหน่งต่างๆ ของรูปภาพ
3. นักเรียนมองเห็นความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้นได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดความเข้าใจในมโนทัศน์แบบองค์รวมภายใต้การจัดกระทำข้อมูลให้เกิดความสัมพันธ์และเชื่อมโยงระหว่างตำแหน่ง สี และรูปภาพ

Education Bureau (2003: 7) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการใช้เทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อนักเรียนและต่อครูผู้สอนดังนี้

1. ประโยชน์ของการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อนักเรียน
    1.1. ช่วยให้เข้าใจมโนทัศน์ย่อยในแต่ละส่วนนำไปสู่การเข้าใจมโนทัศน์หลัก
    1.2. ช่วยในการบันทึกความสัมพันธ์ของข้อมูล
    1.3. จัดกระทำข้อมูลและสร้างระเบียบให้กับความคิด
    1.4. ช่วยให้จดจำได้ง่ายขึ้น

1.5. ช่วยในการเข้าใจความหมายของข้อความ

1.6. ช่วยในการจดจำและซึมซับมุมมองหรือลักษณะของข้อมูลที่แตกต่างกันได้

2. ประโยชน์ของการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อครู

2.1. ใช้ในการแสดงและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์

2.2. ทำให้ชั้นเรียนมีการสื่อสารระหว่างกัน

2.3. ทำให้นักเรียนรับรู้ข้อมูลได้ง่ายมากขึ้น

2.4. ใช้ในการกระตุ้นผู้เรียน

2.5. ครูช่วยนักเรียนในการจัดระบบการเขียน

2.6. สามารถวัดความรู้ของนักเรียนได้

Ellis (2004: 1-2) กล่าวถึงประโยชน์ของผังกราฟิกไว้ ดังนี้

1. ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยความเข้าใจ และจดจำได้มากยิ่งขึ้น โดยสามารถแยกประเด็นที่สำคัญออกจากส่วนที่นักเรียนสนใจแต่ไม่ใช่ประเด็นที่จำเป็นได้

2. เนื่องจากการทำงานอย่างหนักเพื่อเข้าใจข้อมูลลดลง นักเรียนจึงเพิ่มขีดความสามารถในความเข้าใจตอย่างลุ่มลึก และครอบคลุมเนื้อหาสำคัญได้มากยิ่งขึ้น

3. ผู้เรียนสามารถเรียนรู้อย่างมีกลยุทธ์ด้วยการพัฒนาทักษะที่สำคัญและจำเป็น

Bowman (2005: 1-2) กล่าวถึงประโยชน์ของผังกราฟิกไว้ ดังนี้

1. สามารถจดจำความรู้ได้คงทน
2. วิเคราะห์และประเมินสิ่งที่ตนเองได้เรียนรู้
3. สังเคราะห์และสร้างสรรค์ในแนวทางใหม่สำหรับการเรียนรู้
4. ค้นพบสิ่งที่นักเรียนรู้ สิ่งที่ได้เรียน และสิ่งที่นักเรียนต้องการรู้หรือสนใจ
5. ทบทวนความรู้ในระยะยาว
6. สร้างแผนเพื่อใช้ในการเรียนรู้

Hughes and Macy (2008) กล่าวถึงประโยชน์ของผังกราฟิกไว้ ดังนี้

1. นำเสนอแนวคิดที่เป็นนามธรรมให้แสดงออกเป็นรูปธรรม
2. แสดงความสัมพันธ์ของข้อเท็จจริงกับมโนทัศน์ผ่านรูปภาพ
3. ช่วยในจัดกระทำแนวความคิด
4. ช่วยกำหนดเรื่องราวของข้อมูลและฟื้นฟูความจำ

Nicholas (2008: 2) กล่าวถึงประโยชน์ของผังกราฟิกว่า ผังกราฟิกช่วยให้นักเรียนเข้าใจข้อมูลในอดีต ปัจจุบัน และข้อมูลที่กำลังศึกษาอยู่ นักเรียนสามารถเรียนรู้และทำความเข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการพัฒนาทักษะของการได้มาซึ่งความรู้เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างมีความหมายและจำได้

Ciascai (2009: 1) กล่าวถึงประโยชน์ในการใช้ผังกราฟิกในการจัดการเรียนการสอน ดังนี้

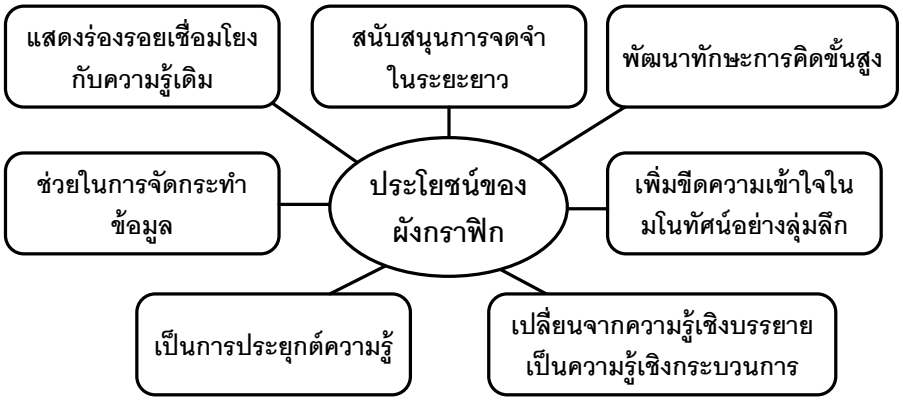
1. ผังกราฟิกช่วยให้เกิดความกระจ่างชัดในข้อความรู้และเหตุผล โดยผังกราฟิกเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ซึ่งได้รับการจัดกระทำเพื่อสนับสนุนให้กระบวนการคิดและกระบวนการจำดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผังกราฟิกช่วยในการเพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการการเรียนรู้ซึ่งต้องใช้กระบวนการตัดสินใจตามความเหมาะสมตามแต่ละประเภทขององค์ความรู้และกระบวนการ การเรียนรู้ จึงเป็นการเพิ่มความสามารถในการเรียนอย่างเข้าใจและการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

3. ผังกราฟิกเป็นการบูรณาการความรู้ใหม่เข้ากับระบบของความรู้เดิม ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงองค์ความรู้ให้เกิดกระบวนการเรียนรู้อย่างมีความหมายมากยิ่งขึ้น

4. ผังกราฟิกช่วยในการระบุข้อผิดพลาดทางด้านมโนทัศน์ (conceptual errors) หรือความเข้าใจคลาดเคลื่อนทางมโนทัศน์ (misconception) โดยการใช้ผังกราฟิกต้องมีการกลั่นกลองข้อมูลซึ่งทั้งครูและนักเรียนสามารถใช้เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ได้

Cowden et al. (2009: 2-3) กล่าวถึงประโยชน์ของผังกราฟิกเป็นแผนผัง ดังนี้



แผนภาพที่ 12 ประโยชน์ของผังกราฟิก โดย Cowden et al. (2009: 3)

Kobler (2009: 1) กล่าวถึงประโยชน์ของผังกราฟิกดังต่อไปนี้

1. ฟื้นฟูความจำและสามารถจำได้ทนนาน
2. ช่วยในการจัดกระทำข้อมูล
3. สร้างความรู้เกี่ยวกับเหตุและผล แนวคิดสำคัญ และลำดับข้อมูล
4. ช่วยในการตัดสินใจและพยากรณ์ข้อมูล
5. พัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม เทคนิคการใช้ผังกราฟิก ความสามารถในการวิเคราะห์ และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม และเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์

Paparistodemou and Marrotheris (2008) ศึกษาการพัฒนาการด้านความสามารถในการใช้ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ผ่านการทำโครงงาน ของนักเรียน มัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 22 คนในการทำโครงงานเรื่องคุณค่าทางอาหาร สุขภาพ และความปลอดภัย โดยใช้แบบสอบถามจำนวน 16 ข้อ และสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียน พบว่า (1) การใช้ผังกราฟิกและการวิเคราะห์ข้อมูลมีบทบาทสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงความรู้ความเข้าใจของนักเรียนในการทำโครงงาน และ (2) การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทำโครงงานไม่ได้เป็นเพียงการพิจารณาเพื่อสรุปข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังเป็นการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การสร้างมโนทัศน์ที่แสดงถึงความหมายของสถานการณ์ของข้อมูล

Montaku (2011) ศึกษาผลของทักษะการวิเคราะห์ในรายวิชาการวิเคราะห์ระบบและการออกแบบ ด้วยการทำโครงงาน ของนักศึกษาปี 3 จำนวน 14 คน สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งผู้วิจัยใช้กระบวนการฝึกทักษะการวิเคราะห์แยกออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ (1) วิเคราะห์ปัญหา (2) ขั้นตอนการสร้างผังความคิดจากการระดมสมอง (3) ขั้นตอนการสร้างผังมโนทัศน์ (4) ขั้นตอนการสร้างผังจำแนกข้อมูล และ (5) การประเมินผล จากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์ระบบ ด้วยแบบวัด 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ผล พบว่า (1) ความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันกับสมรรถนะด้านวิชาการของนักศึกษา (2) ความสามารถในการวิเคราะห์และสมรรถนะด้านวิชาการของนักเรียนสูงขึ้น และ (3) นักเรียนมีทัศนคติที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้การ ออกแบบด้วยกระบวนการฝึกการวิเคราะห์

5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม และเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

Ion, et al. (2004) ศึกษาความสามารถในการทำโครงงานผ่านการเรียนรู้ด้วยการออกแบบทางวิศวกรรม กับนักศึกษาปี 1 รายวิชา Integrating Design Project ในปีการศึกษา 2013/2014 คณะการจัดการออกแบบ การผลิต และการจัดการวิศวกรรม ซึ่งมีเป้าหมายในการพัฒนาความเข้าใจในการเรียนรู้ผ่านการทำโครงงานด้วยการออกแบบ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านการสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียนและทำการสัมภาษณ์เพิ่มเติม พบว่า (1) การทำโครงงานในการเรียนการออกแบบทางวิศวกรรมมีประโยชน์และควรสนับสนุน (2) ข้อมูลที่ได้จากการทำโครงงานควรมีความสัมพันธ์กันระหว่างกระบวนการเรียนรู้ เทคนิคการเรียนรู้ และมโนทัศน์ของนักเรียน (3) ข้อมูลที่

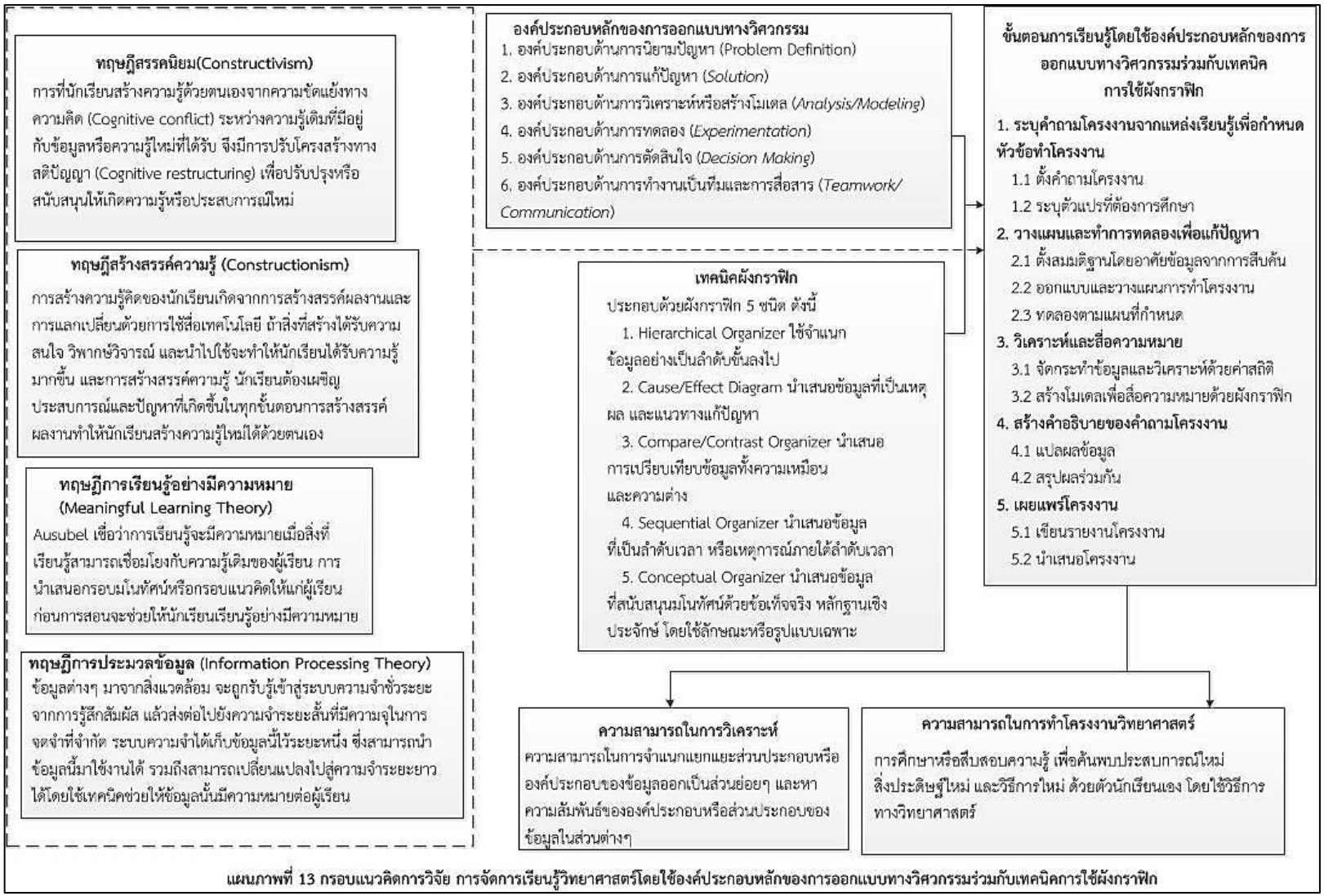
ได้จากการทำโครงงานควรได้รับการวิเคราะห์ให้เกิดความชัดเจนและสามารถนำไปใช้ในการวิจัยหรือทำโครงงานต่อไปในอนาคตได้ (4) ข้อค้นพบหรือข้อเสนอแนะระหว่างการทำโครงงานควรได้รับการบันทึก และนำเสนอเพื่อเป็นประโยชน์ในอนาคต และ (5) ในระหว่างการทำโครงงานเป็นเรื่องยากที่จะทำการสังเกตควรมีการบันทึกการทำงานระหว่างการดำเนินการทำโครงงาน

Dym, et al. (2005) ศึกษาการใช้การเรียนการสอนด้วยวิธีโครงงานในการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม กับนักศึกษาปีที่ 1 คณะวิศวกรรมในรายวิชา การออกแบบทางวิศวกรรม พบว่า (1) ควรใช้การเรียนแบบวิจัยหรือการทำโครงงานในการเรียนการออกแบบทางวิศวกรรมและวิชาอื่นๆ โดยควรได้รับคำแนะนำจากครูผู้สอนถึงประเด็นที่ควรทำวิจัย และประเด็นที่ต้องทำวิจัย (2) ควรเตรียมหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพผ่านการทำโครงงาน (3) ควรสนับสนุนให้ใช้อินเตอร์เน็ตในการเข้าถึงข้อมูลและแหล่งการเรียนรู้ได้อย่างหลากหลาย (4) ครูควรสามารถให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกเพื่อให้นักเรียนก้าวข้ามไปสู่ความสำเร็จในการทำโครงงานได้ (5) ควรตระหนักถึงองค์ประกอบหลักสำคัญของการออกแบบทางวิศวกรรมในทุกกิจกรรมของการจัดการเรียนการสอนและหลักสูตร (6) ครูควรศึกษาและอธิบายสถานการณ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเป็นกรณีตัวอย่างในการจัดการเรียนการสอน และ (7) ครูและนักเรียนควรเรียนรู้ร่วมกันผ่านการทำวิจัยหรือการทำโครงงาน

Atman, et al (2007) ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนระดับเริ่มต้น (novice) กับนักเรียนเก่ง (expert) ผ่านการทำโครงงาน ในรายวิชาการออกแบบทางวิศวกรรม ของนักศึกษาปีที่ 1 จำนวน 26 คน และ ปี 2 จำนวน 24 คน คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยศึกษาพฤติกรรม 5 ประเด็น ได้แก่ (1) การกำหนดขอบเขตของปัญหา และการรวบรวมข้อมูล (2) การทำโครงงานให้ชัดเจนด้วยการตัดสินใจ การสื่อสาร และการแปลความหมายข้อมูล (3) การพิจารณาแนวทางการแก้ปัญหาด้วยการรวบรวมแนวคิด การสร้างโมเดล การวิเคราะห์ และการประเมินผล (4) การสรุปผลของการออกแบบและทำโครงงาน และ (5) คุณภาพของแนวทางแก้ปัญหา ซึ่งเก็บข้อมูลด้วยการบันทึกเสียงการสนทนาและบรรยากาศระหว่างการเรียนรู้ แล้วทำการเข้าข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม MacSHAPA พบว่า (1) นักเรียนกลุ่มเก่ง ร้อยละ 69 ให้เวลาในการกำหนดขอบเขตของปัญหา ระบุปัญหา และการรวบรวมข้อมูลมากกว่ากลุ่มเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (2) นักเรียนกลุ่มเก่งใช้เวลาในการทำโครงงานให้ชัดเจนผ่านการตัดสินใจ การสื่อสาร และการแปลความหมายข้อมูลน้อยกว่ากลุ่มเริ่มต้น (3) นักเรียนกลุ่มเก่งใช้เวลาสำหรับการพิจารณาแนวทางแก้ปัญหามากกว่ากลุ่มเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (4) นักเรียนกลุ่มเก่งใช้เวลาในการสรุปผลของการออกแบบและทำโครงงานมากกว่ากลุ่มเริ่มตอนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และ (5) นักเรียนทั้งสองกลุ่มใช้เวลาในการพัฒนาคุณภาพของแนวทางแก้ปัญหาไม่ต่างกัน

Mentzer (2011) ศึกษาการบูรณาการองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมในการจัดการเรียนการสอนรายวิชา ระบบอุตสาหกรรมและวิศวกรรม (Industry and Engineering system) ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1500 คน โดยบูรณาการองค์ประกอบหลัก 6

องค์ประกอบ ได้แก่ (1) การนิยามปัญหา (problem definition) (2) การพัฒนาแนวทางแก้ปัญหา (development of solution) (3) การวิเคราะห์หรือสร้างแบบจำลอง (analysis/modeling) (4) การทดลอง (experiment) (5) การตัดสินใจ (decision making) และ (6) การทำงานเป็นทีม (teamwork) กับกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนสร้างโครงงาน พบว่า (1) องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมทั้ง 6 องค์ประกอบ เป็นเครื่องมือทางการศึกษาที่มีพลังในการประยุกต์ความรู้และหลักการทำงานให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะที่จำเป็นที่มีอยู่ในแต่ละองค์ประกอบ เพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ และสามารถทำโครงงานได้สำเร็จ และ (2) องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ควรได้รับการพัฒนาและฝึกฝนอยู่เสมอ อาจใช้การสอนแบบดั้งเดิม หรือใช้เทคนิคการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกปฏิบัติเป็นประจำ



แผนภาพที่ 13 กรอบแนวคิดการวิจัย การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา กำหนดวิธีดำเนินการทำวิจัยดังนี้

1. รูปแบบการวิจัย
2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา เป็นการทำวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยมีรูปแบบการวิจัยแบบ One-group Pretest-Posttest design มีกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา 1 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ในรายวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ ดังแผนภาพต่อไปนี้

ตารางที่ 13 รูปแบบการวิจัยแบบ One Group Pretest-Posttest Design

กลุ่มทดลอง	$O_1 ----X ----O_2$

O_1	หมายถึง	การเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการทดลอง
X	หมายถึง	การเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก
O_2	หมายถึง	การเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 รายวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282) ซึ่งเป็นรายวิชาเพิ่มเติม โรงเรียนนนทรีวิทยา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

2.3 การเลือกโรงเรียน

ผู้วิจัยเลือกโรงเรียนโดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ โรงเรียนนนทรีวิทยา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ เป็นกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากมีนักเรียนมากเพียงพอสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล และมีรายวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282) เปิดสอนในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 ทำให้ไม่กระทบต่อการขอจำนวนเวลาเรียนของสถานศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งโรงเรียนนนทรีวิทยาให้การสนับสนุนและร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี

2.4 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การเลือกกลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกดังนี้

(1) เลือกนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์–คณิตศาสตร์ ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 รายวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282) ซึ่งเป็นรายวิชาเพิ่มเติม เนื่องจากมีความรู้เกี่ยวกับการเรียนวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ 1 ที่เคยศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 และไม่กระทบต่อการขอเวลาเรียนหรือเปลี่ยนแปลงเวลาเรียนเพื่อทำการวิจัย จึงทำให้สามารถดำเนินการการวิจัยได้ทันทีตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้

(2) เลือกนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้อง 5/3 จำนวน 23 คน เป็นกลุ่มทดลอง เนื่องจากเป็นกลุ่มนักเรียนเพียงห้องเรียนเดียวที่กำลังศึกษาในรายวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282) ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 อีกทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาประจำชั้น อาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาและหัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ให้การสนับสนุนและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 2 ประเภท คือ

(1) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

(1.1) แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

(1.2) แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์

(2) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือ แผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

รายละเอียดของขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ มีดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ (1) แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และ (2) แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ดังนี้

1.1 แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นการประเมินภายหลังทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละกลุ่มแล้วเสร็จ โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกประเด็น (analytic rubric) ซึ่งมีระดับคะแนน 3 ระดับ ประเมินจากพฤติกรรมและร่องรอยของพฤติกรรมจากภาระงานผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์และรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ มีรายละเอียดการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการประเมินผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF (2004: 10-11) และ Simmons (2004: 29) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดรายการประเมินโครงงานวิทยาศาสตร์ ได้ทั้งหมด 12 รายการ (ดังปรากฏในภาคผนวก ข)

2. ศึกษานิยามเชิงปฏิบัติการตามรายการประเมินที่กำหนดขึ้นโดยปรับจากแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF (2004) เพื่อกำหนดเกณฑ์การประเมินในแต่ละรายการและสร้างเกณฑ์การประเมินแบบแยกประเด็น รวมทั้งกำหนดรายละเอียดระดับความสามารถของแต่ละรายการซึ่งแบ่งเป็น 3 ระดับคือ ดีมาก (3) ดี (2) และควรปรับปรุง (1)

3. กำหนดการแปลผลคะแนนเป็นระดับความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์รายกลุ่มของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ซึ่งแบ่งคะแนนได้ 3 ช่วง และสามารถแปลผลได้ ดังนี้

ช่วงคะแนน	ระดับความสามารถ
29-36	ความสามารถระดับดีมาก
21-28	ความสามารถระดับดี
13-20	ความสามารถระดับควรปรับปรุง

4. นำแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ที่สร้างเสร็จเสนออาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของรายการประเมิน เกณฑ์การประเมิน และภาษาที่ใช้ แล้วจึงนำมาปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

5. นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน (รายนามในภาคผนวก ก) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างรายการประเมินและเกณฑ์การประเมิน รวมทั้งข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมินและภาษาที่ใช้ในรายการประเมิน จากนั้นคัดเลือกรายการประเมินที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Revinelli and Hambleton, 1977 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552: 239) และปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.85 แล้วหาค่าความสอดคล้องภายใน (inter rater reliability) เครื่องมือด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รวมทุกรายการได้ 0.91 (ดังปรากฏในภาคผนวก ง)

ข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ มีดังนี้

1. ต้องระบุเกณฑ์ในการให้คะแนนอย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม เช่น การสืบค้นข้อมูลได้สอดคล้องและครอบคลุมในประเด็นที่ต้องการศึกษา ควรระบุให้ชัดเจนว่ามีความสอดคล้องและครอบคลุมอย่างไร มีเกณฑ์อย่างไร

2. หัวข้อการเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ต้องระบุเกณฑ์ที่ต้องการประเมินให้ชัดเจน เพื่อไม่ให้เกิดความซ้ำซ้อนกับการประเมินส่วนประกอบรายงานโครงงานทางวิทยาศาสตร์

3. ปรับเกณฑ์การนำเสนอในประเด็นการตอบคำถามได้ทุกคำถาม เป็นการตอบคำถามได้ทุกคำถามด้วยความเข้าใจในงานที่นักเรียนทำ

1.2 แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์

แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์เป็นแบบประเมินความสามารถในการจำแนกแยกแยะส่วนประกอบหรือองค์ประกอบของข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ และหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหรือส่วนประกอบของข้อมูลในส่วนต่างๆ โดยประเมินก่อนและหลังการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีรายละเอียดและการตรวจสอบคุณภาพตามขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการวิเคราะห์และประเภทของการวิเคราะห์ของ Bloom (1956: 145-148), Krathwohl (2002: 215), Mayer (2002: 230), Academic of Education Development (2006: 9-12), Mazzano (2008:5, 17-19), Heer (2012: 3), และ Critical, Creative, and Practical Thinking (2012: 98) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปประเภทของการวิเคราะห์ สามารถสรุปได้ 3 ประเภท ได้แก่ (1) การวิเคราะห์องค์ประกอบ (2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ (3) การวิเคราะห์เชิงหลักการ

2. ศึกษานิยามเชิงปฏิบัติการตามประเภทของการวิเคราะห์เพื่อกำหนดโครงสร้างแบบวัดโดยอ้างอิงจากกรอบแนวคิดของ Bloom (1956: 145-148) แล้วออกข้อสอบจำนวน 25 ข้อ 4 ตัวเลือก โดยปรับสถานการณ์ตัวอย่างข้อคำถามจากแบบสอบ PISA และกำหนดเวลาสอบ 1 ชั่วโมง พิจารณาออกข้อสอบตามประเภทของการวิเคราะห์ ดังนี้

ตารางที่ 14 พฤติกรรมและจำนวนข้อสอบตามประเภทของการวิเคราะห์

ประเภทของการวิเคราะห์	พฤติกรรมบ่งชี้	จำนวน (ข้อ)
1. การวิเคราะห์องค์ประกอบ	การแยกแยะองค์ประกอบย่อยต่างๆ จากข้อมูลที่ชัดเจนและไม่ชัดเจน	7
2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	การระบุความเหมือนและความแตกต่างขององค์ประกอบ รวมถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบโดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์	9
3. การวิเคราะห์เชิงหลักการ	การค้นหาหลักแกนกลาง โครงสร้าง หรือมุมมองที่เชื่อมโยงและสัมพันธ์กันจนเรื่องราว วัตถุ การกระทำ หรือข้อมูลสามารถดำรงสภาพนั้นอยู่ได้	9

3. นำแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ที่สร้างเสร็จเสนออาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องของสถานการณ์กับประเภทของการวิเคราะห์ รวมทั้งตรวจสอบภาษาที่ใช้ในข้อคำถาม ตัวเลือก และสถานการณ์ตัวอย่าง แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

4. นำแบบวัดความสามารถที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน (รายนามในภาคผนวก ก) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (content Validity) ด้วยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามในแต่ละข้อกับพฤติกรรมบ่งชี้ตามประเภทของการวิเคราะห์ รวมทั้งข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความชัดเจนและความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ จากการคัดเลือกรายการประเมินที่มีค่าดังชี้ความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Anastasi, 1982 อ้างถึงใน ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์, 2541: 12) และปรับปรุงแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ สรุปได้ดังนี้

1. ข้อสอบทั้งหมด 25 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิระหว่างข้อคำถามในข้อสอบกับนิยามเชิงปฏิบัติการขององค์ประกอบของการคิดวิเคราะห์มากกว่า 0.5 ทุกข้อ (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

2. ควรปรับปรุงรูปภาพและแผนภาพที่ใช้ประกอบให้มีขนาดที่เหมาะสมและชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3. ควรปรับตัวเลือกและตัวลวงในข้อที่ 6 และ 16 ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

4. ข้อที่ 14 กับ 15 มีลักษณะข้อคำถามใกล้เคียงกันควรเลือกข้อใดข้อหนึ่ง

5. นำแบบวัดความสามารถที่ได้ปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพข้อสอบรายข้อ ด้วยการตรวจสอบค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) โดยกำหนดเกณฑ์พิจารณาค่าความยากที่มีค่าระหว่าง 0.2-1.0 และมีอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป และตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความสามารถทั้งฉบับ โดยกำหนดค่าความเที่ยงด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (α-Coefficient) ของคอนบาร์ค รวมทั้งสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมเกี่ยวกับความชัดเจนของภาษา และความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลที่ใช้ในสถานการณ์ และข้อคำถามในแต่ละข้อ

6. โดยการวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองใช้แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนนนทรีวิทยา ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์สรุปว่า มีค่าความยากเฉลี่ยเท่ากับ 0.96 อยู่ระหว่าง 0.33-0.78 ค่าอำนาจจำแนกเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 ค่าความเที่ยงเท่ากับ KR-21 เท่ากับ 0.76 (รายละเอียดในภาคผนวก ง)

7. สัมภาษณ์ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากนักเรียน 10 คน หลังทดลองใช้แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ สรุปได้ว่า นักเรียน 7 คน มีความเห็นตรงกันว่า สถานการณ์และข้อความที่ใช้ในแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์มีความชัดเจนดี และเรียบเรียงด้วยภาษาที่ง่ายต่อความเข้าใจ แต่มีนักเรียน 3 คน เห็นตรงกันเกี่ยวกับสถานการณ์ที่ใช้ในข้อคำถามที่ 7-9 และ 16 มีรายละเอียดมากเกินไป และรูปภาพไม่ชัดเจน นำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาประกอบการพิจารณาปรับปรุงแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ก่อนนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูล

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ แผนการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก โดยมีขั้นตอนการเรียนการสอน การเขียนแผน และการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้วิธีโครงงาน และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (scientific method) ของ Holt-Science and Technology (2000), Home Science Tools (2007: 1), Science Buddies (2008), EPA (2010: 2-6), และ SCDHEC (2011: 4) และความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์เพื่อวิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนสามารถสร้างสรรค์โครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ จึงสามารถสรุปแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อเน้นสร้างสรรค์โครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้ 5 ขั้นตอน โดยปรับจาก EPA (2010: 2-6) ดังนี้

1) ระบุคำถาม เป็นการระบุคำถามจากการสังเกตเพื่อกำหนดหัวข้อหรือประเด็นที่ต้องการศึกษาหรือทำโครงงาน

2) ตั้งสมมติฐาน ตั้งสมมติฐานโดยอาศัยข้อมูลจากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องปัญหาที่แสดงถึงวิธีการและเหตุผลในการดำเนินการทดลอง

3) ออกแบบและวางแผนการทดลอง นิยามและกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ออกแบบและวางแผนการทดสอบสมมติฐานด้วยการทดลอง พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลตามแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้

4) วิเคราะห์และแปลผลข้อมูล นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมระหว่างการทดลองมาวิเคราะห์ จัดกระทำ และสรุปเป็นตารางหรือผังกราฟิก เพื่อง่ายต่อการเข้าใจ แล้วแปลผลข้อมูลด้วยข้อความบรรยาย

5) สรุปผล นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จัดกระทำและแปลผลมาสรุปผลให้สอดคล้องกับสมมติฐาน แล้วบันทึกรายละเอียดขั้นตอนและผลการดำเนินงานทั้งหมดในลักษณะของรูปเล่มรายงาน ผังแสดงผลงาน หรือการนำเสนอ

2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมของ Eide et al. (2001 อ้างถึงใน Mentzer, 2008: 18), Elmadany and Al-Bahakli (2004: 774-775), Dym et al. (2005: 104-109, 2006: 423-426), Eisenkraft (2005: 24-25), Mentzer (2008: 18-22), และ Sneider (2011: 37) ซึ่งสามารถสรุปองค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรมได้ 6 องค์ประกอบ โดยปรับจากแนวคิดของ Mentzer (2008) ดังนี้

1) การนิยามปัญหา (Problem Definition) คือ การระบุและนิยามสภาพปัญหา โดยการวิเคราะห์รายละเอียด เพื่อช่วยในการกำหนดตัวแปร และวัตถุประสงค์การทำโครงงาน

2) การแก้ปัญหา (Solution) คือ การระบุแนวทางแก้ปัญหาและดำเนินการแก้ปัญหาโดยอาศัยข้อมูลจากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา

3) การวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล (Analysis/Modeling) คือ การแยกแยะข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยและหาความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้น รวมถึงภาพรวมโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้น หรือการแยกแยะข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยเพื่อสร้างแบบจำลองที่แสดงรายละเอียดองค์ประกอบของผลงาน

4) การทดลอง (Experimentation) คือ การปฏิบัติหรือดำเนินการทดสอบควบคุมการทดสอบหรือสำรวจตรวจสอบสมมติฐานด้วยการปฏิบัติตามแผนการดำเนินงานเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล

5) การตัดสินใจ (Decision Making) คือ การพิจารณาข้อมูลและหาแนวทางที่ดีที่สุดที่ช่วยให้บรรลุเป้าหมายหรือแก้ไขปัญหาได้สำเร็จ

6) การทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร (Teamwork/Communication) คือ การร่วมมือรวมใจปฏิบัติงาน รับผิดชอบตามบทบาทหน้าที่ของตน รวมทั้งประสานงานกับเพื่อนสมาชิกด้วยการสื่อสารที่มีคุณภาพจนงานสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

3. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก และประเภทของผังกราฟิกของ Vekiri (2002: 264-266), Education Bureu (2003: 3-4), Ellis and Howard (2005: 1), Hughes and Macy (2008), Hoffman (2010: 31-34), และ Zaini, Mokhtar, and Nawawi (2010: 18) แล้วสรุปประเภทของผังกราฟิกโดยใช้วัตถุประสงค์หรือบทบาทหน้าที่การใช้งานของผังกราฟิกเป็นเกณฑ์ในการสรุป แล้วนำผลการสรุปไปใช้ร่วมกับขั้นตอนการจัดการเรียนการ

สอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก สามารถสรุปประเภทของผังกราฟิกได้ 5 ประเภท ดังนี้

1) ประเภทจำแนกข้อมูล (Hierarchical Organizer) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์หลักกับมโนทัศน์ย่อยอย่างเป็นลำดับขั้นลงไป หรือใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูล

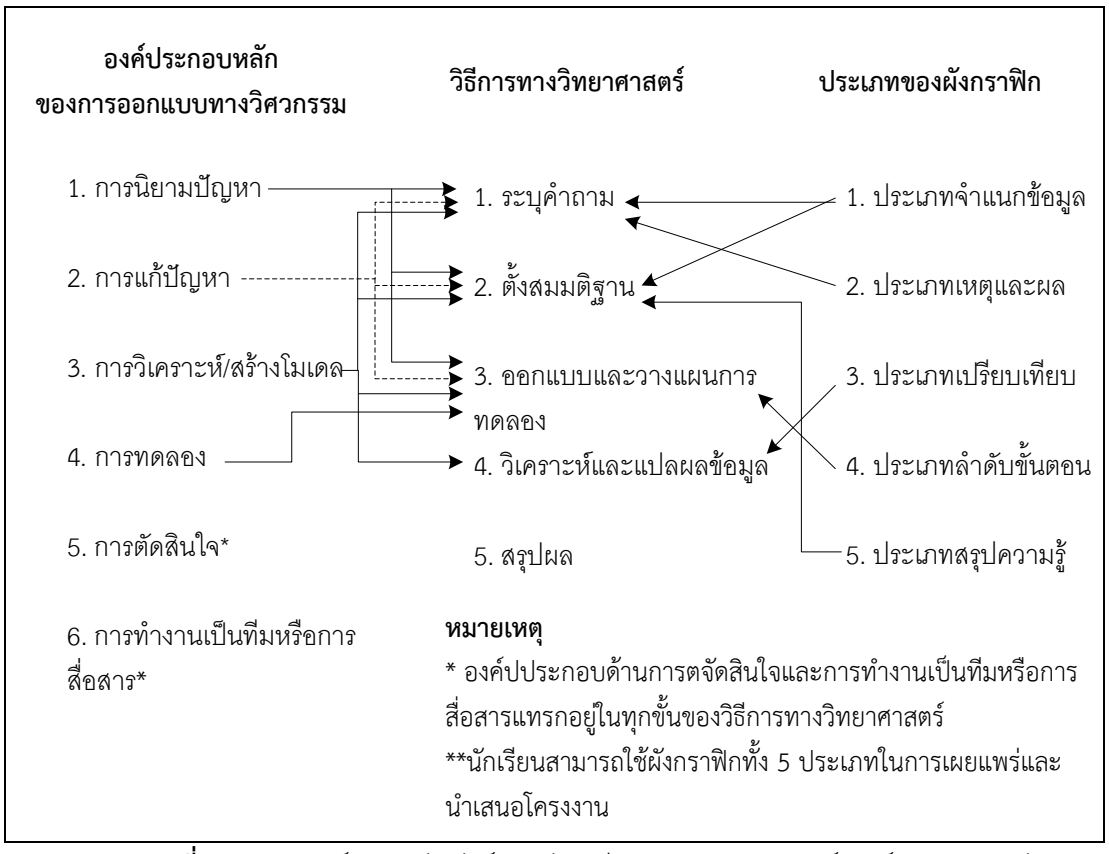
2) ประเภทเหตุและผล (Cause/Effect Diagram) นำเสนอข้อมูลที่เป็นเหตุ ผล และแนวทางแก้ปัญหา

3) ประเภทเปรียบเทียบ (Compare/Contrast Organizer) นำเสนอการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งความเหมือน และความต่าง

4) ประเภทลำดับขั้นตอน (Sequential Organizer) นำเสนอข้อมูลที่เป็นลำดับเวลา หรือเหตุการณ์ภายใต้ลำดับเวลา

5) ประเภทสรุปความรู้ (Conceptual Organizer) นำเสนอข้อมูลที่สนับสนุนมโนทัศน์ด้วยข้อเท็จจริง หลักฐานเชิงประจักษ์ โดยใช้ลักษณะหรือรูปแบบเฉพาะ

4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อเน้นสร้างสรรค์โครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่มี 5 ขั้นตอน องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมที่มีองค์ประกอบ 6 ด้าน และเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่จำแนกประเภทของผังกราฟิกได้ 5 ประเภท เพื่อสร้างขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ดังนี้



แผนภาพที่ 14 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการทางวิทยาศาสตร์ องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม และประเภทของผังกราฟิก

5. สรุปขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกโดยอาศัยผลการวิเคราะห์จากแผนภาพที่ 14 ได้ดังนี้

1) ระบุคำถามโครงงานเพื่อกำหนดหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์ ใช้องค์ประกอบด้านการนิยามปัญหา การวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1.1) ตั้งคำถามโครงงาน เป็นการตั้งคำถามในประเด็นปัญหาที่นักเรียนสนใจเพื่อกำหนดหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์ โดยใช้ผังกราฟิกประเภทเหตุและผลช่วยในการตั้งคำถาม

1.2) ระบุตัวแปรที่ศึกษา เป็นการระบุตัวแปรโครงงานวิทยาศาสตร์จากคำถามหรือประเด็นปัญหาโครงงานวิทยาศาสตร์ สามารถใช้ผังกราฟิกประเภทจำแนกข้อมูลช่วยในการระบุประเภทของตัวแปร

2) วางแผนและทดลองเพื่อแก้ปัญหา โดยใช้องค์ประกอบด้านการนิยามปัญหา การแก้ปัญหา การวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) ตั้งสมมติฐานโดยอาศัยข้อมูลจากการสืบค้น เป็นการตั้งสมมติฐานโครงงานวิทยาศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลจากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา นักเรียนสามารถใช้ผังกราฟิกประเภทจำแนกข้อมูล และประเภทสรุปความรู้ช่วยในการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้

2.2) ออกแบบและวางแผนการทำโครงงาน เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ออกแบบและวางแผนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์อย่างเป็นลำดับขั้นตอน นักเรียนสามารถใช้ผังกราฟิกประเภทลำดับขั้นตอนช่วยในการออกแบบและวางแผนการทำโครงงานได้

2.3) ทดลองตามแผนที่กำหนด เป็นการดำเนินการปฏิบัติหรือทดลองเพื่อรวบรวมข้อมูลตามแผนการดำเนินงานที่กำหนด

3) วิเคราะห์และสื่อความหมาย โดยใช้องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1) จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลด้วยค่าสถิติ เป็นการวิเคราะห์และจัดกระทำข้อมูลที่รวบรวมได้ระหว่างการทดลองหรือทำโครงงานด้วยค่าสถิติทางคณิตศาสตร์

3.2) สร้างโมเดลเพื่อสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก เป็นการนำข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์และจัดกระทำมาสื่อความหมายด้วยผังกราฟิก โดยสามารถใช้ผังกราฟิกประเภทเปรียบเทียบช่วยในการวิเคราะห์ จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลได้

4) สร้างคำอธิบายของคำถามโครงงาน โดยใช้องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

4.1) แปลผลข้อมูล เป็นการนำข้อมูลจากการจัดกระทำด้วยผังกราฟิกมาแปลผลด้วยการบรรยาย

4.2) สรุปผลร่วมกัน เป็นการสรุปผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ร่วมกับสมาชิกภายในกลุ่มให้สอดคล้องกับคำถามโครงงาน สมมติฐาน และวัตถุประสงค์การทำโครงงานวิทยาศาสตร์

5) เผยแพร่โครงงาน โดยใช้องค์ประกอบด้านการวิเคราะห์หรือสร้างโมเดล การตัดสินใจ และการทำงานเป็นทีมหรือการสื่อสาร มีขั้นตอน 2 ขั้นตอน ดังนี้

5.1) เขียนรายงานโครงงาน เป็นการทำรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ที่แสดงผลการดำเนินการทำโครงงานด้วยความเข้าใจ

5.2) นำเสนอโครงงาน เป็นการนำเสนอผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์โดยการพูดนำเสนอ และ/หรือ การใช้ผังโครงงาน

6. ศึกษาเอกสารคำอธิบายรายวิชา และสาระหลักสูตรในรายวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282) ของโรงเรียนนนทรีวิทยา พุทธศักราช 2554 ซึ่งเป็นโรงเรียนที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้

7. จัดทำสาระและแผนการจัดการเรียนรู้ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 9 แผนการเรียนรู้ จำนวน 22 ชั่วโมง สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 15 สาระและจำนวนคาบเรียนที่ใช้ในการเขียนแผนการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

สัปดาห์ที่	**ขั้นตอนการเรียนการสอน**	**จำนวนคาบ**	**สาระที่ใช้ในการเขียนแผน**
1-2	1. ฝึกทักษะการคิด	4	-การสังเกต - การจัดกลุ่ม - การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
3	2. ทบทวนความรู้เกี่ยวกับโครงงานวิทยาศาสตร์	2	- ความหมาย ประเภท และขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
4	3. การเขียนโครงการขอเสนอทำโครงงานและรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	2	-การเขียนโครงการเสนอทำโครงงานวิทยาศาสตร์ - การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์
5	1.ระบุคำถามโครงงานจากแหล่งเรียนรู้เพื่อกำหนดหัวข้อโครงงาน	2	- การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์
6-8	2. วางแผนและทดลองเพื่อแก้ปัญหา	2	- การระบุตัวแปรและการตั้งสมมติฐาน
		4	- การออกแบบและวางแผนทำโครงงาน การทดลองตามแผน และการรวบรวมข้อมูล
9	3. วิเคราะห์และสื่อความหมาย	2	- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
10	4. สร้างคำอธิบายของคำถามโครงงาน	2	- การสรุปและอภิปรายผล
11	5. เผยแพร่โครงงาน	2	- การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

8. กำหนดบทบาทครูและบทบาทนักเรียนในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 16 พฤติกรรมครู และพฤติกรรมนักเรียนในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

สัปดาห์ที่	ขั้นตอนการเรียนการสอน	จำนวนคาบ	สาระ	พฤติกรรมครู	พฤติกรรมนักเรียน
1-2	1. ฝึกทักษะการคิด	4	-การสังเกต - การจัดกลุ่ม - การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	- เตรียมสถานการณ์และตัวอย่างที่สามารถใช้อวัยวะรับสัมผัสในการสังเกต จัดกลุ่ม และจำแนกข้อมูล - ตั้งคำถามกระตุ้นความสนใจให้นักเรียนใช้อวัยวะรับสัมผัสในการสังเกตที่หลากหลาย - เตรียมกิจกรรมให้นักเรียนฝึกทักษะการจัดกลุ่ม การจำแนกข้อมูล การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	- ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม - ใช้อวัยวะรับสัมผัสในการสังเกตข้อมูลอย่างสร้างสรรค์
3	2. ทบทวนความรู้เกี่ยวกับโครงงานวิทยาศาสตร์	2	- ความหมาย ประเภท และขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	- เตรียมสถานการณ์ตัวอย่างตามประเภทโครงงานวิทยาศาสตร์ที่แสดงขั้นตอนของกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล และผลของการทำโครงงานแต่ละประเภทอย่างชัดเจน - สร้างความสนใจและความอยากรู้อยากเห็น - ตั้งคำถามกระตุ้นให้นักเรียนคิดอย่างเป็นลำดับและเปรียบเทียบสถานการณ์ตัวอย่างตามประเภทโครงงานวิทยาศาสตร์ - ตั้งคำถามกระตุ้นให้นักเรียนคิดเปรียบเทียบสถานการณ์ที่กำหนดให้กับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ - ดึงคำตอบจากนักเรียนเพื่อนำไปสู่ความรู้หรือความคิดรวบยอดที่ถูกต้อง - ส่งเสริมให้นักเรียนอธิบายความคิดรวบยอดหรือแนวคิดด้วยความเข้าใจของนักเรียนเอง	- แสดงความสนใจใฝ่รู้ - สังเกตข้อมูล และวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบ - ตอบคำถามตามความคิดเห็นของนักเรียนอย่างมีขอบเขต - อภิปรายเพื่อนำไปสู่ความคิดรวบยอด โดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ - ฝึกใช้ผังกราฟิกประเภท Sequential Organizer และ Conceptual Organizer

ตารางที่ 16 พฤติกรรมครู และพฤติกรรมนักเรียนในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก (ต่อ)

สัปดาห์ที่	ขั้นตอนการเรียนการสอน	จำนวนคาบ	สาระ	พฤติกรรมครู	พฤติกรรมนักเรียน
4	3. การเขียนโครงการขอเสนอทำโครงงานและรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	2	-การเขียนโครงการเสนอทำโครงงานวิทยาศาสตร์ - การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	- เตรียมรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ฉบับสมบูรณ์ตามประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ให้ครบถ้วนเพื่อใช้เป็นรายงานตัวอย่าง - ตั้งคำถามกระตุ้นความคิดของนักเรียนเพื่อให้เปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของการเขียนโครงการเสนอทำโครงงานวิทยาศาสตร์กับรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ โดยอาศัยขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ช่วยในการเปรียบเทียบ	- วิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมือนความต่างของการทำโครงการเสนอทำโครงงานวิทยาศาสตร์กับรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ - ฝึกใช้ผังกราฟิกประเภท Compare/Contrast Organizer
5	1.ระบุคำถามโครงงานจากแหล่งเรียนรู้เพื่อกำหนดหัวข้อโครงงาน	2	- การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์	- เตรียมอุปกรณ์ที่สามารถสัมผัสได้สำหรับการตั้งคำถาม - สร้างความสนใจและอยากรู้อยากเห็น - กระตุ้นให้นักเรียนคิด - ให้เวลาในการคิดสงสัยเพื่อตั้งคำถามให้ได้มากที่สุด - ซักถามเพื่อนำไปสู่ลักษณะคำถามที่เหมาะสมสำหรับทำโครงงานวิทยาศาสตร์ - สังเกตและให้คำปรึกษาแก่นักเรียน	- แสดงความสนใจ - คิดอย่างอิสระแต่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด - พยายามตั้งคำถามอย่างสร้างสรรค์ - อภิปรายข้อคำถามของเพื่อนนักเรียนถึงลักษณะของคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสม - ฝึกใช้ผังกราฟิกประเภท Cause/Effect diagram ในการตั้งคำถาม - ระบุคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์เพื่อนำไปสู่คำถามและหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 16 พฤติกรรมครู และพฤติกรรมนักเรียนในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก (ต่อ)

สัปดาห์ที่	ขั้นตอนการเรียนการสอน	จำนวนคาบ	สาระ	พฤติกรรมครู	พฤติกรรมนักเรียน
6-8	1.ระบุคำถามโครงงานจากแหล่งเรียนรู้เพื่อกำหนดหัวข้อโครงงาน และ 2. วางแผนและทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหา	2	- การระบุตัวแปร	- เตรียมสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนสามารถระบุตัวแปรได้ครบตามประเภทของตัวแปร - ให้เวลาในการฝึกระบุตัวแปรจากสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ - ซักถามเพื่อให้ภาษาที่ถูกต้องเหมาะสมในการระบุตัวแปร - กระตุ้นความคิดของนักเรียนโดยใช้คำถามโครงงานที่กลุ่มนักเรียนสนใจในการระบุตัวแปรเพื่อทำโครงงานวิทยาศาสตร์ - ให้คำปรึกษาแก่นักเรียน	- วิเคราะห์สถานการณ์เพื่อระบุตัวแปรได้ถูกต้อง - ระบุตัวแปรได้ถูกต้องตามประเภทของตัวแปร - ระบุตัวแปรจากคำถามโครงงานที่นักเรียนสนใจ - ทำความเข้าใจถึงลักษณะของภาษาที่ใช้ในการระบุตัวแปร - ฝึกใช้ผังกราฟิกประเภท Hierarchical Organizer
			- การตั้งสมมติฐาน	- เตรียมสถานการณ์ - ตั้งคำถามกระตุ้นการคิดเกี่ยวกับลักษณะการตั้งสมมติฐานที่ถูกต้อง - ดึงความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับการตั้งสมมติฐานเพื่อนำไปสู่ความคิดรวบยอดที่ถูกต้อง - กระตุ้นการคิดของนักเรียนโดยใช้สมมติฐานที่นักเรียนลงข้อสรุปจากสมาชิกภายในกลุ่มไปสู่การกำหนดวัตถุประสงค์การทำโครงงาน - รับฟังและให้คำปรึกษา	- ตั้งสมมติฐานจากตัวแปรให้ถูกต้อง - ตั้งสมมติฐานโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้ถูกต้อง - อภิปรายผลการตั้งสมมติฐานกับเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อลงข้อสรุป - ฟังและทำความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งที่ครูอธิบาย - ฝึกใช้ผังกราฟิกประเภท Cause/Effect Diagram

ตารางที่ 16 พฤติกรรมครู และพฤติกรรมนักเรียนในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก (ต่อ)

สัปดาห์ที่	ขั้นตอนการเรียนการสอน	จำนวนคาบ	สาระ	พฤติกรรมครู	พฤติกรรมนักเรียน
6-8	2. วางแผนและทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหา (ต่อ)	4	- การออกแบบและวางแผนทำโครงงาน การทดลองตามแผน และการรวบรวมข้อมูล	- เตรียมสถานการณ์และอุปกรณ์เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยคำนึงถึงความปลอดภัยในการทำกิจกรรม - กำหนดลำดับกิจกรรมฝึกทักษะการทดลอง - ให้เวลานักเรียนในการดำเนินกิจกรรม - ควบคุมเวลาในการดำเนินการวางแผนการออกแบบการทดลอง - สังเกตพฤติกรรมระหว่างดำเนินกิจกรรม - รับฟังและให้คำปรึกษาแก่นักเรียน - ส่งเสริมการวิเคราะห์เพื่อออกแบบและวางแผนแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ - กำหนดภาระงานในการทำโครงการเสนอทำโครงงานวิทยาศาสตร์ โดยอ้างอิงจากภาระงานเดิมที่นักเรียนเลือกหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์	- ตระหนักถึงความปลอดภัยในการออกแบบการดำเนินการทดลอง - ให้ความร่วมมือกับเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่มในการทำกิจกรรม - วิเคราะห์เพื่อออกแบบและวางแผนแนวทางการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้อย่างสร้างสรรค์ - ดำเนินการทดลองตามแผนการทำงานอย่างรอบคอบและระมัดระวัง - สังเกต รวบรวมข้อมูล และบันทึกข้อมูลด้วยความซื่อสัตย์ - มีส่วนร่วมในการอภิปรายเพื่อออกแบบและวางแผนการทดลองอย่างมีเหตุผล - รับฟังความคิดเห็นของเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่มระหว่างดำเนินกิจกรรม - ใช้ผังกราฟิกประเภท Compare/Contrast Organizer ในการรวบรวมข้อมูลระหว่างทำการทดลอง - ใช้ผังกราฟิกประเภท Sequential Organizer ในการออกแบบและวางแผนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 16 พฤติกรรมครู และพฤติกรรมนักเรียนในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก (ต่อ)

สัปดาห์ที่	ขั้นตอนการเรียนการสอน	จำนวนคาบ	สาระ	พฤติกรรมครู	พฤติกรรมนักเรียน
9	3. วิเคราะห์และสื่อความหมาย	2	- การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	- ทบทวนความรู้เรื่องผังกราฟิก - เตรียมสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนฝึกทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล - สังเกตและให้คำแนะนำถึงการใช้ผังกราฟิกอย่างเหมาะสม - มอบหมายภาระงานเพื่อให้นักเรียนจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลตามหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนเสนอทำโครงงาน	- ให้ความสนใจในกิจกรรม - วิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลโดยใช้ผังกราฟิกที่เหมาะสมจากข้อมูลโครงงานวิทยาศาสตร์ของกลุ่มนักเรียน - แปลผลให้สอดคล้องกับผังกราฟิกข้อมูลตามหัวข้อโครงงานของนักเรียน
10	4. สร้างคำอธิบายของคำถามโครงงาน	2	- การสรุปและอภิปรายผล	- เตรียมรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นสถานการณ์ตัวอย่างให้นักเรียนฝึกสรุปและอภิปรายผล - ใช้คำถามกระตุ้นการคิดสงสัยความสัมพันธ์ของการสรุปข้อมูล คำถามโครงงาน วัตถุประสงค์การทำโครงงาน และสมมติฐานการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	- เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการสรุปผล คำถามโครงงาน วัตถุประสงค์การทำโครงงาน และสมมติฐานโครงงานวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 16 พฤติกรรมครู และพฤติกรรมนักเรียนในการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก (ต่อ)

สัปดาห์ที่	ขั้นตอนการเรียนการสอน	จำนวนคาบ	สาระ	พฤติกรรมครู	พฤติกรรมนักเรียน
11	5. เผยแพร่โครงงาน	2	- การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	- ทบทวนความรู้ส่วนประกอบและการเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ - เปรียบเทียบขั้นตอนการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์กับส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ - ให้เวลานักเรียนในการดำเนินการทำรายงานโครงงาน	- ให้ความสนใจการทำกิจกรรมในชั้นเรียน - เขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ตามหัวข้อโครงงานที่นักเรียนรับผิดชอบ

9. ดำเนินการสร้างคำอธิบายรายวิชา แผนระยะยาว และแผนรายคาบ ตามขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกตามสาระและจำนวนคาบที่กำหนด

10. นำคำอธิบายรายวิชา แผนระยะยาว และแผนรายคาบที่สร้างเสร็จแล้วให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบพิจารณาความถูกต้อง ความเหมาะสม และความชัดเจนของภาษาที่ใช้ตามองค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ วัตถุประสงค์ สาระ กิจกรรมการเรียนรู้ การวัดและการประเมินผล และสื่อการเรียนรู้ รวมทั้งพิจารณาความสอดคล้องของกิจกรรมการเรียนรู้ตามรูปแบบการเรียนการสอนที่กำหนด จากนั้นนำแผนการเรียนรู้มาปรับตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

11. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้แก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน (รายนามดังภาคผนวก ก) ตรวจพิจารณารายละเอียดต่างๆ เช่นเดียวกับการตรวจพิจารณาของอาจารย์ที่ปรึกษา มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) เท่ากับ 0.8 (ดังปรากฏในภาคผนวก ง)

ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ มีดังนี้

1. ด้านเนื้อหาสาระ เสนอให้ปรับแก้เนื้อหาสาระให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นของแผนการเรียนรู้จำนวน 4 แผน ได้แก่ (1) แผนการเรียนรู้ เรื่อง การฝึกทักษะการคิด (2) แผนการเรียนรู้ เรื่อง การทบทวนความรู้โครงงานวิทยาศาสตร์ (3) แผนการเรียนรู้ เรื่อง การระบุคำถามโครงงาน และ (4) แผนการเรียนรู้ เรื่อง การวิเคราะห์ และสื่อความหมายข้อมูล

2. ด้านขั้นตอนการจัดการเรียนการสอน เสนอปรับแก้แผนการเรียนรู้ เรื่อง การทบทวนความรู้โครงงานวิทยาศาสตร์ โดยให้ปรับคำถามขั้นนำให้มีความกระชับ และไม่ชี้นำก่อนกิจกรรมการเรียนการสอนมากเกินไป

3. ด้านภาษา เสนอให้ปรับแก้ภาษาให้เข้าใจ กระชับ และชัดเจนมากยิ่งขึ้นในทุกแผนการเรียนรู้ โดยเน้นปรับไม่ให้ใช้ภาษาพูด

การดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

1. เก็บรวมรวมข้อมูลก่อนทดลอง โดยใช้แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบกับนักเรียนกลุ่มทดลอง จากนั้นเตรียมความพร้อมโดยการแนะนำรายละเอียดของวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282) วัตถุประสงค์รายวิชา และการวัดและประเมินผล

2. ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยจัดการเรียนการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก จำนวน 9 แผน เป็นระยะเวลา 11 สัปดาห์ รวมทั้งหมด 22 คาบ ระหว่างวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2554 ถึงวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 และใช้แบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ (ดังปรากฏในภาคผนวก ง) กำกับพฤติกรรมการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละกลุ่ม

3. เก็บข้อมูลหลังการทดลอง โดยใช้แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบนักเรียนหลังสอนครบตามแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 9 แผน และใช้แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ประเมินผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เพื่อนำคะแนนมาแปลผลในส่วนของความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ใช้แบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ (ดังปรากฏในภาคผนวก ง) เป็นเครื่องมือกำกับหัวข้อหรือส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์แต่ไม่นำมาแปลผลในส่วนของความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าสถิติสำเร็จรูป Test Analysis Program [TAP] และ Microsoft Excel 2010 ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\bar{x}_{\text{ร้อยละ}}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็นการวิเคราะห์คะแนนเป็นรายกลุ่ม วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. นำผลคะแนนที่ได้จากแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์มาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดที่ร้อยละ 70

2. นำค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์มาเทียบกับเกณฑ์การประเมินของกรมวิชาการ เพื่อแปลระดับคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ดังนี้

ช่วงคะแนน	ความหมาย
80-100	มีความสามารถในระดับดีมาก
70-79	มีความสามารถในระดับดี
60-69	มีความสามารถในระดับพอใช้
50-59	มีความสามารถอยู่ในระดับผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด
0-49	มีความสามารถอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

2. การวิเคราะห์ความสามารถในการวิเคราะห์

ความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนกลุ่มทดลองวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\bar{x}_{\text{ร้อยละ}}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็นการวิเคราะห์คะแนนรายบุคคล วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. นำผลคะแนนที่ได้จากแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์มาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดที่ร้อยละ 65

2. ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนกับหลังเรียนด้วยค่าสถิติทดสอบที (t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาผลของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการทำโครงงาน

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งได้ 2 ประเด็น ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

2.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ระหว่างก่อนกับหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ พิจารณาจากคะแนนรวมการทำโครงงานวิทยาศาสตร์และพฤติกรรมย่อยของการทำโครงงานฯ ซึ่งประกอบด้วย 12 มีคะแนนเต็ม 36 คะแนน โดยกำหนดรายการประเมินละ 3 คะแนน จากนั้นแปลผลคะแนนเทียบกับเกณฑ์การประเมินคุณภาพของกรมวิชาการ ได้ผลการวิเคราะห์ดังปรากฏในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$) ของคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$
ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	29.4	0.64	81.67
พฤติกรรมย่อยของการทำโครงงานวิทยาศาสตร์			
1. การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์	2.6	0.55	86.67
2. การระบุตัวแปร	2.6	0.55	86.67
3. การสืบค้นข้อมูล	2.4	0.55	80.00
4. การตั้งสมมติฐาน	2.6	0.55	86.67
5. การออกแบบและวางแผนทำโครงงาน	2.6	0.55	86.67

ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$) ของคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก (ต่อ)

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน	2.4	0.55	80.00
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล	2.6	0.55	86.67
8. การแปลผลข้อมูล	2.0	0.00	66.67
9. การสรุปและอภิปรายผล	2.2	0.45	73.33
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	2.6	0.55	86.67
11. การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์	2.2	0.45	73.33
12. คุณภาพของผลงาน	2.6	0.55	86.67

จากตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีค่าเท่ากับร้อยละ 81.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 70 และจัดอยู่ในเกณฑ์ที่มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก

เมื่อพิจารณาคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ตามพฤติกรรมย่อยของรายการประเมิน พบว่า 1) นักเรียนได้คะแนนพฤติกรรมย่อยการทำโครงงานฯ สูงกว่าร้อยละ 80 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก ทั้งหมด 9 รายการ ได้แก่ การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ การระบุตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การสืบค้นข้อมูล การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ และคุณภาพผลงาน 2) นักเรียนมีพฤติกรรมย่อยที่ได้คะแนนร้อยละ 73.33 จัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดี จำนวน 2 รายการ คือ การสรุปและอภิปรายผล และการนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ และ 3) พฤติกรรมที่นักเรียนได้คะแนนเพียงร้อยละ 66.67 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับพอใช้ คือ การแปลผลข้อมูล

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวิเคราะห์

2.1 ความสามารถในการวิเคราะห์ เป็นความสามารถในการแยกแยะข้อมูล ประกอบด้วยการวิเคราะห์ 3 ประเภท คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์เชิงหลักการ วิเคราะห์คะแนนรายบุคคลจากแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยทดสอบหลังเรียน มีคะแนนเต็ม 25 คะแนน และคะแนนแยกตามประเภทของการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท มีคะแนนเต็ม 7, 9, และ 9 คะแนน ตามลำดับ ทั้งนี้ได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพไว้ที่ร้อยละ 65 ได้ผลการวิเคราะห์ดังปรากฏในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) ของคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก (N=23)

รายการ	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}_{ร้อยละ}$
ความสามารถในการวิเคราะห์	16.35	2.33	65.4
ประเภทของการวิเคราะห์			
1. การวิเคราะห์องค์ประกอบ	4.57	1.01	65.2
2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	5.91	1.25	65.7
3. การวิเคราะห์เชิงหลักการ	5.87	1.15	65.2

จากตารางที่ 18 แสดงให้เห็นว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์หลังทดลองคิดเป็นร้อยละ 65.4 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 65

เมื่อพิจารณาแยกตามประเภทของการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์เชิงหลักการ พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 65.2, 65.7, และ 65.2 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกประเภท

2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาก่อนและหลังเรียนทดลอง โดยใช้คะแนนรายบุคคลจากแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ค่าสถิติทดสอบที (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ได้ผลการวิเคราะห์ดังปรากฏในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าสถิติทดสอบที (t-test) ของคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาก่อนและหลังเรียนฯ

ค่าสถิติ / รายการ	ก่อนเรียน		หลังเรียน		t-test
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	
ความสามารถในการวิเคราะห์	13.46	1.85	16.35	2.33	2.57*
ประเภทของการวิเคราะห์					
1. การวิเคราะห์องค์ประกอบ	4.27	4.57	1.05	1.01	0.18
2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	4.64	5.91	1.06	1.25	0.00
3. การวิเคราะห์เชิงหลักการ	4.55	5.87	1.37	1.15	0.00

จากตารางที่ 19 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมัธยมศึกษาที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีความสามารถในการวิเคราะห์สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาแยกตามประเภทของการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ การวิเคราะห์เชิงหลักการ พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีการวิเคราะห์ทุกประเภทหลังทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง ผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิก 2) ศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิก และ 3) เปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์แต่ละประเภทของนักเรียนมัธยมศึกษาก่อนและหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิก กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนนนทรีวิทยา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ จำนวน 23 คนที่ศึกษารายวิชา โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 (ว 32282) โดยเลือกโรงเรียนและกลุ่มตัวอย่างด้วยการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ 1) แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และ 2) แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{\text{ร้อยละ}}$) และค่าสถิติทดสอบที (t-test)

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกที่มีต่อความสามารถในการวิเคราะห์และการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา สรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. นักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังกราฟิกมีคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เท่ากับร้อยละ 81.67 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 70 และจัดอยู่ในเกณฑ์ความสามารถในระดับดี เมื่อพิจารณาคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ตามพฤติกรรมย่อยของรายการประเมิน พบว่า 1) นักเรียนได้คะแนนพฤติกรรมย่อยการทำโครงงานฯ สูงกว่าร้อยละ 80 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก ทั้งหมด 9 รายการ ได้แก่ การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ การระบุตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การสืบค้นข้อมูล การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ และคุณภาพผลงาน 2) นักเรียนมีพฤติกรรมย่อย

ที่ได้คะแนนร้อยละ 73.33 จัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดี จำนวน 2 รายการ คือ การสรุปและอภิปรายผล และการนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ และ 3) พฤติกรรมที่นักเรียนได้คะแนนเพียงร้อยละ 66.67 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับพอใช้ คือ การแปลผลข้อมูล

2. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนรวมความสามารถในการวิเคราะห์ร้อยละ 65.4 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 65 เมื่อพิจารณาแยกตามประเภทของการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท คือ 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบ 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ 3) การวิเคราะห์เชิงหลักการ พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเท่ากับร้อยละ 65.2, 65.7 และ 65.2 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดทุกประเภท

3. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท คือ 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบ 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ 3) การวิเคราะห์เชิงหลักการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยอภิปรายผลโดยแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการวิเคราะห์

1. ความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

การวิจัยครั้งนี้พบว่า นักเรียนกลุ่มที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีคะแนนคิดเป็นได้เป็นร้อยละ 81.67 ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 70 สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 1 เนื่องจากการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาทักษะและความสามารถตามองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อนำความรู้และทักษะที่เรียนรู้จากแต่ละขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกไปประยุกต์ในการสร้างสรรค์โครงงานวิทยาศาสตร์ ดังปรากฏผลการวิจัยที่พบว่า นักเรียนที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Mentzer (2008) ที่พบว่า การใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมในการทำโครงงานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ช่วยส่งเสริมและพัฒนาทักษะสำคัญช่วยให้นักเรียนมีความสามารถทำโครงงานได้ในระดับดีมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของละมัย วงคำแก้ว (2554) ที่ศึกษาพบว่า นักเรียนที่เรียนรู้โดยใช้วิธีสืบสอบความรู้ 5E ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก มีคะแนนความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของน้ำผึ้ง มีนิล (2545)

ที่ศึกษาพบว่า นักเรียนที่เรียนโดยใช้ผังกราฟิกในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ มีความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์สูงกว่าร้อยละ 70

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมย่อยของความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ดังปรากฏผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก มีคะแนนร้อยละ 86.67 เท่ากัน มี 7 รายการ คือ การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ การระบุตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การออกแบบ และวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ และ คุณภาพผลงาน ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ความสามารถระดับดีมาก เนื่องจาก การจัดการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกที่เน้นการพัฒนาทักษะสำคัญในแต่ละองค์ประกอบของการออกแบบทางวิศวกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวคิดของ Sadler, Coyle and Schwartz (2000: 323) ว่า “การออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกิจกรรมที่นักเรียนต้องสืบค้นและสร้างแนวทางการแก้ปัญหาซึ่งเป็นปัญหาที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาของสังคมหรือสิ่งที่สังคมต้องการ โดยที่นักเรียนต้องประยุกต์ทักษะ ความรู้และประสบการณ์ในการแก้ปัญหานั้น ทำให้นักเรียนได้รับความรู้และประสบการณ์ใหม่ด้วยตัวนักเรียนเอง” สอดคล้องกับแนวคิดของ Mentzer (2008) และ Dym, et al. (2005) ที่ว่า “การที่นักเรียนได้พัฒนาทักษะสำคัญตามองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักเรียนพัฒนาการเรียนรู้และสร้างสรรค์โครงงานให้สำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้” นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Carr and Strober (2001) ได้เสนอว่า “ควรมีการบูรณาการการออกแบบทางวิศวกรรมไปสู่หลักสูตรสถานศึกษา เนื่องจากการออกแบบทางวิศวกรรมคาดหวังให้นักเรียนประยุกต์ความรู้ สื่อสารได้อย่างสมบูรณ์แบบ มีทักษะทางสังคม สามารถแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ และสามารถสร้างความรู้อย่างเป็นระบบได้ ซึ่งจุดเด่นขององค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมคือการตั้งคำถามและการสืบสอบความรู้ตามหลักการทำงานของวิศวกรที่จะนำไปสู่การหาเหตุและผล”

เมื่อพิจารณาคะแนนรวมความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ แม้นักเรียนมีคะแนนจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมากจำนวน 11 รายการคือ การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ การระบุตัวแปร การสืบค้นข้อมูล การตั้งสมมติฐาน การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล การสรุปและอภิปรายผล การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ และ คุณภาพของผลงาน ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 70 แต่คะแนนในส่วนของการแปลผลข้อมูลพบว่ามีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 66.67 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อนำคะแนนทั้งหมด 12 รายการมารวมกันแล้วทำให้คะแนนเฉลี่ยร้อยละรวมเท่ากับ 81.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

จากเหตุผลดังกล่าว เป็นการสนับสนุนว่า การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และเป็นกิจกรรมการเรียนรู้เน้นนักเรียนในการทำกิจกรรมเป็นกลุ่มด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อทำโครงงานวิทยาศาสตร์ด้วยตัวนักเรียนเอง จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเรียนรู้ไปในทางที่ดีตามทฤษฎีสรรคนิยม ที่ว่า “การเรียนรู้ของนักเรียน

จะเกิดขึ้นภายในสมองของแต่ละคนและการเรียนรู้เป็นกระบวนการเรียนที่กระตือรือร้นในการสร้างความรู้ภายในสมองเชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อมภายนอก นอกจากนี้ความรู้ใหม่ที่นักเรียนได้รับมีความเชื่อมโยงกับความรู้เดิม ทำให้เกิดการบันทึกความเชื่อมโยงนั้นในโครงสร้างทางความคิด ” (Swan, 2005:3, Bhat, 2001: 3) และ “กระบวนการเรียนรู้ตามทฤษฎีสรรคนิยมควรเน้นนักเรียน 1) การนำเสนอ เพื่อนำเสนอความรู้ที่สร้างขึ้นหรือสิ่งที่เรียนรู้ สะท้อนความเชื่อมโยงระหว่างการสร้างมโนทัศน์กับการนำความรู้ไปใช้ 2) สร้างมโนทัศน์ ควรให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและสังคมเพื่อนำไปสู่การจัดกระทำ การประมวลผลข้อมูล และเรียนรู้ด้วยความเข้าใจ และ 3) ใช้ความรู้ เป็นการนำความรู้ที่เรียนผ่านกิจกรรมในชั้นเรียนไปประยุกต์ให้สอดคล้องและมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและสังคม ซึ่งสามารถพัฒนาไปสู่การสร้างผลงานด้วยตัวนักเรียนเองภายใต้ประเด็นปัญหาทางสังคม” (Swan, 2005: 10-14)

2. ความสามารถในการวิเคราะห์

จากการวิจัยพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาที่เรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์เฉลี่ยร้อยละ 65.4 สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2 ผลการวิจัยที่ได้นี้เนื่องจาก การฝึกทักษะสำคัญตามองค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมและการฝึกการวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิกในกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก นำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับแนวคิดของ Levin and Liebermann (2000) ที่กล่าวว่า “การพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์เกิดได้จาก 3 ส่วนคือ (1) การปฏิบัติโดยประยุกต์ไปสู่สถานการณ์ในชีวิตประจำวัน (2) ฝึกใช้สัญลักษณ์และนำเสนอบนพื้นฐานของทฤษฎีการเรียนรู้ และ (3) ต้องอาศัยเวลาในการพัฒนาทักษะและความสามารถอย่างต่อเนื่อง” และสอดคล้องกับ Jordan, Prevette, and Woodward (2001: 3) กล่าวว่า “ความสามารถในการวิเคราะห์จะเกิดขึ้นหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นข้อมูลแบบทั่วไปหรือเป็นข้อมูลที่หลากหลายปะปนกัน จึงจำเป็นต้องใช้ความรู้ในการลำดับความสำคัญ หรือจัดกระทำก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ โดยต้องผ่านการวิเคราะห์ จัดกระทำ และทำความเข้าใจเสียก่อน” นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของละมัย วงคำแก้ว (2554) ที่พบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังเรียนโดยใช้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะความรู้ (5E) ร่วมกับผังกราฟิก มีความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาแยกตามประเภทของการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภทคือ 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบ 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ 3) การวิเคราะห์เชิงหลักการ พบว่านักเรียนมีคะแนนการวิเคราะห์ทุกประเภทหลังเรียนวิทยาศาสตร์สูงเกณฑ์ที่กำหนดที่ร้อยละ 65 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการวิเคราะห์องค์ประกอบสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเป็นการแยกแยะข้อมูลต่างๆ ออกจากข้อมูลที่ชัดเจนและข้อมูลที่ไม่ชัดเจน ซึ่งนักเรียนเข้าใจได้ง่าย ประกอบกับนักเรียนมีประสบการณ์จากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมและการทดสอบเกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบค่อนข้างบ่อย จึงอาจส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการวิเคราะห์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต้องระบุความเหมือนและความต่างขององค์ประกอบ รวมไปถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบ ซึ่งนักเรียนเรียนต้องใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกิจกรรมการเรียนรู้ การสืบค้นข้อมูล และการจัดกระทำข้อมูล ทำให้นักเรียนมีความรู้และความเข้าใจ ดังที่ Cowdent et al (2009) กล่าวว่า “ผังกราฟิกช่วยจัดกระทำ เชื่อมโยง ประเมินและอภิปรายมโนทัศน์ใหม่ช่วยส่งเสริมและพัฒนาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น” จึงอาจส่งผลให้นักเรียนมีคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

3. การวิเคราะห์เชิงหลักการ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการวิเคราะห์เชิงหลักการสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากการวิเคราะห์เชิงหลักการต้องค้นหาหลักแกนกลางที่เชื่อมโยง และสัมพันธ์กันจนข้อมูลนั้นสามารถดำรงอยู่ได้ ทั้งนี้อาจเกี่ยวกับ การฝึกฝนการใช้และการตั้งคำถาม และข้อคำถามในแบบวัดที่มีข้อคำถามที่ชัดเจนเข้าใจง่าย นักเรียนจึงเกิดความเข้าใจและสามารถตอบคำถามได้ ดังคำกล่าวของ Mentzer (2011) กล่าวว่า “องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมช่วยพัฒนาทักษะการวิเคราะห์ และการระบุคำถามที่ถือเป็นประเด็นหลักสำคัญ” และสอดคล้องกับ Killion and Bellemy (2000:3) ที่กล่าวว่า “ขั้นตอนแรกของการพัฒนาทักษะการวิเคราะห์คือ การระบุคำถาม เมื่อสามารถระบุคำถามให้ถูกต้องและชัดเจน การหาคำตอบเกี่ยวกับหลักการที่ซ่อนอยู่จึงไม่ใช่เรื่องยาก”

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคะแนนความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกพบว่า มีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 ที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาจำแนกตามประเภทของการวิเคราะห์ทั้ง 3 ประเภท คือ 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบ 2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ 3) การวิเคราะห์เชิงหลักการ พบว่า มีคะแนนการวิเคราะห์ทุกประเภทหลังเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากเหตุผลดังกล่าวเป็นการสนับสนุนว่า การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิกช่วยเสริมสร้างให้นักเรียนมีความสามารถในการวิเคราะห์ และเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนในการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงหรือหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยความเข้าใจแล้วนำไปประยุกต์ในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ จึงเป็นการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายที่ว่า “การเรียนรู้อย่างมีความหมายเป็นกระบวนการเชื่อมโยงความรู้ใหม่ให้สัมพันธ์กับความรู้เดิมภายในโครงสร้างทางสติปัญญาของนักเรียนแต่ละคน” (Viola, Giretti, and Leo, 2007: 64) สอดคล้องกับข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเรียนรู้อย่างมีความหมายของ Education Bureau

(2003: 3-4) ที่ว่า “ผังกราฟิกช่วยให้นักเรียนสนใจข้อความ ประเด็น หรือมโนทัศน์สำคัญ ด้วยการเชื่อมโยงหรือหาความสัมพันธ์ของมโนทัศน์เหล่านั้น แล้วบันทึกข้อมูลในลักษณะเครือข่ายที่สามารถเพิ่มเติมหรือจัดกระทำข้อมูล/ความรู้เดิม ด้วยความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมกับความรู้ใหม่” นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างการวิเคราะห์ของ Manamara and Thompson (1996 อ้างถึงใน Polnick and Edmonson, 2004: 3) ที่ว่า “การใช้ผังกราฟิกเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ได้กับข้อมูลทุกประเภททั้งในการเรียนและในชีวิตประจำวัน แต่ต้องได้รับการฝึกฝนและพัฒนาการเลือกใช้ การจัดกระทำ การสร้าง และการแปลผลข้อมูลด้วยผังกราฟิก”

ข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากการวิจัยที่พบว่า การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกสามารถพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาได้นั้น จึงมีข้อเสนอแนะสำหรับครูผู้สอน ศึกษานิเทศก์ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนในการนำเสนอผลการวิจัยไปใช้ ดังนี้

1.1. ข้อเสนอแนะสำหรับครูผู้สอน

1.1.1. ครูผู้สอนควรศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่พัฒนาขึ้นโดยศึกษารายละเอียดในแต่ละขั้นตอนและกิจกรรมการเรียนรู้ ได้แก่ เนื้อหาสาระ กิจกรรมการเรียนรู้ สถานการณ์ตัวอย่าง และบทบาทครูและบทบาทนักเรียนในกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละขั้นตอน เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในหลักการและเหตุผล ตลอดจนเงื่อนไขการจัดกิจกรรม

1.1.2. ครูควรวิเคราะห์เนื้อหาสาระตามรายวิชาที่ครูใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อทำการสืบค้นและศึกษาสถานการณ์ตัวอย่างที่สอดคล้องและเหมาะสมกับเนื้อหาสาระในแต่ละเรื่อง แล้วจึงออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ สถานการณ์ตัวอย่าง และการจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้สำหรับดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ต่อไป

1.1.3. การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกสามารถนำไปใช้สอนในสาระอื่นๆ ในวิชาฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และรายวิชาอื่นๆ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้นักเรียนเกิดการพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

1.2. ข้อเสนอแนะต่อศึกษานิเทศก์

1.2.1. ศึกษานิเทศก์ควรศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกที่พัฒนาขึ้น ให้เกิดความรู้ความเข้าใจในหลักการ บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเสนอแนะครูผู้สอนให้นำการจัดการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

1.2.2. ศึกษานิเทศก์สามารถนำการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกไปใช้นิเทศติดตามและสร้างแรงจูงใจต่อครูผู้สอน เพื่อกระตุ้นให้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ในการพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3. ข้อเสนอแนะต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

1.3.1. สถานศึกษาควรสนับสนุนการวางแผนพัฒนานักเรียนโดยใช้การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นทางเลือกหนึ่งในการเสริมสร้างและพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ในรายวิชากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หรือฟิสิกส์ หรือใช้เป็นตัวอย่างเพื่อนำไปสู่การบูรณาการระหว่างรายวิชาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หรือบูรณาการข้ามกลุ่มสาระการเรียนรู้ เช่น คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป็นต้น เพื่อให้เกิดการเรียนรู้เนื้อหาที่มีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้ง และสามารถถ่ายโอนความรู้ไปใช้ในสถานการณ์จริง

1.3.2. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เช่น สถาบันการศึกษา สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา หรือสำนักงานการศึกษาขั้นพื้นฐาน เป็นต้น ควรส่งเสริมศักยภาพของครูผู้สอนให้มีความรู้ความเข้าใจและเห็นคุณค่าของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกด้วยการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการเป็นการพิเศษ เพื่อให้ครูผู้สอนเข้าใจหลักการและขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอนที่สร้างขึ้น ได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์ซึ่งกันและกัน และสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนต่อไป รวมถึงการจัดทำคู่มือเพื่อเป็นแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในการพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่ควรค้นคว้าต่อจากงานวิจัยครั้งนี้ มีดังนี้

2.1 การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นเนื้อหาฟิสิกส์หรือโครงงานวิทยาศาสตร์ที่เน้นโครงงานประเภทประดิษฐ์ ดังนั้นหากมีการวิจัยครั้งต่อไป อาจมีการศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนในเนื้อหาสาระทางวิทยาศาสตร์เรื่องอื่นๆ ที่แตกต่างจากการวิจัยในครั้งนี้

2.2 การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกที่มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เน้นให้นักเรียนสามารถสร้างสรรค์โครงงานได้สำเร็จ เช่น การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ การระบุตัวแปร การสืบค้นข้อมูล การตั้งสมมติฐาน การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์ การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน การวิเคราะห์ จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การสรุปและอภิปรายผล และการเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ดังนั้นหากมีการวิจัยครั้งต่อไป อาจมีการศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาทักษะและความสามารถด้านอื่นของนักเรียนตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เช่น ความสามารถในการตั้งคำถามโครงงาน ความสามารถในการออกแบบและวางแผนการทำโครงงาน ความสามารถในการแปลผลข้อมูล และความสามารถในการสร้างคำอธิบายคำถามโครงงาน เป็นต้น

2.3 การวิจัยครั้งนี้เป็นการบูรณาการการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ดังนั้นหากมีการวิจัยครั้งต่อไปอาจบูรณาการกับรูปแบบ แนวทาง หรือเทคนิคการเรียนการสอนอื่นๆ

2.4 การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคผังการใช้กราฟิกอาจมีการนำไปใช้ในการเรียนการสอนระดับอื่นๆ ได้ เพื่อพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ จึงควรมีการปรับสถานการณ์ตัวอย่างและกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องและเหมาะสมกับเนื้อหาและความสามารถของนักเรียน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คณะกรรมการกฤษฎีกา, สำนักงาน. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://kormor.obec.go.th/act/act081.pdf [3 ธันวาคม 2555]

คณะกรรมการกฤษฎีกา,สำนักงาน. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542. [ออนไลน์]. 2542. แหล่งที่มา: http://www.moe.go.th/edtechfund/fund/images/stories/laws/prb_study(final).pdf [3 ธันวาคม 2555]

คณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11. [ออนไลน์]. 2554, แหล่งที่มา: http://www.nesdb.go.th/Portals/0/news/plan/p11/plan11.pdf. วันที่สืบค้นข้อมูล 3 มกราคม 2556

ทิศนา แขมณี. ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ธนพล กลิ่นเมือง. ผลของการใช้รูปแบบการเรียนการสอน 5E ในหน่วยการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีต่อความสามารถในการทำโครงงาน และเจตคติต่อภูมิปัญญาท้องถิ่นของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาหลักสูตร การสอน และเทคโนโลยีการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

น้ำผึ้ง มีนิล. ผลของการใช้เทคนิคผังกราฟิกในการสอนวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์กับคุณภาพชีวิตที่มีต่อการใช้ระเบียบวิธีการทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชา หลักสูตร การสอน และเทคโนโลยีการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ประสาท เนืองเฉลิม. Cognitive Development, Analytical thinking and Learning Satisfaction of Second Grade Students Learning through Inquiry-based Learning. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED506511.pdf [17 พฤศจิกายน 2555]

พรเทพ จันทราอุกฤษฏ์. ผลการเรียนการสอนบนเว็บที่มีต่อความรู้และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนสาธิต สังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

พิชิต ฤทธิ์จรูญ. หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 5 – กรุงเทพฯซ เฮ้าส์ ออฟ เคอร์มิสท์, 2552.

พิธุลาวัณย์ ศุภอุทุมพร. การศึกษาการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการเรียนวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์กับคุณภาพชีวิตของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

รับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์กรมหาชน), สำนักงาน. [ออนไลน์]. 2009. คะแนนผลการทดสอบ O-NET. แหล่งที่มา: http://www.onesqa.or.th/onesqa/th/download/index.php?DownloadGroupID=121 [4 มกราคม 2556]

ละมัย วงคำแก้ว. [ออนไลน์]. 2554. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความสามารถในการวิเคราะห์ และความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ โดยใช้รูปแบบการสอนแบบสืบสอบความรู้ 5E ร่วมกับผังกราฟิก ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3. แหล่งที่มา: http://research.grad.snru.ac.th/UserFiles/File/บทความ%20อ_ละมัย%20%20วงคำแก้วPDf.pdf [6 กุมภาพันธ์ 2556]

เลขาธิการสภาการศึกษา, สำนักงาน. สภาวการณ์การศึกษาไทยในเวทีโลก พ.ศ. 2555. กรุงเทพฯ, 2555.

เลขาธิการสภาการศึกษา, สำนักงาน. [ออนไลน์]. 2553. แผนการศึกษาแห่งชาติ ฉบับปรับปรุง (พ.ศ. 2552-2559): ฉบับสรุป. แหล่งที่มา: http://www.kruchiangrai.net/wp-content/uploads/2012/11/แผนการศึกษาแห่งชาติ-ฉบับปรับปรุง-พ.ศ.-2552-2559.pdf [3 มกราคม 2556]

เลขาธิการสภาการศึกษา, สำนักงาน. การศึกษาในศตวรรษที่ 21 พระราชดำรัสสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ในพิธีเปิดการประชุมโต๊ะกลมไทย-สหรัฐอเมริกา ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: พริกหวานกราฟิก, 2552.

วิจารณ์ พานิช. [ออนไลน์]. 2555. วิถีสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ 21. แหล่งที่มา: http://www.noppawan.sskru.ac.th/data/learn_c21.pdf [4 มกราคม 2556]

วรรณา รุ่งลักษมีศรี. ผลการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น ในโรงเรียนสาธิต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชา หลักสูตร การสอน และเทคโนโลยีการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. [ออนไลน์]. 2551. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. แหล่งที่มา: http://www.curriculum51.net/upload/cur-51.pdf [4 กรกฎาคม 2553]

ส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. [ออนไลน์]. 2553. ผลการประเมิน PISA 2009 การอ่าน คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์: บทสรุปเพื่อการบริหาร. แหล่งที่มา: http://www.noppawan.sskru.ac.th/data/learn_c21.pdf [4 มกราคม 2556]

สมบูรณ์ รัตนบุญศรี. ผลของการใช้รูปแบบวงจรการเรียนรู้ TSOI ที่มีต่อมโนทัศน์เรื่อง พันธะเคมีและความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชา หลักสูตร การสอน และเทคโนโลยีการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ภาษาอังกฤษ

AGC/United learning. How to prepare a science fair project [Online] 1998. Available from: http://cmase.uark.edu/student/NWARSEF/NWARSEF09/ howtoprepareproject.pdf [2012, December 15]

Academic of Education Development (AED). Introduction to data analysis handbook [Online]. 2006. Available from: http://www.ece.aed.org/publications/mshs/ dataanalysis/WebDataAnalysis.pdf [2012, November 9]

Ae-Hwa. K. et al. Journal of Learning Disabilities. Graphic Organizers and Their Effect on the Reading Comprehension of Student with LD: A Synthesis of research. Hammill Institution on Disability [Online]. 2010. Available from: http://ldx. sagepub.com [2010, JULY 23]

Alberta. Focus on inquiry [Online]. 2004. Available from: http://education. alberta.ca/media/313361/focusoninquiry.pdf [2012, December 15]

Amer, A. Analytical Thinking [Online]. 2005. Available from: http://www.pathways. cu.edu.eg/subpages/training_courses/C10-1%20Analytical%20Thinking.pdf [2010, June 9]

Asan, A., and Haliloglu, Z. Implementing Project Based Learning in computer classroom. The Turkish Online Journal of Educational Technology. Vol. 4. Issue 3. Article 10. [Online]. 2005. Available from: http://www.tojet.net/ articles/v4i3/4310.pdf [2012, December 15]

Ausnda, P. A. and Hill, R. B. Critical Features of Engineering Design in Technology Education [Online]. 2007. Available from: http://scholar.lib.vt.edu [2012, December 15]

Authenticity Consulting. How to define project "success" [Online]. 1998. Available from: http://managementhelp.org/misc/defining-success.pdf [2012, December 7]

Baccarini, D., and Collins, A. A concept of project success [Online]. 1999. Available from: http://cms.3rdgen.info/3rdgen_sites/107/resource/04%20SM2%20 Baccarini.pdf 2012, [December 15]

Bay Area Science and Engineering Fair (BASEF). Science Success: Student Workbook [Online]. 2004. Available from: http://www.basef.net/sites/default/files/ Science%20Success%20Student%202010.pdf [2012, December 15]

Bell, S. Project based learning to the 21st century: skills for the future [Online]. 2010. Available from: http://teacherscollegesj.edu/docs/47-PBLforthe21 Century _1226201292135.pdf [2012, December 15]

Bers, M.U. Identity construction environment: developing personal and moral value through the design of virtual city [Online]. (2001). Available from: http://ase.tufts.edu/devtech/publications/ice-values-design.pdf [2012, December 15]

Bhat, V.D. Experiential learning: a handout for teacher educators [Online]. 2001. Available from: http://wikieducator.org/images/b/b5/EXPERIENTIAL_LEARNING.pdf [2012, December 15]

Bloom, B. S. Taxonomy of educational objectives Handbook I: Cognitive Domain. New York: Mckay, 1956.

Bowman, S.L. Nifty notes: Involving learners with Graphic Organizers [Online]. (2005). Available from: http://www.bowperson.com/BOWPERSON/NiftyNotes.pdf [2012, December 15]

Cakir. Constructivist approach to learning in science and their implications for science pedagogy: A literature Review [Online]. 2008. Available from: http://www.ijese.com/IJESE_v3n4_Cakir.pdf [2012, December 15]

Callaos, N. The Essence of Engineering and Meta-Engineering: a work in process [Online]. 2011. Available from: http://www.iiis.org/nagib-callaos/engineering-and-meta-engineering/engineering-and-metaengineering.pdf [2012, December 15]

Chanlin, I.J. Technology integrating applied to project based learning in science [Online]. 2008. Available from: http://plymouth21stcenturylearners.pbworks.com/f/Technology+integration+applied+to+project-based+learning+in+science.pdf [2012, December 15]

Cejka, E. and Roger, C. Inservice Teachers and the Engineering Design Process [Online]. 2005. Available from: http://soe.rutgers.edu/files/Inservice%20Teachers%20and%20the%20Engineering%20Design%20Process.pdf [2012, December 15]

Ciascai, L. Using graphic organizers in intercultural education [Online]. 2009. Available from: http://adn.teaching.ro/article_2_s1_3.pdf [2010, JUNE 30]

CK-12 Foundation. Engineering: An Introduction to High School [Online]. 2009. Available from: http://repository.habari.co.tz/ck12/ck12_engineering.pdf [2012, December 9]

Clow Elementary School. Science fair project guide for clow elementary school [Online]. 2005. Available from: http://clow.ipsd.org/documents/science_fair_guidelines_opt.pdf [2012, December 15]

Cogger, S.D. and Miley, D.H. Model Wind Turbine Design in a Project based middle school engineering curriculum built on state framework [Online]. 2012.

Available from: http://advances.asee.org/vol03/issue02/papers/aee-vol03-issue02-p07.pdf [2012, December 15]

Colley, K. Project Based Science Instruction: A Primer An introduction and learning cycle for implementing project based science [Online]. 2008. Available from: http://impact.utoledo.edu/docs/PBS%20Instruction%20A%20Primer.pdf [2012, December 15]

Cowden, P et al. How graphic organizers, dish detergent, water, electric beaters, boils, soap foam and a Professor … helped propectivce teaching Constructivism [Online]. 2009. Available from: http://www.jpacte.org/uploads/9/0/0/6/9006355/2009-1-cowden_et_al.pdf [2012, December 15]

Critical, Creative, and Practical Thinking. How can you improve your analytical thinking skills [Online]. 2012. Available from: http://catalogue.pearsoned.ca/assets/hip/ca/hip_ca_pearsonhighered/samplechapter/0132228491.pdf [2012, December 3]

Dye, G. A. Graphic organizers to the rescue! Helping student link and remember information [Online]. 2000. Available from: http://faculty.rcc.edu/brown/rcc/pdf/memory.pdf [2012, December 15]

Dym, C.L. et al. Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning (Online). 2005. Available from: http://digitalcommons.olin.edu [2012, December 15]

Dym, C.L. Engineering Design: So much to learn [Online]. 2006 Available from:http://citeseerx.ist.psu.edu/messages/downloadsexceeded.html [2012, December 15]

Demian, P. Theory and Practice of Project Based Learning in Built Environment Education: A CEBE Case study on Innovative Design Project Work [Online]. 2005. Available from: http://cebe.cf.ac.uk/learning/casestudies/case_pdf/PeterDemian.pdf [2012, December 15]

Doppelt, Y. Implementation and Assessment of Project Based Learning in a flexible environment. International Journal of Technology and Design Education. Vol. 13. P.2555-272. [Online]. 2003 Available from: http://cedu521-k-f07.pbworks.com/f/Implementation+and+Assessment+of+Project-Based+Learning+in+a+Flexible+Environment.pdf [2012, December 15]

Education Bureau, The government of the Hong Kong special administrative region The use of graphic organizers to enhance thinking skills in the learning of Eco nomics [Online]. 2003 Available from: http://www.edb.gov.hk/FileManager/EN/Common/pdf.gif [2010, JULY 14]

Eisenkraft. Engineering Design Challenges in a Science Curriculum [Online]. 2005. Available from: http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1162&context=ncete_publications [2012, December 15]

Ellis, E. Q&A: what's the big deal with graphic organizers? [Online]. 2004. Available from: http://mcs.monet.k12.ca.us/Academics/el712/Graphic%20Organizers/Q%20and%20A%20about%20G%20O.pdf

Ellis, E. and Howard, P. Graphic Organizers: Power Tools for teaching student with learning disability [Online]. 2005. Available from: http://www.hoover.k12.al.us [2012, December 15]

ElMadany, M., and Al-Bahakli, E. Engineering Design Education at King Saud University: An Overview [Online]. 2004. Available from: http://faculty.ksu.edu.sa/essam/Publications/Engineering%20Design%20Education%20at%20King%20Saud%20University-%20An.pdf [2012, June 24]

Elzinga, Salzer, and Willoughby. Califonia Department of Fish and Game project workplan detail checklist [Online]. 2008. Available from: http://www.dfg.ca.gov/Science/docs/Scientific-Workplan-Checklist.pdf [2012, December 15]

EPA. Science Fair Fun [Online]. 2010. Available from: http://www.epa.gov/osw/education/pdfs/sciencefair.pdf [2012, December 15]

Fan, C. and Westwell-Roper, C. Guide to completing your science fair project [Online]. 2010. Available from: http://ebookbrowse.com/amp-guide-to-completing-your-science-fair-project-pdf-d336495398. [2012, December 15]

Feigenson, N. and Sherwin, K. R. Thinking Beyond the Shown: Implicit Inferences in Evidence and Argument [Online]. 2007. Available from: http://tillers.net/feigenson-sherwin.pdf [2010, JULY 14]

Forehand, M. Bloom's taxonomy: Original and revised. In Orey, M. (Eds.), Emerging perspective on learning, teaching, and technology [Online]. 2005. Available from: http://textbookequity.com/oct/Textbooks/Orey_Emergin_Perspectives_Learning.pdf [2012, August 9]

Grant, M. M. Getting a grip on project-based learning: theory, cases and recommendations. [Online]**. 2002.** Available from: http://www.ncsu.edu/meridian/win2002/514/project-based.pdf [2012, December 15]

Gaston Regional Science and Engineering Fair (GRSEF). Standards-Based Instruction and Assessment Through STEM* Fair Projects [Online]. 2004. Available from: http://www.gaston.k12.nc.us/Students/GRSEF/Workshops/Standards%20Based%20Instruction%20and%20Assessment%20Through%20STEM%20Fair%20Projects%20-%20Teacher%20Handbook%202.pdf

[2012, December 15]

Glevey, K. Thinking Skills in England's National Curriculum [Online]. 2008. Available from: http://eprints.ioe.ac.uk/1323/1/TS_in_England%27s_NatCur.pdf [2012, October 8]

Gordon, A. and Bilem. Bringing the system approach to introductory engineering design [Online]. 2011. Available from: http://www.asee.org/documents/sections/middle-atlantic/spring-2011/Bringing-the-Systems-Approach-to-Introductory-Engineering-Design.pdf [2012, October 8]

Hall, T. and Strangman, N. Graphic Organizers [Online]. 2002. Available from: http://aim.cast.org/sites/aim.cast.org/files/NCACgo.pdf [2012, December 15]

Halubova, R. Effective teaching method – Project based learning in Physics. US-China Education Review [Online]. 2008. Available from: http://www.davidpublishing.com/davidpublishing/Upfile/7/24/2012/2012072404740103.pdf [2012, December 15]

Hangerman, C.L. EFFECTS OF THE 5E LEARNING CYCLE ON STUDENT CONTENT COMPREHENSION AND SCIENTIFIC LITERACY [Online]. 2012. Available from: http://etd.lib.montana.edu/etd/2012/hagerman/HagermanC0812.pdf [2012, December 15]

Haynes, M., et al. Infusing Engineering Design into High School STEM courses [Online]. 2011. Available from: http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1165&context=ncete_publications [2012, December 15]

Heer, R. A model of learning objective [Online]. 2012. Available from: http://www.celt.iastate.edu/pdfs-docs/teaching/RevisedBloomsHandout.pdf [2012, JULY 24]

Hellström, D. et al. Group assessment challenges in project-based learning – Perceptions from students in higher engineering courses [Online]. 2009. Available from: http://www.lth.se/fileadmin/lth/genombrottet/natutvkonferens2009/proceedings/46Hellstrom_etal.pdf [2010, JULY 24]

Heong, M. Y., et al. The level of Marzano Higher Order Thinking Skills among Technical Education Students [Online]. 2011. Available from: http://www.ijssh.org/papers/20-H009.pdf [2012, October 8]

Herron, S.S., Magomo, D., and Gossarnd, P. The wheel Garden: Project based learning for Cross Curriculum Education. International Journal of Human Social science. Vol. 3(1). [online]. 2008. Available from: www.waset.org/journals/ijhss/v3/v3-1-6.pd [2012, December 15]

Hiscock, P.D. Project-based-learning: outcomes, descriptors and design [Online]. 2011. Available from: http://www.syscompdesign.com/AppNotes/pbl.pdf [2012, December 15]

Hoffman, K.F. The Impact of Graphic Organizer and Metacognitive Monitoring Instruction on Expository Science Text Comprehension in Fifth Grade Students [Online]. 2010. Available from: http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/6198/1/etd.pdf [2012, December 15]

Holt, L. Elementary Science Fair Planning Guide [Online]. 2006. Available from: http://www.tfsd.k12.id.us/pe/sciencefairguide12.pdf [2012, December 15]

Holt Science and Technology. Science fair guide resource for student [Online]. 2006. Available from: http://go.hrw.com/resources/go_sc/hst/HSTGP221.PDF [2012, December 15]

Horran, P. A new and flexible graphic organizers for IS learning: the rich picture [Online]. 2002. Available from: http://www.informingscience.org/proceedings/IS2002Proceedings/papers/Horan133Newan.pdf [2012, December 15]

Hughes, C.A. and Macy, M.A. Research based strategies for special needs student-graphic organizers [Online]. 2008. Available from: http://www.psea.org/uploadedFiles/TeachingandLearning/Special%20Ed%20Graphic%20Organizers.pdf [2012, December 15]

Introduction Project Based Learning. Introduction to Project Based Learning [Online]. 2008. Available from: https://learn.instructure.com/courses/278381/files/.../download [2012, December 15]

Jones, G.A., et al. Student's individual and collective statistical thinking [Online]**. 1994** Available from: http://www.stat.auckland.ac.nz/~iase/publications/1/6a2_jone.pdf [2011, July 25]

Jordan, G., Prevette, S., and Woodward, S. The performance based management handbook: Analyzing, Reviewing, and Reporting performance data [online]. 2001. Available from: http://www.orau.gov/pbm/pbmhandbook/Volume%205.pdf [2012, October 9]

Kadavakollu. T. Using Wordwebs to Inculcate Higher Order Thinking Skills in Professional UG Class – A Case study [Online]. 20012. Available from: http://www.iiste.org/ [2012, December 15]

Kamou, N.E., Bousmah, M., and Aqqal, A. Virtual environment online for the project based learning session [Online]. 2011. Available from: http://www.cyber journals.com/Papers/Jan2011/19.pdf [2012, December 15]

Kelly, T.R. Examination of engineering design in curriculum content and assessment practice of technology education [Online]. 2008. Available from: http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1005&context=ncete_dissertations [2012, December 15]

Kelly, T.R. Introduction to project based learning [Online]. 2010. Available from: http://www.ntu.edu.vn/Portals/96/Tu%20lieu%20tham%20khao/Phuong%20phap%20giang%20day/introduction%20to%20project-based%20learning.pdf [2012, December 15]

Keppel, M., and Carless, D. Learning-oriented assessment: a technology-based case study [Online]. 2006. Available from: http://www.niu.edu/assessment/committees/CAN/PresentationsPapersArticles/Learningorientedassessment_atechnologybasedcasestudy.pdf [2012, December 15]

Khandani, S. Engineering Design Process [Online]. 2005. Available from: http://www.saylor.org/site/wp-content/uploads/2012/09/ME101-4.1-Engineering-Design-Process.pdf [2012, December 15]

Kim, K.M., and Lee, K.P. Two type of design approaches regarding industrial design and engineering design in product design [Online]. 2010. Available from: http://dpl.kaist.ac.kr/web_wiki/images/c/cd/Design2010-Kim.pdf [2012, October 8]

King, F.J., Goodson, L., and Rohani, F. Higher Order Thinking [Online]. 2011. Available from: http://www.cala.fsu.edu/files/higher_order_thinking_skills.pdf [2012, October 8]

Klein, I. J. et al. Project-Based Learning: Inspiring Middle School Student to Engage in Deep and Active Learning [Online]. 2009. Available from: http://schools.nyc.gov/documents/teachandlearn/project_basedFinal.pdf [2010, JULY 24]

Koen, B.V. Towards A Strategy for Teaching Engineering Design Engineering Education. 83 (3). Pp. 193-202. [Online]. 1994. Available from: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.1994.tb01104.x/abstract [2010, JULY 24]

Kopler, P. Don't just tell me; show me: using graphic organizers effective [Online]. 2009. Available from: http://www.vcu.edu/cte/resources/newsletters_archive/TP090607.pdf [2010, JULY 24]

Krawthwohl, D.R. A Revision of Bloom's Taxonomy: an overview [Online]. 2002. Available from: http://www.psychology.mcmaster.ca/bennett/psy720/readings/m1/m1r1.pdf [2012, June 13]

Kuen, C.W., Zailani, S., and Fernando, Y. Critical factors influencing the project success amongst manufacturing companies in Malaysia [Online]. 2008. Available from: http://www.academicjournals.org/ajbm/pdf/pdf2009/ Jan/Kuen%20et%20al.pdf [2012, December 15]

Kwok, J.F., et al. Applying Ontology in a Project based learning Environment [Online]. 2007. Available from: http://www.apsce.net/icce2008/contents/ proceeding_0551.pdf [2012, December 15]

Lantz. Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education. What Form? What Function? [Online]. 2009. Available from: http://www. currtechintegrations.com/pdf/STEMEducationArticle.pdf [2012, December 15]

Levin, I. and Lieberman, E. Developing analytical and synthetic thinking in technology education [Online]. 2000. Available from: http://muse.tau.ac.il/publications/ 75.pdf [2012, December 15]

Limbarch, B., and Waugh, W. Practical Before Assessment: Active Learning Strategies [Online]. 2008. Available from: www.cideronline.org/.../files/resource-815-1.doc [2012, July 25]

Loginov, D. Possibilities of modeling the creative part of engineering design process using the synergetic approach [Online]. 2011. Available from: http://www. naun.org/multimedia/NAUN/m3as/19-607.pdf [2012, July 25]

Luo, M. Structural Equation Modeling for High school Principals' Data-Driven Decision Making: An Analysis of Information Use Environment [Online]. 2008. Available from: http://www.emporia.edu/teach/ncate/documents/DDDMarticlein EAQ.pdf [2012, July 25]

Mahacek and Worker. Extending Science Education with engineering and technology and technology: junk drawer robotics curriculum [Online]. 2013. Available from: http://www.ca4h.org/files/130752.pdf [2012, June 25]

Mayer, R.E. Rote Versus Meaningful Learning [Online]. 2002. Available from: http:// www.jstor.org/stable/pdfplus/1477407.pdf?acceptTC=true [2012, June 25]

Mazzano and Kendall. Designg and Assessing educational Objectives: applying the new Taxonomy. Corwin Press. California, 2008.

McGrawth, D. Getting Started with Project-Based Learning. Learning & Leading with technology. Vol.30, No. 3. [Online]. 2002. Available from: http://www. schoolnet.org.za/conference/sessions/ks/pbl/PBL%20Learn%20More/getting-started-with-PBL.pdf [2012, December 15]

Mentzer, N. Engineering Design Thinking and Information Gathering Final Report [Online]. 2011. Available from: http://ncete.org/ [2012, December 15]

Mentzer, N. Academic Performance as a Predictor of Student Growth in Achievement and Motivation During and Engineering Design Challenge in Engineering and Technology Education [Online]. 2008. Available from: http://digitalcommons.usu.edu/ [2012, December 15]

Ministry of Education Malaysia. Project-Based Learning Handbook [Online]. 2006. Available from: http://www.moe.edu.my/btp/wp-content/uploads/2011/07/Project%20Based%20Learning%20Handbook/2%20-%20Project%20Based%20Learning%20Handbook.pdf [2012, December 15]

Montaku, S. Result of analytical thinking skills training through student in system analysis and design course [Online]. 2011. Available from: http://www.ietec-conference.com [2012, December 7]

Morris, P.W.G., Lampel, J., Jho, P.J., and Loch, I.C.A. A construct for project based learning: the PROBOL Model. Organizational learning and Knoledge: International coferrence. Vol.5. [Online]. 2003. Available from: http://www2.warwick.ac.uk/fac/soc/wbs/conf/olkc/archive/olk5/papers/paper40.pdf [2012, December 7]

Myer, K.M., Stephen, M.E., and Young, M. Student guide: How to do a science fair project [Online]. 2013. Available from: http://massscifair.org/documents/student_guide.pdf [2013, January 13]

Nicholas, F.S. The Implementation and Effectiveness use of Graphic Organizers in classroom: graphic organizers to rescue. [Online]. 2008. Available from: https://www.lynchburg.edu/sites/default/files/documents/GraduateStudies/Project%20on%20G%20O.pdf [2012, January 24]

Novak, J.D. Applied concept mapping: capturing, analyzing, and organizing knowledge [Online]. 2011. Available from: http://individual.utoronto.ca/mandel/cmap2011.pdf [2012, December 7]

OECD. PISA 2009 Results: Learning Trends [Online]. 2010. Available from: http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa_19963777 [2012, December 7]

OECD. PISA 2009 Results: What Students Know and Can Do [Online]. 2009. Available from: http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa_19963777 [2012, December 7]

Page Country School. Science Fair Project handbook [Online]. 2009. Available from: http://eclipse.pagecounty.k12.va.us/Handbooks_Policies/SciFairHandbook.pdf [2012, December 7]

Papert, S. and Harel, I. Situating Constructionism [Online]. 2002 Available from: http://web.media.mit.edu/~calla/web_comunidad/Reading-En/situating_

constructionism.pdf [2012, December 15]

Parkway Science Fair Committee. Science fair manual: Parkway school district [Online]. 2004. Available from: http://www.pkwy.k12.mo.us/homepage/jperez/File/ScienceFairManual.pdf [2012, December 15]

Passig, D. A Taxonomy of future higher thinking skills [Online]. 2003. Available from: http://www.mii.lt/informatics_in_education/pdf/INFE006.pdf [2012, November 8]

Patton and Robbin. Work that matters: the teacher's guide to project based learning [Online]. 2012. Available from: http://www.innovationunit.org/sites/default/files/Teacher%27s%20Guide%20to%20Project-based%20Learning.pdf [2012, December 15]

Polnick and Edmonson. Expanding Data Analysis Skills in Educational Learder: Implications for Preparation Programs [Online]. 2004. Available from: http://www.thefreelibrary.com/ [2012, December 15]

Price, E.A. An investigation of the use of graphic organizers coupled with a checklist to improve student response writing [Online]. 2008. Available from: http://ec.msvu.ca:8080/xmlui/bitstream/handle/10587/901/ElainePrice-MAED-2008.pdf?sequence=3 [2012, November 5]

Puteh, M., Ismail, K.M., and Mohammad, S. Project-based Engineering Design Education: A Malaysian Case. European Journal of Social Science, Vol 16, Issue 3. 2010, page 419-427.

Ravitz, J., et al. Online Professional Development for Project based learning: partway to systematic improvement. Association for Education Communication and Technology Challenges [Online]. 2004. Available from: http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED486531.pdf [2012, November 5]

Rich, D., et al. Getting Serious about Analytics: better insights better outcomes [Online]. 2010. Available from: http://www.umsl.edu/~sauterv/DSS/Accenture_Getting_Serious_About_Analytics.pdf [2012, November 7]

Robbins, J.K. Problem Solving Reasoning and Analytical thinking in classroom environment [Online]. 2011. Available from: http://www.baojournal.com/BAT%20Journal/VOL-12-1/A05.pdf [2012, November 7]

Robinson, H. D. and Kiewra, A. K. Visual Argument: Graphic Organizers Are Superior to Outlines in Improving Learning From Text [Online]. 1995. Available from: http://www.memory-key.com/taxonomy/term/416/sites/default/files/excerpt.pdf [2010, June 9]

Sadler, P.M., Coyle, H.P., and Schwartz, M. Engineering Competitions in the Middle School Classroom: Key Elements in Developing Effective Design Challenges [Online]. 2000. Available from: http://www.cfa.harvard.edu [2012, November 5]

Science Buddies. Teacher's Guide to Science Projects [Online]. 2007. Available from: http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/teachers-guide-to-science-projects.pdf [2012, November 5]

Science Buddies. Steps of the Scientific Method [Online]. 2008. Available from: http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/SciF_Project_Guide_Scientific_Method.pdf [2012, November 5]

Science World British Columbia. Science Fair Guide [Online]. 2007. Available from: http://web.uvic.ca/~virsf/SFG_web.pdf [2012, November 5]

Secondary National Strategy. Leading in learning: developing thinking skills in secondary school: Key Stage 4 Handbook for teachers [Online]. 2006. Available from: http://www.swtrainingschool.co.uk/www.swtrainingschool.co.uk/Leading_in_Learning_files/ks4%20guide%20for%20teachers.pdf [2012, November 7]

Sehacesaber. Graphic Organisers [Online]. 2011. Available from: http://www.sehacesaber.org/sehacesaber-admin/userfiles/file/90743_BEST_6.pdf [2012, November 7]

Seidel, S., and Aryeh, L. Project based and Experiental Learning in After-School Programming [Online]. 2002. Available from: http://www.pearweb.org/research/pdfs/3%20-%20project-based.pdf [2012, November 5]

Simond Science Fair Committee. Student handbook: Simonds' 8th annual science fair. [Online]. 2010. Available from: http://www.sjusd.org/schools/simonds/downloads/SFHandbook.pdf [2012, November 5]

Smith, T. Project based learning: changing the face of traditional education [Online] 2009. Available from: http://www.oercommons.org/community/changing-the-face-of-traditional-education-project-based-learning/view [2012, December 18]

Smith, P.C., and Wicklein, R.C. Essential Aspects and Related academic concepts of an Engineering Design Curriculum in Secondary Technology Education [Online]. 2007. Available from: http://ncete.org/flash/pdfs/Identifying_Essential_Smith--Wicklein_Yr2.pdf [2012, December 18]

Sneider. A possible pathway for high school science in a stem world [Online]. 2011. Available from: http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1171&context=ncete_publications [2012, December 18]

Stacey, T.R. The link between the design process in rock engineering and the code of practice to combat rock fail and rockburst accident [Online]. 2004. Available from: http://www.saimm.co.za/Journal/v104n01p029.pdf [2012, October 24]

Stager, G. Papertian constructionism and the design of productive context for learning [Online]. 2005. Available from: http://eurologo2005.oeiizk.waw.pl/PDF/E2005Stager.pdf [2012, December 18]

Swan. A constructivist model learning online [Online]. 2005. Available from: http://www.rcet.org/research/publications/constructivist_theory.pdf [2012, December 18]

Sylvia, M.R. The step in the engineering design process [Online]. 2012. Available from: http://www.wsanford.com/~wsanford/gr8ps/zz_old-files/red/mpv/unit.pdf [2012, December 18]

Thang Tran. A student's guide to the science fair [Online]. 2009. Available from: http://ul**tran**et.farmcove.school.nz/ [2012, December 18]

The National Academic Press (NAS). Engineering in K-12 Education: Understanding the Status and Improving the Prospects [Online]. 2009. Available from: http://www.staff.science.uu.nl [2012, December 18]

TIDEE. Engineering Design Process and Standards [Online]. 2010. Available from: http://www.eerc.wsu.edu [2012, December 15]

Tsai, P. and You, M. The implementation of Graphic Organizers for Introduction Activities of Graphic Design in Elementary school: an example of "my map book" [Online]. 2009. Available from: http://www.iasdr2009.org/ap/Papers [2012, December 15]

Turgut, H. Perspective Science teachers' conceptualization about project based learning. [Online]. 2008. Available from: http://www.e-iji.net/dosyalar/iji_2008_1_5.pdf [2012, December 15]

Utecht. J.R. Problem-Based Learning in the Student Centered Classroom [Online]. 2003. Available from: http://www.jeffutecht.com/docs/PBL.pdf [2012, December 15]

Van der westhuizen, D. and Fitzgerald, E.D. Defining and measuring project success [Online]. 2005. Available from: http://eprints.usq.edu.au/346/1/Dependent VariableArticleV8.pdf [2012, December 15]

Vekiri, I. What Is the Value of Graphical Displays in Learning? [Online]. 2002. Available from: http://www.springerlink.com/index/3nj6egb1b2wl1vql.pdf [2010, June 7]

Viola, S.R., Giretti, A., and Leo, T. Detecting Differences in “Meaningful Learning” Behaviours and their Evolution: A Data Driven Approach [Online]. 2007. Available from: http://www.ijcis.info/Vol5N2/Vol5N2PP63-73.pdf [2010, June 7]

V-Neun, J. Using the Engineering Design Process for Design of a competition Robot [Online]. 2010. Available from: http://people.clarkson.edu/~jcarroll/FIRST/Engineering_Design_Process_in_Competition_Robotics_-_PAPER.20091204.pdf [2012, October 24]

Walsh. The tutor in problem based learning: a novice’s guide [Online]. 2005. Available from: http://fhs.mcmaster.ca/facdev/documents/tutorPBL.pdf [2012, December 15]

Zaini, Makthar, and Niwawi. The effect of graphic organizers on student learning on school [Online]. 2010. Available from: http://www.mjet-meta.com/resources/2%20-%20V10N1%20-%20Syaza%20-%20GRAPHIC%20ORGANIZER%20-%20Online.pdf [2012, December 15]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้

รองศาสตราจารย์ ดร.ทัศนีย์ บุญเติม	ภาควิชามัธยมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา วัฒนะคีรี	ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ วิไลวรรณ แสนพาน	ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รองศาสตราจารย์ ดร. วรนุช แหยมแสง	ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รองศาสตราจารย์ ดร. โสภาพรรณ แสงศัพท์	คณะศึกษาศาสตร์ ภาคการศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบวัดความมีเหตุผล

รองศาสตราจารย์ ดร. โชติกา ภาษีผล	ภาควิชาวิจัยทางการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นคร ไพศาลกิตติสกุล	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ศรีสอาด	อาจารย์ประจำภาควิชาหลักสูตรและการสอน ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์

คำชี้แจง:

1. แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ฉบับนี้ เป็นแบบสอบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 25 ข้อ คะแนนเต็ม 25 คะแนน เวลาทั้งสิ้น 60 นาที
2. ให้นักเรียนเขียนชื่อ-นามสกุล ห้องเรียน และเลขที่ ให้ชัดเจนในกระดาษคำตอบ
3. ให้นักเรียนอ่านคำถามแล้วเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว โดยทำเครื่องหมาย X ให้ตรงกับข้อและอักษรในกระดาษคำตอบ
4. ให้นักเรียนส่งแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์และกระดาษคำตอบให้กรรมการคุมสอบเมื่อหมดเวลาของการสอบ

ชื่อ ..... ชั้น.....เลขที่.....

แบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์

จงพิจารณาตารางข้อมูลต่อไปนี้แล้วตอบคำถาม แล้วตอบคำถามข้อที่ 1-3

ตาราง ส่วนผสมเครื่องสำอางที่นักเรียนสามารถทำเองได้

	น้ำมันละหุ่ง (กรัม)	**ไขผึ้ง (กรัม)**	**ไขมันปาล์ม (กรัม)**	**สีผสมอาหาร (ช้อนชา)**	**สารแต่งรสชาติ (หยด)**
ลิปมัน	5	0.2	0.2	1	1
ลิปสติก	5	1	1	1	1

วิธีทำเครื่องสำอาง: อุ่นน้ำมันและไขในภาชนะที่แช่อยู่ในน้ำร้อน จนผสมเข้ากันดีจึงเติมสีผสมอาหารและสารแต่งรส จากนั้นคนให้เข้ากัน

ข้อที่ 1 ในการทำลิปมันและลิปสติก น้ำมันและไขถูกผสมเข้าด้วยกัน แล้วเติมสีผสมอาหารและสารแต่งรสชาติ แต่ลิปสติกที่ทำจากสูตรนี้แข็งเกินไปและใช้ยาก นักเรียนควรเปลี่ยนสัดส่วนของส่วนผสมอย่างไร เพื่อทำให้ลิปสติกอ่อนตัวลงกว่าเดิม

ก. ลดปริมาณน้ำมันละหุ่งลง
ข. ลดปริมาณไขผึ้งและไขมันปาล์ม
ค. อุ่นน้ำมันกับไขให้นานขึ้น
ง. เพิ่มปริมาณสารแต่งรส (การวิเคราะห์ความสัมพันธ์)

ข้อที่ 2 น้ำมันและไขเป็นสารที่ผสมกันได้อย่างดี แต่น้ำมันไม่สามารถผสมกับน้ำ และไขไม่สามารถละลายน้ำได้ ถ้านักเรียนใส่น้ำปริมาณมากลงไปในส่วนผสมของลิปสติกขณะกำลังอุ่น ข้อความใดน่าจะเกิดขึ้นมากที่สุด

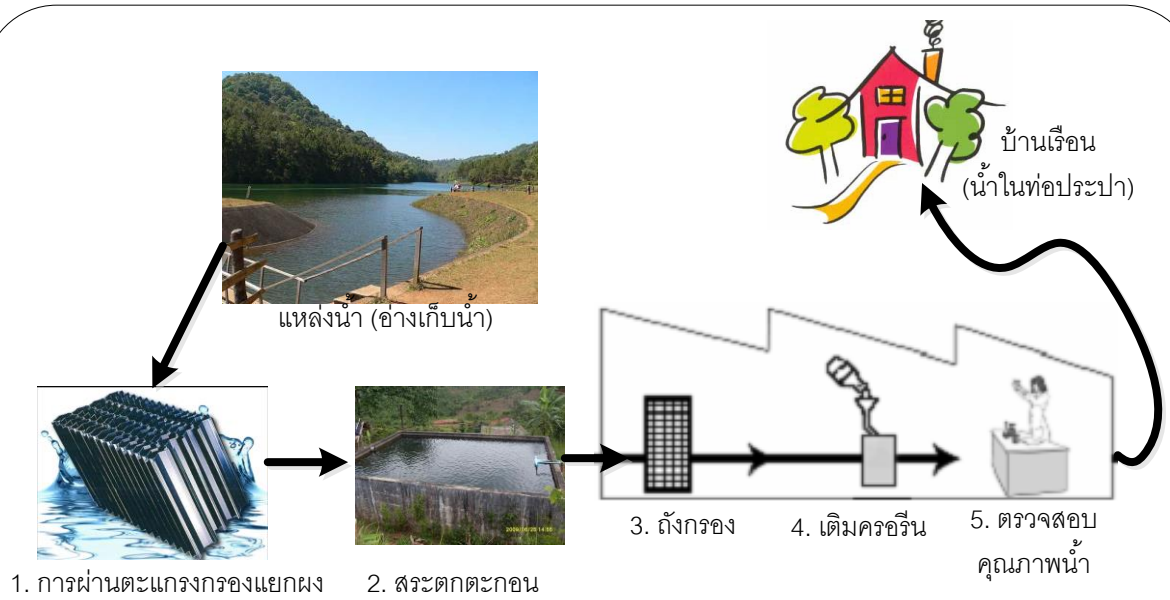
ก. ของผสมจับตัวกันแข็งและแน่นมากยิ่งขึ้น
ข. ของผสมมีความมันน้อยลงและอ่อนลงกว่าเดิม
ค. ของผสมไม่มีการเปลี่ยนแปลง
ง. มีก้อนไขมันลอยอยู่เหนือน้ำ (การวิเคราะห์องค์ประกอบ)

ข้อที่ 3 เมื่อเติมสารที่เรียกว่าอิมัลซิฟายเออร์ลงไปในส่วนผสมของลิปสติกและน้ำ จะสามารถทำให้น้ำมันและไขสามารถผสมกันได้ หลักการในข้อใดที่สามารถนำสบู่และน้ำมาลบลิปสติกออกได้

ก. น้ำมันมีอิมัลสิฟายเออร์ที่ทำให้สบู่และลิปมันผสมกันได้
ข. สบู่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ ทำให้น้ำกับลิปสติกผสมกันได้
ค. อิมัลซิฟายเออร์ในลิปสติกทำให้สบู่และน้ำผสมกันได้
ง. สบู่และลิปสติกผสมกันจนเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ผสมน้ำได้

(การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

จงพิจารณาแผนภาพต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามข้อที่ 4-6



แผนภาพขั้นตอนการทำน้ำใช้สำหรับบ้านเรือนในการดื่ม

ข้อที่ 4 การทำน้ำดื่มมีหลายขั้นตอน กระบวนการทำน้ำสะอาดตามแผนภาพข้างต้นมี 4 ขั้นตอน (1 ถึง 4) ในขั้นที่ 2 น้ำถูกเก็บในสระตกตะกอน นักเรียนคิดว่าน้ำที่ถูกเก็บในสระตกตะกอนจะถูกทำให้สะอาดได้อย่างไร

ก. แบคทีเรียในน้ำตาย
ข. ออกซิเจนถูกเติมลงในน้ำ
ค. กรวดและทรายจมลงสู่เบื้องล่าง
ง. สารพิษสลายตัวไป

(การวิเคราะห์องค์ประกอบ)

ข้อที่ 5 ถ้านักวิทยาศาสตร์ทดสอบน้ำในโรงงานทำน้ำประปาพบว่ายังมีแบคทีเรียอยู่ในน้ำหลังผ่านกระบวนการทำความสะอาดทั้งหมด ผู้ใช้น้ำควรทำอย่างไรก่อนที่จะสามารถดื่มน้ำนั้นได้

ก. ทำน้ำให้สะอาดโดยการใส่คลอรีนเพื่อฆ่าแบคทีเรีย
ข. กรองน้ำโดยใช้เครื่องกรองที่สามารถกำจัดแบคทีเรีย
ค. ต้มน้ำให้เดือดก่อนบริโภค
ง. สามารถทำได้ทุกข้อ (การวิเคราะห์ความสัมพันธ์)

ข้อที่ 6 หลักการในข้อใดแสดงถึงน้ำใต้ดินมีแบคทีเรียและมลพิษทางน้ำน้อยกว่าน้ำบนผิวดิน

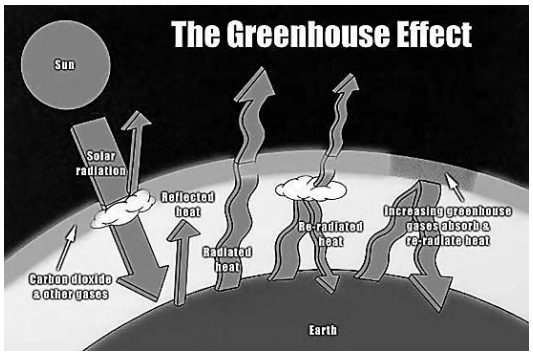
ก. น้ำใต้ดินมีการเคลื่อนที่อยู่เสมอ
ข. น้ำใต้ดินไม่ถูกรบกวนจึงไม่มีโคลนจากด้านล่างปะปน
ค. เมื่อน้ำซึมลงสู่ใต้ดิน จะถูกทำให้สะอาดด้วยการกรองทางธรรมชาติ
ง. น้ำใต้ดินมากจากการละลายของน้ำแข็งบนภูเขา

(การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วตอบคำถาม แล้วตอบคำถามข้อที่ 7-9

สิ่งมีชีวิตต้องการพลังงานในการดำรงชีวิต และพลังงานที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตบนโลกมาจากดวงอาทิตย์ แต่พลังงานที่มาถึงโลกมีสัดส่วนที่เล็กน้อยเท่านั้น

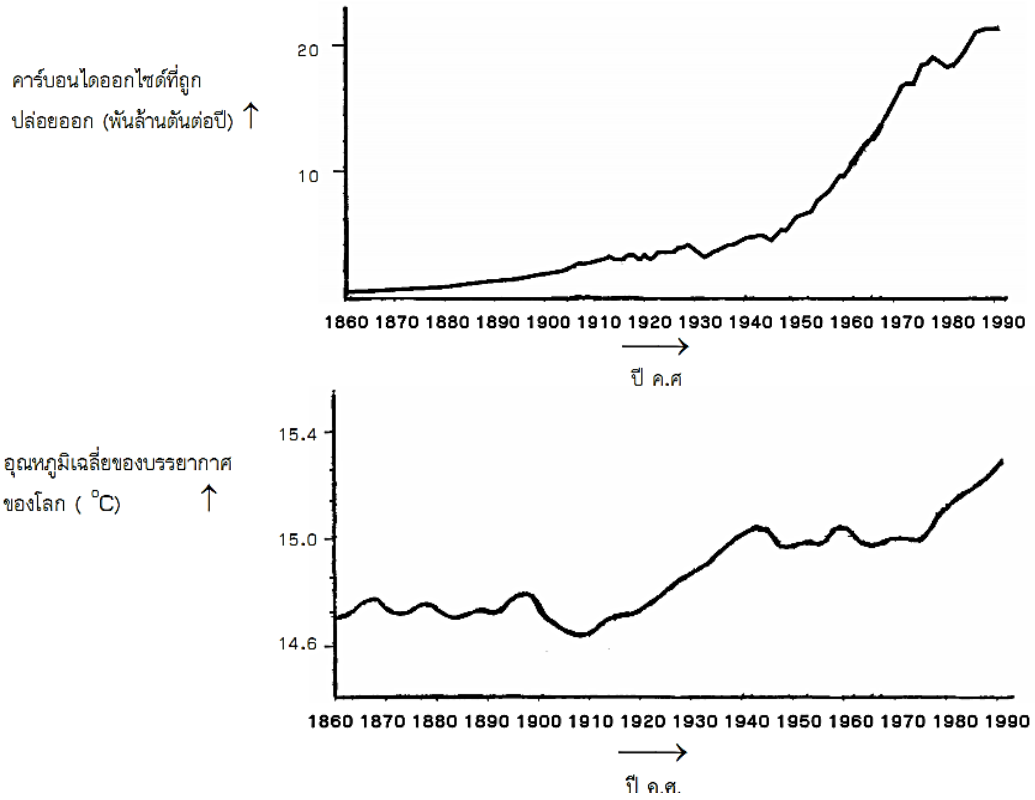
บรรยากาศของโลกทำตัวเสมือนผ้าห่มคลุมป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หากโลกไม่มีอากาศ



พลังงานที่แผ่จากดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะผ่านชั้นบรรยากาศของโลก โลกดูดซับพลังงานบางส่วนและสะท้อนพลังงานบางส่วนกลับโดยชั้นบรรยากาศ

หากไม่มีชั้นบรรยากาศ อุณหภูมิเฉลี่ยเหนือผิวโลกจะสูงกว่าปัจจุบัน ทำให้บรรยากาศของโลกเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นการที่อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของบรรยากาศของโลกได้เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้หนังสือพิมพ์และวารสารต่างๆ มักกล่าวว่าตัวการสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นคือ การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์

นักเรียนคนหนึ่งชื่อชูวิทย์ สนใจศึกษาความสัมพันธ์ที่อาจเป็นไปได้ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศของโลก กับ ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยมายังโลก พบกราฟ 2 รูปในห้องสมุด แล้วทำการสรุปข้อมูลจากกราฟว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศของโลกสูงขึ้น เพราะคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกมาสู่โลกเพิ่มมากขึ้น



ข้อที่ 7 ข้อมูลส่วนใดของกราฟที่สนับสนุนการสรุปของเด็กชายชูวิทย์

ก. กราฟแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ข. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ในรูปที่ 1) มีผลต่ออุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้น (ในรูปที่ 2)

ค. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

ง. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่มากขึ้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้น (การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

ข้อที่ 8 ถ้าเด็กชายอยู่บำรุง คิดว่าการสรุปของเด็กชายชูวิทย์ไม่มีข้อมูลเพียงพอ ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกด้วย นักเรียนคิดว่า<u>ปัจจัยใดที่**ไม่มี**ส่วนเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เรือนกระจก</u>

ก. ปริมาณของสาร CFC ที่ถูกปล่อยเพิ่มมากขึ้น

ข. ดวงอาทิตย์มีพลังงานความร้อนมากขึ้น

ค. ปริมาณรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้น

ง. รอยรั่วของชั้นโอโซนมีขนาดใหญ่ขึ้น (การวิเคราะห์ความสัมพันธ์)

ข้อที่ 9 ถ้าเด็กชายอยู่บำรุงเปรียบเทียบกราฟทั้งสองแล้วพบว่า มีกราฟบางส่วนที่ไม่สนับสนุนข้อสรุปของเด็กชายชูวิทย์ กราฟในข้อใดที่ไม่สนับสนุนข้อสรุปของเด็กชายชูวิทย์

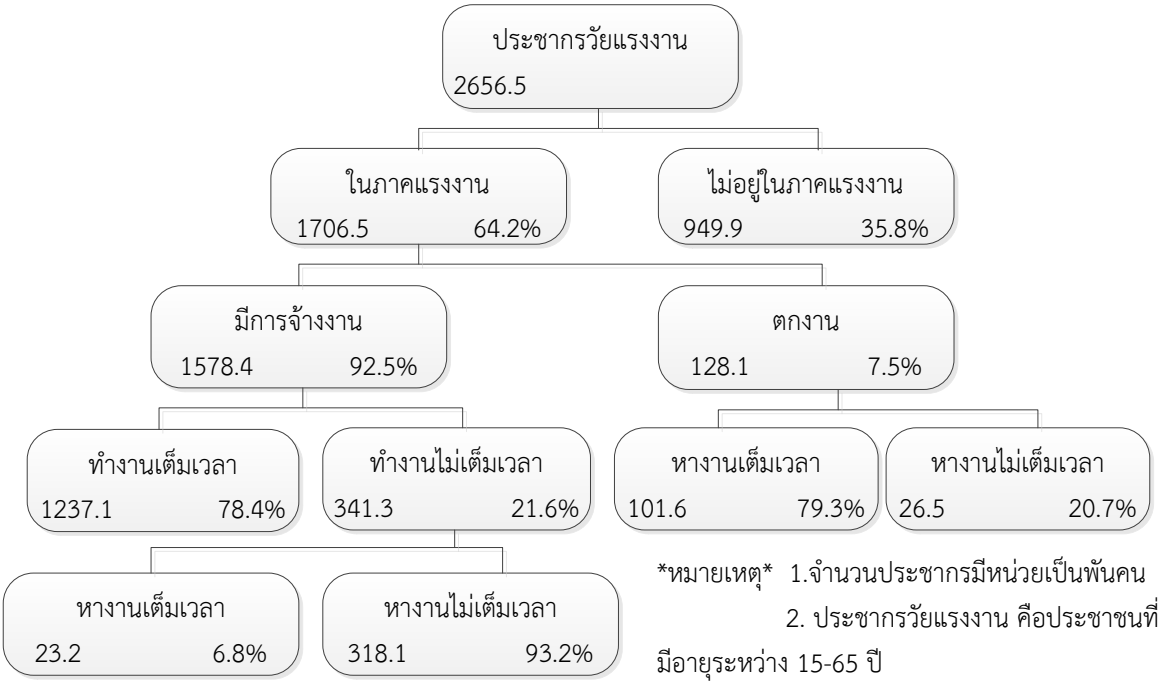
ก. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณมากขึ้นในปี ค.ศ. 1900-1910 แต่อุณหภูมิช่วงนั้นลดลง

ข. คาร์บอนไดออกไซด์ในปี ค.ศ. 1980-1983 ลดลง แต่อุณหภูมิสูงขึ้น

ค. อุณหภูมิระหว่างปี ค.ศ. 1950 ถึงปี 1980 ไม่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น

ง. ถูกทุกข้อ (การวิเคราะห์องค์ประกอบ)

จงพิจารณาแผนผังต่อไปนี้แล้วตอบคำถาม แล้วตอบคำถามข้อที่ 10-12



แผนผังโครงสร้างแรงงานประชากรวัยแรงงานของประเทศ ในปี พ.ศ. 2538

ข้อที่ 10 การแบ่งกลุ่มประชากรวัยแรงงานหลัก สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามข้อใด

ก. มีการจ้างงานและตกงาน

ข. วัยทำงานและไม่ใช่วัยทำงาน

ค. ทำงานเต็มเวลาและไม่เต็มเวลา

ง. ในภาคแรงงานและไม่อยู่ในภาคแรงงาน (การวิเคราะห์องค์ประกอบ)

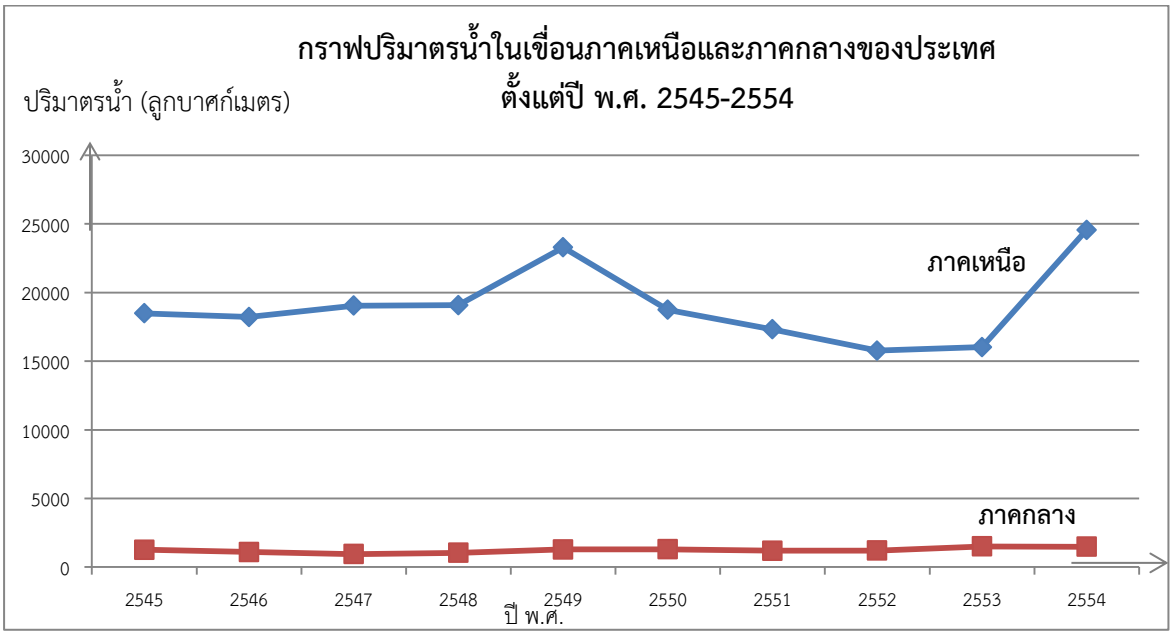
ข้อที่ 11 ชายอายุ 28 ปี เพิ่งขายกิจการและกำลังหางานทำ ควรจัดอยู่ในกลุ่มใดของแผนภูมิแรงงาน

ก. ภาคแรงงาน: มีการจ้างงาน
ข. ภาคแรงงาน: ตกงาน
ค. ไม่อยู่ในภาคแรงงาน
ง. ไม่อยู่ในกลุ่มใดๆ (การวิเคราะห์ความสัมพันธ์)

ข้อที่ 12 ถ้ามีการเสนอข้อมูลเกี่ยวกับแรงงานในรูปของแผนผังดังตัวอย่าง โดยจัดทำข้อมูลทุกปี นักเรียนคิดว่าลักษณะของส่วนประกอบใดในแผนภูมิ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปทุกปี

ก. จำนวนประชากร (เช่น 2656.5)
ข. จำนวนร้อยละของประชากร (เช่น 64.2%)
ค. ข้อความในแต่ละช่อง (เช่น ในภาคแรงงาน)
ง. ไม่มีข้อใดถูกต้อง (การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

จงพิจารณาแผนผังต่อไปนี้แล้วตอบคำถาม



ข้อที่ 13 ข้อมูลในข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. ปริมาตรน้ำในเขื่อนภาคเหนือและภาคกลางมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
ข. ปริมาตรน้ำปริมาตรในเขื่อนภาคเหนือสัมพันธ์กับปริมาตรน้ำในเขื่อนภาคกลาง
ค. ปริมาตรน้ำในเขื่อนภาคกลางส่งผลต่อการเพิ่มปริมาตรของน้ำในเขื่อนภาคเหนือ
ง. ปริมาตรน้ำในเขื่อนภาคกลางมีปริมาตรใกล้เคียงกัน

(การวิเคราะห์ความสัมพันธ์)

จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามข้อที่ 14-15

เนื่องจากเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้ประเทศไทยรับเทคโนโลยีจากต่างชาติเข้ามาเป็นจำนวนมาก ผลที่ตามมาคือ ขยะ โดยเฉพาะขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่มีวิธีในการกำจัดขยะ หรืออาจกล่าวให้ถูกต้องคือ ประเทศไทยยังไม่ให้ความสำคัญในเรื่องนี้ จึงเป็นที่มาให้ นางสาวมารียาท สนใจประดิษฐ์สิ่งของจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ เช่น นาฬิกาจากแผ่นซีดี กรอบรูปจากแผ่นฟลอปปี้ดิสก์ เป็นต้น ซึ่งนางสาวมารียาทเห็นว่าการนำขยะเหล่านี้มาสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ประโยชน์และนำมาตกแต่งภายในบ้านหรือสำนักงานน่าจะมีประโยชน์มากกว่าการปล่อยทิ้งไว้แล้วไม่มีวิธีการกำจัด ทั้งยังเป็นการใช้เวลาว่างให้เป็นประโยชน์อีกด้วย

ข้อที่ 14 จากบทความข้างต้นกล่าวถึงข้อความในประเด็นใดต่อไปนี้

1. ประเทศไทยยังไม่ให้ความสำคัญกับการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์
2. ขยะอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
3. ปริมาณการใช้เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับปริมาณขยะ

ก. 1 และ 2 ข. 2 และ 3

ค. 1 และ 3 ง. 1 2 และ 3 (การวิเคราะห์องค์ประกอบ)

ข้อที่ 15 ข้อใด<u>ไม่ใช่สา</u>เหตุที่ทำให้ปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยสูงขึ้น

ก. ประเทศไทยยังไม่มีระบบการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ดี

ข. ประเทศไทยยังขาดความรู้ความเข้าใจในการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์

ค. ประเทศไทยยังไม่ให้ความสนใจในการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์เท่าที่ควร

ง. ไม่มีข้อใดถูกต้อง (การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

จงพิจารณาบทความต่อไปนี้แล้วตอบคำถาม ข้อที่ 16-17

ดร.ฟรีแมนระบุว่า “ไม่มีหลักฐานทางการแพทย์ยืนยันว่าคนเราต้องดื่นน้ำเปล่าอย่างน้อยวันละ 8 แก้ว” คาดว่าเป็นความเชื่อที่มาจากสภาโภชนาการของสหรัฐฯ เมื่อปี พ.ศ. 2548 ที่แนะนำให้ประชาชนบริโภคของเหลววันละ 8 แก้ว ต่อมาภายหลังคำว่า “ของเหลว” จำกัดอยู่เฉพาะแค่ “น้ำเปล่า” ซึ่งไม่ได้หมายรวมถึง น้ำผัก น้ำผลไม้ กาแฟ หรือว่าของเหลวอื่นๆ

อีกหนึ่งสาเหตุความเชื่อน่าจะมาจากแฟรเดอริค สแทร์ (Frederick stare) โภชนากรที่แนะนำให้ดื่มเครื่องดื่มวันละ 6-8 แก้ว ครอบคลุมทั้งน้ำเปล่า ชา กาแฟ นม และเครื่องดื่มอื่นๆ ต่อมาการแนะนำนี้ปราศจากข้อมูลอ้างอิงทำให้ข้อมูลของสแทร์ถูกหักล้างด้วยข้อมูลของไฮนซ์ วาลติน (Heinz Valtin) รายงานไว้ในวารสารอเมริกันเจอร์นัลออฟฟิสิโอโลจี (American Journal of Physiology) ที่ว่าการบริโภคนม น้ำผลไม้ หรือเครื่องดื่มอื่นๆ เป็นประจำในแต่ละวัน ร่างกายก็ได้รับของเหลวเพียงพอต่อความต้องการแล้ว ในทางตรงข้ามการดื่มน้ำมากเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายเมื่อเกิดภาวะสารน้ำในร่างกายมากผิดปกติจนเกิดเป็นพิษ หรือที่เรียกว่า “น้ำเป็นพิษ” (Water intoxication)

ข้อที่ 14 จากบทความข้างต้น ข้อใดต่อไปนี้<u>ไม่ถูกต้อง</u>

ก. ควรบริโภคของเหลววันละ 8 แก้ว ซึ่งรวมน้ำผัก ผลไม้ กาแฟ และอื่นๆ
ข. ควรดื่มน้ำมากกว่า 8 แก้ว เพราะไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนถึงอันตราย
ค. ของเหลวหรือเครื่องดื่มไม่ได้จำกัดเฉพาะแค่ “น้ำเปล่า” เท่านั้น
ง. ดื่มน้ำมากเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อร่างกาย (การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

ข้อที่ 15 จากข้อความในข้างต้น ข้อใดกล่าวถูกต้อง

1. ควรดื่มน้ำเปล่าวันละ 6-8 แก้ว สำหรับคนที่ไม่ได้ดื่มเครื่องดื่มอื่นๆ เป็นประจำ
2. ควรดื่มน้ำเปล่าหรือเครื่องดื่มอื่นๆ ให้ได้ปริมาณ 6-8 แก้ว เป็นประจำ
3. ควรดื่มน้ำเปล่าวันละ 6-8 แก้ว และเครื่องดื่มอื่นๆ วันละ 6-8 แก้ว เป็นประจำ

ก. 1 และ 2 ข. 2 และ 3
ค. 1 และ 3 ง. ถูกทุกข้อ
(การวิเคราะห์ความสัมพันธ์)

จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วตอบคำถาม แล้วตอบคำถามข้อที่ 16

เด็กหญิงจูดี้อ่านหนังสือพบว่า ถ้านำศพที่พึงเสียชีวิตไปฝัง เมื่อเวลาผ่านไปหลังจากเสียชีวิต 3 วัน ผมและเล็บจะงอกออกมาใหม่ได้ ทำให้เด็กหญิงจูดี้เชื่อตามหนังสือและเล่าให้เด็กชายมารวยฟัง แต่เด็กชายมารวยไม่ปักใจเชื่อ จึงบอกให้เด็กหญิงจูดี้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ผมและเล็บงอกออกมาด้วย

ข้อที่ 16 จากบทความข้างต้น เด็กชายมารวยบอกให้เด็กหญิงจูดี้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการงอกของผมและเล็บหลังเสียชีวิต นักเรียนคิดว่า ปัจจัยข้อใดที่**ไม่สนับสนุน**ข้อความที่ว่า “เมื่อคนเราตายแล้วผมและเล็บจะสามารถงอกใหม่ได้”

ก. เมื่อผิวหนังแห้งและหดตัวลงจะทำให้เล็บดูยาวขึ้น
ข. ฮอร์โมนที่ทำหน้าที่กระตุ้นผมกับเล็บหลังคนตายจะหยุดทำงาน
ค. การสังเกตผิวหนังหดตัวสามารถทำได้ยากกว่าการสังเกตเล็บที่ยาวขึ้น
ง. ถูกทุกข้อ (การวิเคราะห์ความสัมพันธ์)

จงพิจารณาบทความต่อไปนี้แล้วตอบคำถามข้อที่ 17-18

การใช้บรรจุภัณฑ์โฟมพลาสติกในปัจจุบันก่อเกิดปัญหาขยะและมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้

เด็กชายมุจจี้จึงศึกษาและพัฒนาการทำโฟมจากแป้งมันสำปะหลัง โดยนำแป้งมันสำปะหลังไปผสมน้ำ ไฟเบอร์จากเยื่อคราฟท์และไคโตแซน จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จะทำให้แป้งเกิดการพองตัวเนื่องจากฟองอากาศในเจลแป้งมัน ทำให้มีลักษณะคล้ายโฟมทั่วไปที่มีอากาศอยู่ภายในพลาสติก

จากการทดสอบพบว่าถาดโฟมแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักเบา แข็งแรงและยืดหยุ่นใกล้เคียงกับโฟมทั่วไป แต่มีค่าการดูดซับน้ำและละลายน้ำสูงกว่า จึงสามารถบรรจุอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่แห้งได้เท่านั้น ไม่สามารถใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหรือความชื้นสูงได้

ข้อที่ 17 หากนักเรียนต้องการทดสอบการพัฒนาโฟมแป้งมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับโฟมทั่วไปควรพิจารณาในประเด็นใด เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินคุณภาพ

1. ความแข็งแรงทนทาน
2. การทนความร้อน
3. ระยะเวลาในการย่อยสลาย
4. น้ำหนัก
5. ลักษณะของอาหารที่สามารถบรรจุได้ (การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

ก. 1 2 3 และ 4 ข. 1 3 4 และ 5
ค. 2 3 4 และ 5 ง. 1 2 3 4 และ 5

ข้อที่ 18 ถ้านักเรียนต้องการพัฒนาโฟมแป้งมันสำปะหลังให้สามารถบรรจุผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่มีน้ำหรือมีความชื้นสูงได้ควรทำตามข้อใด (การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

1. เคลือบโฟมด้วยสารที่มีคุณสมบัติกันน้ำ
2. เปลี่ยนแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่ได้จากสารชีวภาพอย่างอื่น
3. เติมสารเติมแต่งระหว่างการผลิตโฟมให้ดูดซับน้ำและละลายน้ำได้น้อยลง

ก. 1 และ 2 ข. 2 และ 3
ค. 1 และ 3 ง. 1 2 และ 3

จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วตอบคำถามข้อที่ 19-20

"**การวางโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ไว้บนตักอาจทำให้คุณผู้ชายเป็นหมันไม่รู้ตัว**" ข่าวนี้สร้างความหวาดหวั่นให้กับผู้ชายทั่วโลก โดยเฉพาะหนุ่มๆ ในวัยเจริญพันธุ์ ที่ชอบวางโน๊ตบุ๊กไว้บนตักวันละหลายๆ ชั่วโมง ร่างกายของคนมีอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เหมาะต่อการสร้างและเก็บรักษาเซลล์อสุจิ เพราะมีอุณหภูมิสูงเกินไป "อัณฑะ" จึงเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่ผลิตเชื้ออสุจิและสามารถเคลื่อนออกไปนอกช่องท้อง เพื่อลดอุณหภูมิลงให้เหมาะสมต่อการสร้างเชื้ออสุจิ ด้วยเหตุนี้ผู้ชายจึงมีอวัยวะเพศและอัณฑะห้อยโตงเตงอยู่ระหว่างขา ถูกห่อหุ้มอยู่ด้วย "ถุงหุ้มอัณฑะ" ซึ่งคอยปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมอยู่เสมอ หากร้อนเกินไปถุงจะคลายตัวเพื่อระบายความร้อน หากเย็นเกินไปถุงจะหดตัวเพื่อให้อบอุ่นขึ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสร้างเชื้ออสุจิของคนอยู่ที่ ประมาณ 35 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกายประมาณ 2 องศาเซลเซียส

เมื่ออสุจิได้รับความร้อนจากโน๊ตบุ๊ค จะทำให้เกิดความเครียด (oxidative stress: เกิดจากความไม่สมดุลของเมตาบอลิซึมในเซลล์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระสะสม) เคลื่อนที่ได้ช้าลง และมีความสามารถในการปฏิสนธิลดลง **กล่าวคือ เชื้ออสุจิอยู่ในภาวะ "ช๊อก" ซึ่งภาวะนี้จะคงอยู่นานถึง 2-4 สัปดาห์** ในช่วงเวลานี้ หากปล่อยเชื้ออสุจิที่กำลังอ่อนแอออกไปเผชิญชะตากรรมภายนอก ก็ยากที่เหล่าอสุจิจะประสบความสำเร็จได้ ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการวางโน๊ตบุ๊คไว้บนตักเป็นเวลานานๆ

ข้อที่ 19 จากบทความในข้างต้นเกี่ยวกับ "**การวางโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ไว้บนตักอาจทำให้คุณผู้ชายเป็นหมันไม่รู้ตัว**" เป็นไปตามข้อใด

ก. ไม่สามารถทำให้เป็นหมั่นได้ เพียงแต่ทำให้อสุจิอ่อนแอบางช่วงเวลาหนึ่ง
ข. ไม่สามารถทำให้เป็นหมั่นได้ เพราะมีนวัตรกรรมทำให้โน๊ตบุ๊คคลายความร้อนดีขึ้น
ค. สามารถทำให้เป็นหมั่นได้ ถ้าวางบนตักจนเป็นนิสัยอาจทำให้อสุจิไม่แข็งแรงถาวร
ง. สามารถเป็นหมั่นได้ เพราะทำให้เมตาบอลิซึมในเซลล์เกิดเปลี่ยนแปลง

(การวิเคราะห์องค์ประกอบ)

ข้อที่ 20 จากบทความในข้างต้น สาเหตุที่ทำให้อสุจิเกิดภาวะเครียดหรือ "ช๊อก" เป็นไปตามข้อใด

ก. วิถีชีวิตสมัยใหม่นิยมใช้เทคโนโลยีจนติดเป็นนิสัย
ข. อุณหภูมิที่สูงเกินไปจากอุณหภูมิของร่างกาย
ค. การวางโน๊ตบุ๊คบนตักแล้วนั่งท่าเดิมเป็นเวลานาน
ง. ถูกทุกข้อ

(การวิเคราะห์เชิงหลักการ)

แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง

- แบบประเมินฉบับนี้สร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ภายหลังการทำโครงงานวิทยาศาสตร์แล้วเสร็จของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบรายงานผลการประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

- แบบรายงานผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ เป็นการรายงานผลความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่ม ซึ่งคะแนนที่ระบุไว้ในแบบรายงานผลนี้มาจากการสังเกตแล้วประเมินนักเรียนตามรายการประเมินที่กำหนดทั้งหมด 12 รายการ

ส่วนที่ 2 เกณฑ์การประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

- เกณฑ์การประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์นี้เป็นเกณฑ์ระดับคะแนนแบบแยกประเด็น (analytic rubric) มีระดับคะแนน 3 ระดับ ประเมินหลังทำโครงงานวิทยาศาสตร์เสร็จผ่านการเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก โดยจำแนกเป็น 12 รายการ และกำหนดระดับคะแนนแต่ละรายการเป็น 3 ระดับ ดังนั้นคะแนนของการทำโครงงานวิทยาศาสตร์จึงอยู่ระหว่าง 12-36 คะแนน จากนั้นนำผลคะแนนรวมที่ได้แปลผลเป็นระดับความสามารถในส่วนของความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

- เกณฑ์ในการแปลผลระดับความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ในส่วนของผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ตามการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ซึ่งแบ่งเกณฑ์ออกเป็น 3 ระดับ

ช่วงคะแนน	ระดับความสามารถ
29-36	ความสามารถระดับดีมาก
21-28	ความสามารถระดับดี
13-20	ความสามารถระดับควรปรับปรุง

ส่วนที่ 1 แบบรายงานผลการประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

กลุ่มที่ ..... โครงงานวิทยาศาสตร์เรื่อง .....
ประเมินวันที่ .....

รายการประเมิน	ผลการประเมิน			ข้อสังเกต
	3	2	1	
1. การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์				
2. การระบุตัวแปร				
3. การสืบค้นข้อมูล				
4. การตั้งสมมติฐาน				
5. การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์				
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน				
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล				
8. การแปลผลข้อมูล				
9. การสรุปและอภิปรายผล				
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์				
11. การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์				
12. คุณภาพของผลงาน				

รวมคะแนน ..... คะแนน

ระดับความสามารถ ❑ ดีมาก ❑ ดี ❑ ควรปรับปรุง

ลงชื่อ ..... (ผู้ประเมิน)

ส่วนที่ 2 เกณฑ์การประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 20 เกณฑ์การประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน	ระดับคะแนน
1. การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์	
- ระบุคำถามโครงงานที่ชัดเจน และแสดงถึงสิ่งที่ต้องการทราบคำตอบอย่างสร้างสรรค์	3
- ระบุคำถามโครงงานยังไม่ชัดเจน แต่แสดงถึงสิ่งที่ต้องการทราบคำตอบอย่างสร้างสรรค์	2
- ระบุคำถามโครงงานไม่ชัดเจน และไม่สร้างสรรค์	1
2. การระบุตัวแปร	
- ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้อย่างถูกต้อง ชัดเจน และครบทุกประเภทของตัวแปร	3
- ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้อย่างถูกต้อง ชัดเจนแต่ครบทุกประเภทของตัวแปร	2
- ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมไม่ถูกต้องและไม่ครบทุกประเภทของตัวแปร	1
3. การสืบค้นข้อมูล	
- สืบค้นได้สอดคล้อง และครอบคลุมในประเด็นที่ต้องการศึกษา	3
- สืบค้นได้สอดคล้องกับปัญหาโครงงาน แต่ยังไม่ครอบคลุม	2
- สืบค้นข้อมูลไม่สอดคล้อง และไม่ครอบคลุม	1
4. การตั้งสมมติฐาน	
- ตั้งสมมติฐานที่แสดงถึงประเภทของตัวแปรได้อย่างถูกต้อง ชัดเจน และสอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงานวิทยาศาสตร์	3
- ตั้งสมมติฐานที่แสดงถึงประเภทของตัวแปรได้อย่างถูกต้อง แต่ไม่สอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงานวิทยาศาสตร์ที่ต้องการศึกษา	2
- สมมติฐานที่ตั้งไม่แสดงถึงตัวแปรแต่ละประเภท และไม่สอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงานวิทยาศาสตร์ที่ต้องการศึกษา	1

ตารางที่ 20 เกณฑ์การประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน	ระดับคะแนน
5. การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์	
- กำหนดวัตถุประสงค์ ขั้นตอนหรือวิธีการทำโครงงานอย่างเป็นลำดับ สื่อความหมายให้เข้าใจง่ายในประเด็นที่ต้องการปฏิบัติ และสอดคล้องกับหัวข้อโครงงาน	3
- กำหนดวัตถุประสงค์ ขั้นตอนหรือวิธีการทำโครงงานอย่างเป็นลำดับ แต่ไม่สื่อความหมายในประเด็นที่ต้องการปฏิบัติ	2
- กำหนดวัตถุประสงค์ ขั้นตอนหรือวิธีการทำโครงงานไม่เป็นลำดับขั้นตอน ไม่สื่อความหมาย	1
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน	
- ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ทุกขั้นตอนในการดำเนินการทำโครงงาน และปฏิบัติตามแผนการดำเนินที่กำหนดให้ครบถ้วนทุกขั้นตอนและบันทึกข้อมูล	3
- ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์บางขั้นตอนในการดำเนินการทำโครงงาน และปฏิบัติตามแผนการดำเนินที่กำหนดให้ครบถ้วนทุกขั้นตอนและบันทึกข้อมูล	2
- ไม่ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการทำโครงงาน และไม่ปฏิบัติตามแผนการดำเนินที่กำหนด	1
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล	
- มีการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมด้วยผังกราฟิกและใช้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง	3
- มีการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมด้วยผังกราฟิกที่เหมาะสม แต่ไม่ถูกต้องตามหลักการสร้างผังกราฟิก	2
- ไม่มีการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมด้วยผังกราฟิก	1
8. การแปลผลข้อมูล	
- แปลผลข้อมูลได้สอดคล้องกับผังกราฟิกข้อมูลด้วยภาษาที่ถูกต้อง ชัดเจน และเข้าใจง่าย	3
- แปลผลข้อมูลได้สอดคล้องกับผังกราฟิกข้อมูล แต่ไม่ถูกต้อง และไม่ชัดเจน	2
- แปลผลข้อมูลไม่สอดคล้องกับผังกราฟิกข้อมูล และไม่สื่อความหมาย	1

ตารางที่ 20 เกณฑ์การประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน	ระดับคะแนน
9. การสรุปและอภิปรายผล	
สรุปผลได้สอดคล้องและแสดงความสัมพันธ์กับคำถามหรือปัญหาโครงงาน สมมติฐานโครงงาน และวัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน พร้อมทั้งมีการอภิปรายผลโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัย	3
สรุปผลได้สอดคล้องและแสดงความสัมพันธ์กับคำถามหรือปัญหาโครงงาน สมมติฐานโครงงาน และวัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน แต่ไม่อภิปรายผลโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัย	2
สรุปผลไม่สอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงาน สมมติฐานโครงงาน และวัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน และไม่มีการอภิปรายผล	1
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	
- รายงานสามารถแสดงผลการดำเนินการทำโครงงานด้วยความเข้าใจอย่างครบถ้วนตามส่วนประกอบของรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	3
- รายงานสามารถแสดงผลการดำเนินการทำโครงงาน แต่ส่วนประกอบไม่ครบ	2
- รายงานไม่สามารถสื่อถึงผลการดำเนินการทำโครงงานอย่างเข้าใจ	1
11. การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์	
- นำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ด้วยความรู้ความเข้าใจที่ชัดเจน และสามารถตอบคำถามโครงงานได้ทุกข้อคำถาม	3
- นำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ด้วยความรู้ความเข้าใจ และสามารถตอบคำถามได้เกือบทุกคำถาม	2
- สามารถนำเสนอโครงงานอย่างสื่อความหมาย และตอบคำถามได้บางคำถาม	1
12. คุณภาพของผลงาน	
- ผลงานแสดงให้เห็นถึงการรายละเอียดการสร้าง และการออกแบบเป็นอย่างดี และสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ	3
- ผลงานแสดงให้เห็นถึงการรายละเอียดการสร้าง และการออกแบบ และสามารถใช้งานได้แต่ยังไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ	2
- ผลงานแสดงให้เห็นรายละเอียดการสร้างและการออกแบบ แต่ต้องปรับปรุงการแสดงผลของผลงาน	1

ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก
เรื่อง การพัฒนาทักษะการคิดและเทคนิคผังกราฟิก

รายวิชาเพิ่มเติม โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 **ระดับช่วงชั้นที่ 3 (มัธยมศึกษาปีที่ 5)**
เวลา 4 ชั่วโมง **สอนโดย นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข**

<u>วัตถุประสงค์การเรียนรู้</u> เมื่อเรียนจบสามารถ

ระบุลักษณะต่างๆ ของสิ่งของที่กำหนดให้ โดยใช้ประสาทสัมผัสได้

1. บันทึกข้อมูลที่ได้จากการสังเกตทั้งเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณได้
2. บอกความหมายของการสังเกตได้
3. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการสังเกตและการลงความเห็นข้อมูลได้
4. บอกความหมายของการลงความเห็นข้อมูล
5. สังเกตสิ่งของเพื่อระบุเกณฑ์ในการจัดกลุ่มได้
6. เปรียบเทียบความเหมือนและต่างของสิ่งของที่ใช้ในการจัดกลุ่มได้
7. ปฏิบัติการจัดกลุ่มและจำแนกสิ่งของตามเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเอง และตามเกณฑ์ที่ผู้อื่นกำหนดให้ได้4
8. เขียนผังกราฟิกการจัดกลุ่มและการจำแนกได้
9. อธิบายความหมายของการจัดกลุ่มและการจำแนกได้
10. เปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างการจัดกลุ่มกับการจำแนกได้

<u>สาระการเรียนรู้</u>

1. ความรู้ (K)

ความหายของการสังเกต

การสังเกต หมายถึง การใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือประสาทสัมผัสทั้ง 5 ในการสำรวจวัตถุ หรือปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติ หรือจากการทดลอง โดยไม่ลงความเห็นของผู้สังเกตไปด้วย ประสาทสัมผัสทั้ง 5 คือ ตา จมูก ผิวกาย หู และลิ้น ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตมี 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงคุณภาพ และข้อมูลเชิงปริมาณ การสังเกตสามารถสังเกตสิ่งต่างๆ ก่อนการเปลี่ยนแปลง อยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลง และหลังการเปลี่ยนแปลง

ประเภทของข้อมูลที่ได้จากการสังเกต

1. ข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นข้อมูลที่ได้จากการใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า คือ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวกาย ในการสังเกตวัตถุนั้นๆ เช่น ปากกาสีเขียว (ตา) ดอกไม้ชนิดนี้กลิ่นฉุน (จมูก) สบู่เมื่อจับแล้วลื่น (ผิวกาย) เป็นต้น

2. ข้อมูลเชิงปริมาณ เป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกตโดยอ้างอิงหน่วยการวัด เช่น วัตถุชิ้นนี้หนักประมาณ 10 กรัม ดินสอแท่งนี้ยาวกว่าดินสอแท่งนั้น คาดคะเนด้วยกายสัมผัสว่าน้ำในแก้วนี้มีอุณหภูมิประมาณ 40 $^{\circ}C$

ความหมายของการลงความเห็นข้อมูล

การลงความเห็นจากข้อมูล (Inferring) หมายถึง การอธิบายโดยใช้ข้อมูลจากการสังเกตบนพื้นฐานของความรู้เดิมหรือประสบการณ์เดิมมาช่วย จึงทำให้ข้อมูลชุดหนึ่งๆ มีคำอธิบายได้หลายอย่างแตกต่างกันไป ซึ่งข้อมูลนั้นต้องเป็นไปอย่างมีเหตุผล การตัดสินว่าการลงความเห็นใดถูกต้องจึงต้องมีหลักฐานมาสนับสนุนหรือมีการทดลองเพิ่มเติม

ความหมายของการจัดกลุ่ม

การจัดกลุ่ม (Categorization/Grouping) หมายถึง กระบวนการที่ใช้จัดพวกของวัตถุหรือปรากฏการณ์ต่างๆ ที่ต้องการศึกษาออกเป็นหมวดหมู่ โดยจัดสิ่งของที่มีสมบัติบางประการร่วมกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยอาศัยเกณฑ์ในการจัดกลุ่ม

ขั้นตอนในการจัดกลุ่ม

1. สังเกตความเหมือน ความต่างและภาพรวมของสิ่งต่างๆ ที่จะจัดกลุ่ม
2. กำหนดเกณฑ์ของสิ่งที่จะมารวมกลุ่มเดียวกัน ซึ่งแต่ละกลุ่มมีเกณฑ์ต่างกันไป
3. จำแนกหรือแยกสิ่งต่างๆ เข้ากลุ่มตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความหมายของการจำแนกประเภท

การจำแนกประเภท(Classifying) คือ การจัดกลุ่มสิ่งต่างๆตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับ

2. ทักษะกระบวนการ (P)

- ทักษะการวิเคราะห์
- ทักษะการสื่อสาร
- ทักษะการสรุปผล
- ทักษะการอภิปราย
- ทักษะการสังเกต
- ทักษะการลงความเห็นข้อมูล
- ทักษะการเปรียบเทียบ
- ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล
- ทักษะการทำงานเป็นกลุ่ม
- ทักษะการจัดกลุ่ม
- ทักษะการจำแนกประเภท

3. ลักษณะที่พึงประสงค์ (A)

- นักเรียนเป็นนักช่างสังเกต สนใจใฝ่รู้
- นักเรียนเป็นผู้ที่สื่อสารหรือสื่อความหมายกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

<u>กิจกรรมการเรียนรู้</u>

ขั้นนำ

1. ครูทบทวนความรู้นักเรียนโดยการใช้คำถาม ดังนี้ (ให้คิดรายบุคคล 5 นาที แล้วแลกเปลี่ยนความคิดเห็น 3 นาที)

1.1. การสังเกต คืออะไร

1.2. นักเรียนสามารถใช้อวัยวะใดบ้างของร่างกายในการสังเกต

1.3. ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตได้แก่ข้อมูลประเภทใดบ้าง

2. ครูสุ่มคำตอบจากนักเรียน

3. ครูแจกแก้วบรรจุน้ำครึ่งแก้ว กลุ่มละ 1 แก้ว แล้วให้นักเรียนสังเกต จากนั้นบันทึกผลการสังเกตคนละ 1 ข้อสังเกตที่ไม่ซ้ำกัน

4. ครูสุ่มตัวอย่างคำตอบจากนักเรียน

5. ครูถามคำถามในประเด็นเดิมอีกครั้งจากข้างต้น เพื่อให้นักเรียนเกิดความสงสัย แล้วเชื่อมโยงสู่กิจกรรมการเรียนรู้ จากคำถามดังนี้

5.1. การสังเกต คืออะไร

5.2. การสังเกตสามารถใช้อวัยวะใดบ้าง ในการสังเกต

5.3. ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตได้แก่ข้อมูลประเภทใดบ้าง

ขั้นกิจกรรม

6. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 1 การพัฒนาทักษะการสังเกต และส้ม กลุ่มละ 1 ลูก แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสังเกตให้ได้มากที่สุดพร้อมทั้งบันทึกผลการทำกิจกรรมลงในตารางบันทึกผล

7. นักเรียนนำผลการสังเกตที่ได้มาอภิปรายกลุ่ม บันทึกลงในกระดาษปอนขาว แล้วนำเสนอหน้าชั้นเรียน

8. ครูนำนักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรม เพื่อเชื่อมโยงสู่ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับความหมายของการสังเกต ประเภทของข้อมูลที่สังเกตได้ และการลงความเห็นข้อมูล พร้อมทั้งอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคนิคผังกราฟิกแบบตาราง

9. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 2 การจัดกลุ่มและการจำแนกประเภท และอุปกรณ์เกี่ยวกับไฟฟ้า (เช่น หลอดไฟขนาดต่างๆ ถ่านไฟฉายขนาดต่างๆ ลวด สายไฟ เป็นต้น) ซึ่งแต่ละกลุ่มจะได้รับอุปกรณ์เหมือนกัน และมอบหมายภาระงาน ดังนี้

9.1. ให้นักเรียนสังเกตอุปกรณ์ที่กำหนดให้

9.2. จัดกลุ่มอุปกรณ์ที่กำหนดให้ ตามเกณฑ์ที่แต่ละกลุ่มกำหนดขึ้นเอง

9.3. จำแนกประเภทอุปกรณ์ที่กำหนดให้ตามเกณฑ์ที่แต่ละกลุ่มกำหนดขึ้นเอง

9.4. บันทึกผลการดำเนินกิจกรรมลงในกระดาษปอนขาว

9.5. นำเสนอหน้าชั้นเรียน

10. ครูตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมทั้งนำผลการบันทึกของนักเรียนเชื่อมโยงสู่ความรู้ที่ถูกต้อง

11. ครูให้นักเรียนเก็บวัสดุ อุปกรณ์ส่งคืน พร้อมทั้งเก็บสิ่งของลงจากโต๊ะ แล้วให้นักเรียนหยิบสิ่งของจากกระเป๋านักเรียนขึ้นมา คนละ 1 ชิ้น วางไว้ที่กลางโต๊ะ

12. ครูมอบหมายภาระงาน ดังต่อไปนี้

12.1. จัดกลุ่มอุปกรณ์ที่อยู่บนโต๊ะ แล้วบันทึกผลลงในกระดาษ A4

12.2. จำแนกอุปกรณ์บนโต๊ะ แล้วบันทึกผลลงในกระดาษ A4

12.3. นักเรียนตอบคำถามเพิ่มเติม ลงในกระดาษ A4ดังนี้

12.3.1. การจัดกลุ่ม คืออะไร

12.3.2. การจำแนก คืออะไร

12.4. นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียน

13. ครูตรวจสอบความถูกต้อง พร้อมทั้งเชื่อมโยงไปสู่ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับความหมายของการจัดกลุ่ม และการจำแนกประเภท

ขั้นสรุป

14. ครูนำสรุปโดยใช้ผลการทำกิจกรรมในทุกกิจกรรมของนักเรียน ในประเด็นต่อไปนี้

14.1. ความหมายของการสังเกต

14.2. ประเภทของข้อมูลที่ได้จากการสังเกต

14.3. ความหมายของการลงความเห็นข้อมูล

14.4. ความหมายของการจัดกลุ่ม

14.5. ความหมายของการจำแนกประเภท

ชื่อ ..... ชั้น .....เลขที่ .....

ใบกิจกรรมที่ 1 พัฒนาทักษะการสังเกต

คำชี้แจง: ให้นักเรียนสังเกตวัสดุหรืออุปกรณ์ที่กำหนดให้ แล้วระบุข้อมูล อวัยวะรับสัมผัสที่ใช้และประเภทของข้อมูลที่ได้จากการสังเกต พร้อมทั้งบันทึกในตาราง

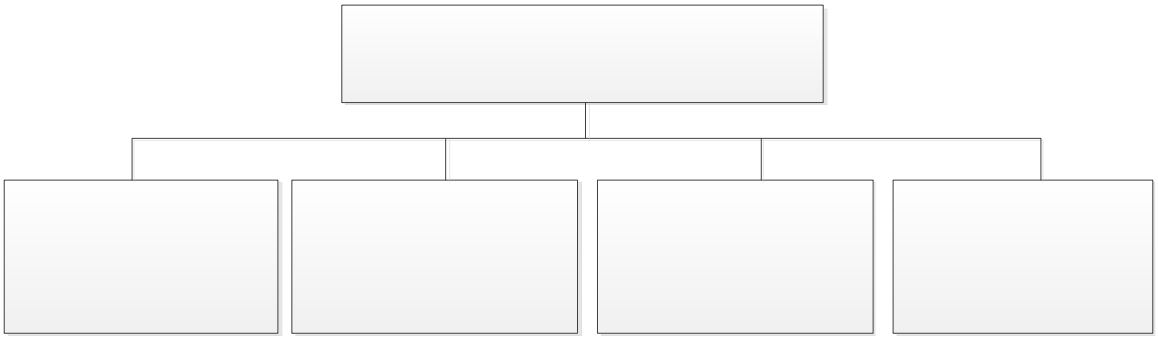
ข้อมูลจากการสังเกต	อวัยวะรับสัมผัสที่ใช้ในการสังเกต	ประเภทข้อมูล	
		เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ

ชื่อ ..... ชั้น ..... เลขที่ .....

ใบกิจกรรมที่ 2 การจัดกลุ่มและการจำแนก

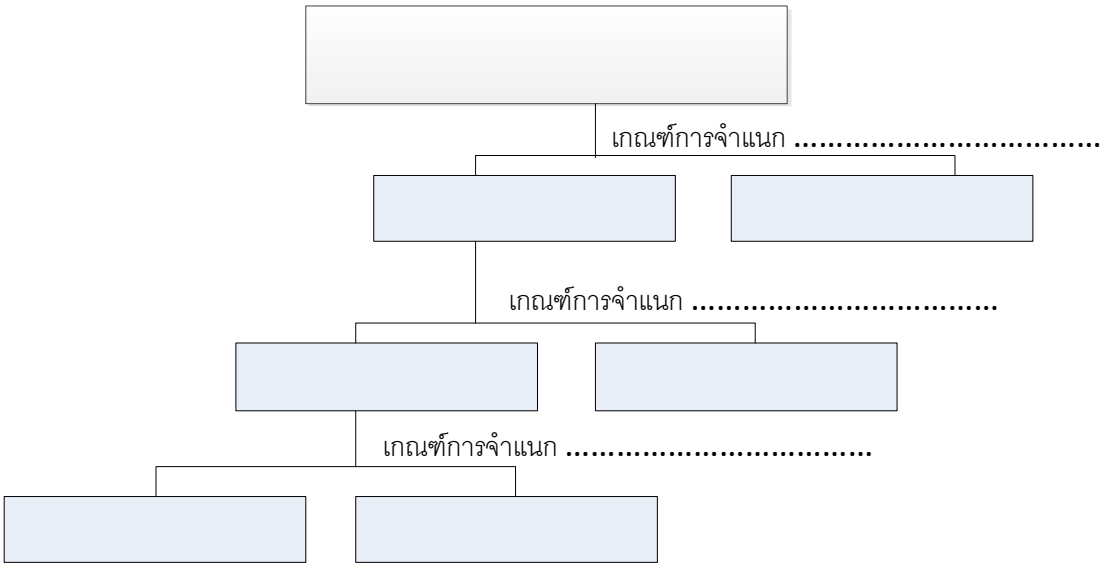
คำชี้แจงกิจกรรมที่ 2.1: ให้นักเรียนสังเกตอุปกรณ์ที่กำหนดให้ จัดกลุ่มอุปกรณ์ แล้วบันทึกผล

กิจกรรม 2.1 การจัดกลุ่ม



คำชี้แจงกิจกรรมที่ 2.2: ให้นักเรียนสังเกตอุปกรณ์ที่กำหนดให้ จำแนกอุปกรณ์ แล้วบันทึกผล

กิจกรรม 2.2 การจัดจำแนก



ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก
เรื่อง ทบทวนความรู้เกี่ยวกับโครงงานวิทยาศาสตร์

รายวิชาเพิ่มเติม โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 **ระดับช่วงชั้นที่ 3 (มัธยมศึกษาปีที่ 5)**
เวลา 4 ชั่วโมง **สอนโดย นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข**

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

เมื่อนักเรียนเรียนจบสามารถ

1. สืบสอบและสร้างความรู้เกี่ยวกับประเภทและขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองจากตัวอย่างที่กำหนดให้
2. อธิบายความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์ได้
3. จัดประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ได้
4. ระบุขั้นตอนการทำโครงงานได้
5. เปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของโครงงานวิทยาศาสตร์แต่ละประเภทได้
6. สรุปความรู้เกี่ยวกับโครงงานวิทยาศาสตร์ด้วยผังกราฟิกที่เหมาะสมได้

สาระการเรียนรู้

1. ความรู้ (K)

ความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์

โครงงานวิทยาศาสตร์ หมายถึง การศึกษาเพื่อค้นพบความรู้ใหม่ สิ่งประดิษฐ์ใหม่ และวิธีการใหม่ ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยครูเป็นผู้แนะนำให้คำปรึกษา (unknown by all)

ประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์

ประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ มี 3 ประเภท ดังนี้

1. โครงงานสำรวจ ศึกษาสิ่งหรือสภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน (what it is)
2. โครงงานทดลอง ศึกษาว่าจะมีอะไรเกิดขึ้น หรือจะเกิดอะไรขึ้น (what it will be)
3. โครงงานประดิษฐ์ ศึกษาเพื่อสร้างหรือพัฒนาสิ่งประดิษฐ์หรืออุปกรณ์ต่างๆ โดยผ่านการทดลองและแก้ไขปรับปรุง

ขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ (ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์)

1. กำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษา
2. ตั้งสมมติฐาน (คาดคะเนคำตอบ)
3. ออกแบบรวบรวมข้อมูล
4. รวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการต่างๆ
5. วิเคราะห์ข้อมูล
6. สรุปผล

2. ทักษะกระบวนการ (P)

- ทักษะการวิเคราะห์
- ทักษะการเปรียบเทียบ
- ทักษะการสื่อสาร
- ทักษะการสื่อความหมายข้อมูล
- ทักษะการสรุปผล
- ทักษะการทำงานเป็นกลุ่ม
- ทักษะการอภิปราย

3. ลักษณะที่พึงประสงค์ (A)

- การเป็นนักสนใจใฝ่รู้และนักนวัตกรรม

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นนำ

1. ครูนำสนทนาเรื่อง รายวิชาโครงงานวิทยาศาสตร์ 2 ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อพัฒนานักเรียนให้สามารถทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

2. ครูใช้คำถามต่อไปนี้

   2.1. นักเรียนชอบนักวิทยาศาสตร์คนไหนมากที่สุด

   2.2. เพราะเหตุใดนักเรียนจึงชอบนักวิทยาศาสตร์ท่านนั้น

3. ครูแสดงภาพนักวิทยาศาสตร์ เซอร์ไอแซก นิวตัน แล้วใช้คำถามต่อไปนี้

   3.1. เพราะเหตุใดนิวตันจึงไม่เกิดที่เมืองไทย

   3.2. ถ้านิวตันเกิดที่เมืองไทยจะเป็นอย่างไร

   3.3. เมื่อนักเรียนเห็นนักวิทยาศาสตร์ท่านนี้ นักเรียนนึกถึงอะไร

   3.4. นักวิทยาศาสตร์ท่านนี้คิดค้นทฤษฎีอะไร

   3.5. นิวตันได้รับแรงบันดาลใจเมื่อไหร่

4. ครูยกตัวอย่าง “ถ้านักเรียนเห็นครูมาใหม่ หน้าตาไม่ค่อยหล่อ ท่าทางดูเหมือนใจดี น่าจะให้การบ้านน้อย” แล้วถามคำถามดังนี้

   4.1. การที่นักเรียนคิดว่า “ครูน่าจะให้การบ้านน้อย” แสดงว่านักเรียนกำลังทำอะไรอยู่

   4.2. ถ้านักเรียนต้องการทราบคำตอบที่ถูกต้องควรทำอย่างไร

   4.3. นักเรียนควรทำการสืบค้นข้อมูลจากที่ใด

   4.4. เมื่อนักเรียนได้ข้อมูลจากการสืบค้นควรทำอย่างไร

5. ครูใช้คำถาม “การเดากับการตั้งสมมติฐาน แตกต่างกันอย่างไร” แล้วให้นักเรียนคิดเป็นรายบุคคล เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นจับคู่เพื่อแลกเปลี่ยนคำตอบ 1 นาที แล้วครูสุ่มคำตอบ

6. ครูถามคำถามเพื่อทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับโครงงานวิทยาศาสตร์ โดยให้นักเรียนคิดคำตอบเป็นรายบุคคล 3 นาที แล้วจับคู่เพื่อแลกเปลี่ยนคำตอบกับเพื่อน 2 นาที ซึ่งมีคำถาม ดังนี้

   6.1. โครงงานวิทยาศาสตร์คืออะไร

   6.2. โครงงานวิทยาศาสตร์มีกี่ประเภท

6.3. โครงงานวิทยาศาสตร์มีประโยชน์อย่างไร

7. ครูสุ่มคำตอบ 3 ตัวอย่าง พร้อมทั้งบันทึกคำตอบของนักเรียนบนกระดาน แล้วเปิดโอกาสให้นักเรียนเสนอคำตอบเพิ่มเติม แล้วกล่าวว่า “คำตอบที่ถูกต้องคือกิจกรรมที่เราจะทำการศึกษากันในวันนี้”

ขั้นกิจกรรม

8. ครูแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 6-8 คน พร้อมทั้งกำหนดบทบาทหน้าที่ของสมาชิกภายในกลุ่ม

9. ครูมอบหมายงานตามลำดับ และขึ้นคำสั่งของกิจกรรมบนกระดาน ดังนี้ (30 นาที)

9.1. ศึกษากรณีตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง แล้วตอบคำถามท้ายตัวอย่าง

9.2. สรุปขั้นตอนการทำโครงงานจากกรณีตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง

9.3. เปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของขั้นตอนการทำโครงงานจากทั้ง 3 ตัวอย่าง

9.4. เปรียบเทียบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง

9.5. ระบุประเภทของโครงงานจากตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง

9.6. ตอบคำถามเพิ่มเติมของคำถาม “จากตัวอย่าง โครงงานวิทยาศาสตร์คืออะไร”

9.7. บันทึกข้อมูลการทำกิจกรรม จากข้อ 9.2 – 9.5 ลงในกระดาษ A4

10. ครูแสดงคำตอบของนักเรียนทุกกลุ่ม แล้วตรวจคำตอบพร้อมทั้งเชื่อมโยงไปสู่การแก้ปัญหาแบบนักวิทยาศาสตร์ โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์

11. นักเรียนนำเสนอความหมายของโครงงานวิทยาศาสตร์ตามความเข้าใจของนักเรียน

12. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 2 ตัวอย่างบทคัดย่อโครงงาน และให้นักเรียนระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากบทคัดย่อในใบกิจกรรมที่ 2 (15 นาที)

13. ครูถามนักเรียน “โครงงานวิทยาศาสตร์ควรมีองค์ประกอบสำคัญอะไรบ้าง” โดยให้นักเรียนเขียนคำตอบเป็นรายบุคคล 3 นาที และสรุปรายกลุ่ม 3 นาที จากนั้นครูเก็บรวบรวมคำตอบ

ขั้นสรุป

14. ครูนำสรุปความหมาย ประเภทและขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

15. ครูนำสรุปองค์ประกอบสำคัญของโครงงานวิทยาศาสตร์จากคำตอบของนักเรียนและเชื่อมโยงไปยังข้อมูลที่ถูกต้องด้วยผังกราฟิก

16. ครูมอบหมายภาระงานเป็นการบ้าน ดังนี้

16.1. สรุปความรู้เกี่ยวกับโครงงานวิทยาศาสตร์ด้วยผังกราฟิกที่เหมาะสมและสวยงาม

16.2. สืบค้นรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นรายบุคคล คนละ 3 โครงงาน พร้อมทั้งระบุประเภทของโครงงาน

สื่อการเรียนรู้

1. รูปเซอร์ไอแซ็ค นิวตัน
2. รูปคนขอหวย
3. ใบกิจกรรมที่ 1 กรณีตัวอย่างโครงงานวิทยาศาสตร์
4. ปากกา ดินสอสี และกระดาษ
5. ใบกิจกรรมที่ 2 ตัวอย่างบทคัดย่อโครงงานวิทยาศาสตร์
6. แผนผังขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
7. แผนผังองค์ประกอบสำคัญของโครงงานวิทยาศาสตร์

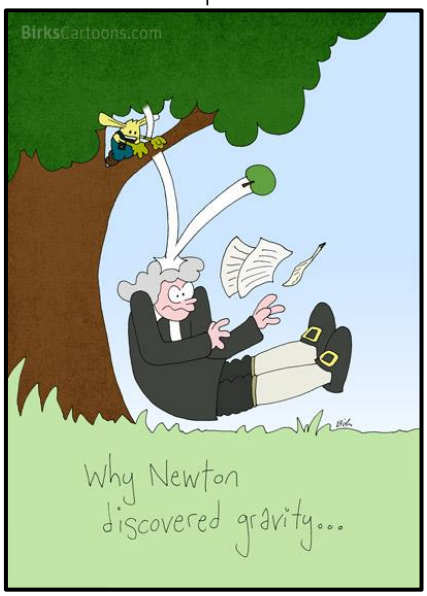
การประเมินการเรียนรู้

1. ประเมินการทำงานเป็นกลุ่มโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรม
2. ประเมินการสรุปความรู้ด้วยผังกราฟิกโดยใช้เกณฑ์การประเมินการสรุปความรู้ด้วยผังกราฟิกแบบรูบริกส์
3. ประเมินความถูกต้องในการระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากบทคัดย่อโครงงาน โดยใช้เกณฑ์การประเมินการระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากบทคัดย่อโครงงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์
4. ประเมินความถูกต้องในการระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากการสืบค้นรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนการระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากการสืบค้นรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์

รูปที่ 1 เซอร์ไอแซ็ค นิวตัน นั่งใต้ต้นแอปเปิล

รูปที่ 2 แอปเปิลตกจากต้น ทำให้เซอร์ไอแซ็คนิวตัน สังเกต และเกิดข้อสงสัย นำไปสู่การตั้งคำถาม

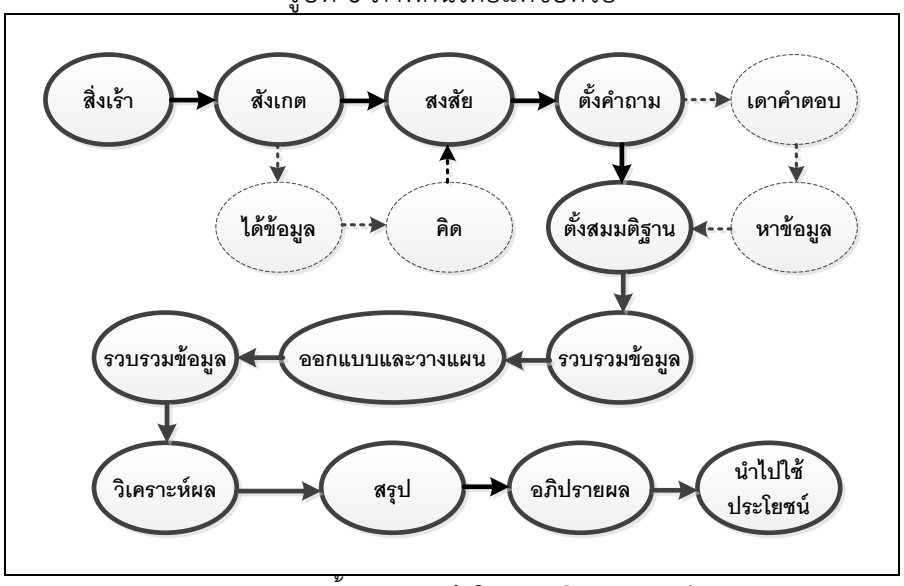
รูปที่ 3 ถ้าเซอร์ไอแซ็ค นิวตันเกิดที่เมืองไทย จะไม่สนใจแอปเปิลที่ตก แต่จะกดโทรศัพท์มือถือรุ่น BB หรือ Iphone



รูปที่ 4 แอปเปิลตก พร้อมด้วยคำถาม “ทำไม ไอแซ็ค นิวตัน จึงค้นพบแรงโน้มถ่วงของโลก”

รูปที่ 5 เซอร์ไอแซ็ค นิวตัน หลังค้นพบแรงโน้มถ่วงของโลก

รูปที่ 6 ภาพคนไทยแห่ขอหวย



แผนผังสรุปขั้นตอนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

ชื่อ .....ชั้น.....เลขที่.....

ใบกิจกรรมที่ 1 ตัวอย่างผลงานของนักวิทยาศาสตร์ และนักวิจัย

ตัวอย่างที่ 1 กระถางต้นไม้ ดร. อุดม

ดร. อุดม สนใจนำสิ่งของและวัสดุที่เหลือใช้ที่เรียกว่า “ขยะ” มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดย ดร. อุดม พบว่าต้นมะพร้าวถูกทิ้งไว้จำนวนมาก ไม่เกิดประโยชน์ จึงทำการศึกษาส่วนต่างๆ ของต้นมะพร้าวเพื่อนำมาทำกระถางที่สามารถย่อยสลายได้ แต่การที่ ดร. อุดมจะสร้างกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้นั้น ต้องทำความเข้าใจคุณสมบัติของส่วนต่างๆ ของต้นมะพร้าวในทุกแง่มุมเสียก่อน ดร. อุดมศึกษา จนพบว่าใยมะพร้าวและขุยมะพร้าวน่าจะสามารถนำมาใช้สร้างกระถางต้นไม้ได้ นอกจากนี้ ดร. อุดมยังศึกษาส่วนผสมและขั้นตอนในการสร้างกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้

ความรู้ต่างๆ ที่ ดร. อุดมใช้ในการสร้างกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้นั้นล้วนมากจากประสบการณ์ส่วนตัว การค้นคว้าเอกสารต่างๆ และจากอินเตอร์เน็ต รวมไปถึงการสอบถามผู้เชียวชาญและผู้รู้หลายท่าน หลังจากนั้นจึงทดลองสร้างกระถางต้นไม้ ดร.อุดมทำการทดสอบและแก้ไขอยู่หลายครั้งจนได้ผลเป็นที่พอใจ จึงเผยแพร่สู่สาธารณะ

คำถามท้ายตัวอย่างที่ 1: กระถางต้นไม้ ดร. อุดม

1. จากตัวอย่างในข้างต้น ดร. อุดม ค้นพบอะไร
2. ดร. อุดมสนใจอะไรจึงทำให้เกิดกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้
3. ดร. อุดมใช้อวัยวะส่วนใดสังเกตส่วนต่างๆ ของต้นมะพร้าว
4. ดร. อุดมตั้งคำถามว่าอย่างไร จึงนำไปสู่การทำกระถางจากใยและขุยมะพร้าว
5. หลังจาก ดร. อุดมมีข้อสงสัยหรือคำถาม ดร. อุดมทำอย่างไรต่อ
6. ดร. อุดมทำการศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลใดบ้าง
7. ดร. อุดมศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องใด
8. เพราะเหตุใด ดร. อุดมจึงต้องทำการศึกษาข้อมูล
9. ดร. อุดมนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ทำอะไร
10. หลังจากการศึกษาข้อมูล ดร. อุดมควรทำอย่างไรก่อนลงมือผลิตกระถางต้นไม้
11. ดร. อุดมใช้เวลาดำเนินการนานแค่ไหนจึงสามารถเผยแพร่ข้อมูลได้
12. ดร. อุดมมีขั้นตอนการค้นพบความรู้อย่างไร ตั้งแต่เริ่มต้นสังเกตจนถึงได้กระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้

ตัวอย่างที่ 2 ใบตาตุ่มกำจัดเห็บและหมัด

นักวิจัยสนใจที่ค้นหาพืชผักมาทดแทนสารเคมีในการกำจัดเห็บและหมัดในสุนัข ซึ่งนักวิจัยทราบดีว่าใบตาตุ่มมีพิษที่ใช้ในการขับไล่แมลง นักวิจัยจึงเกิดความสงสัยว่าใบตาตุ่มจะสามารถกำจัดเห็บและหมัดในสุนัขได้หรือไม่

นักวิจัยศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับใบตาตุมและศึกษาเกี่ยวกับเห็บและหมัด รวมถึงวิธีการกำจัดแบบต่างๆ ทั้งจากประสบการณ์ การค้นคว้าเอกสาร สอบถามจากเพื่อนนักวิจัย และจากการสืบค้นทางอินเตอร์เน็ต ซึ่งความรู้เหล่านี้ช่วยให้นักวิจัยตอบข้อสงสัยข้างต้นได้ว่าใบตาตุ่มน่าจะสามารถกำจัดเห็บและหมัดได้ นักวิจัยจึงทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อตอบข้อสงสัย โดยนักวิจัยทำการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลหลายครั้งจนได้รับคำตอบที่ชัดเจนนำไปสู่การสรุปว่า ใบตาตุ่มสามารถกำจัดเห็บและหมัดในสุนัขได้

คำถามท้ายตัวอย่างที่ 2: ใบตาตุ่มกำจัดเห็บและหมัด

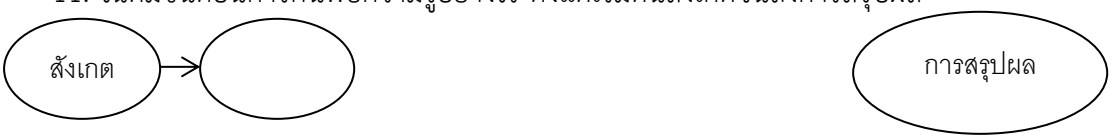
1. นักวิจัยควรมีความเชี่ยวชาญหรือความสนใจในเรื่องใดเป็นพิเศษจึงนำไปสู่การค้นพบใบตาตุ่มสามารถกำจัดเห็บและหมัดในสุนัข
2. นักวิจัยใช้อวัยวะส่วนใดในการสังเกตใบตาตุ่มสามารถขับไล่แมลงได้
3. หลังจากนักวิจัยทำการสังเกตใบตาตุ่มแล้ว นักวิจัยเกิดข้อสงสัยหรือคำถามอะไร
4. เมื่อนักวิจัยมีข้อสงสัยหรือคำถามควรทำอย่างไร
5. นักวิจัยศึกษาข้อมูลจากแหล่งใดบ้าง
6. นักวิจัยศึกษาข้อมูลในเรื่องใดบ้าง
7. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเอกสารสามารถตอบคำถามหรือข้อสงสัยได้ทันทีหรือไม่
8. ก่อนที่นักวิจัยจะทำการทดลอง ควรทำสิ่งใด่ก่อน
9. นักวิจัยต้องทำการทดลองนานแค่ไหนจึงทำการสรุปผลได้
10. นักวิจัยมีขั้นตอนอย่างไรตั้งแต่เริ่มสังเกตจนถึงสรุปผลการทดลอง

ตัวอย่างที่ 3 หิ่งห้อยหายไป

โน้ตอาศัยอยู่ที่อำเภออัมพวาพบว่าจำนวนหิ่งห้อยลดจำนวนลงจากเมื่อ 30 ปีก่อน ซึ่งโน้ตอาศัยอยู่ใกล้สวนต้นลำพู จึงมีความสนใจหิ่งห้อยที่อาศัยอยู่ที่ต้นลำพูมาตั้งแต่ยังเด็ก โดยโน้ตพบบ้านเรือนและแหล่งท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นจำนวนมากซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการลดจำนวนลง โน้ตจึงทำการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจากหนังสือ อินเตอร์เน็ต และสอบถามจากนักกีฏวิทยาและชาวบ้านที่อาศัยอยู่แถบนั้น พร้อมทั้งลงพื้นที่จริงเพื่อเก็บข้อมูล ความรู้ที่ได้จากการศึกษาทำให้โน้ตตั้งข้อสงสัยในสิ่งที่สนใจที่จะศึกษาได้แคบลง และมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โน้ตจึงมุ่งความสนใจไปยังสิ่งที่อยากรู้และดำเนินการศึกษาด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การสอบถาม การสัมภาษณ์ และการสังเกตด้วยตนเอง โน้ตทำแบบนี้หลายครั้ง หลายวัน และเป็นระยะเวลานาน จนมีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปผลได้ว่าหิ่งห้อยมีจำนวนลดลงจริงอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของบ้านเรือนทำให้ต้นลำพูลดลง และแสงไฟจากบ้านเรือนส่งผลกระทบต่อการผสมพันธุ์ทำให้การผสมพันธุ์ของหิ่งห้อยเกิดขึ้นได้ยาก

คำถามท้ายตัวอย่างที่ 3: หิ่งห้อยหายไป

1. โน้ตสนใจเรื่องอะไร
2. โน้ตใช้อวัยวะส่วนใดสังเกตหิ่งห้อยที่ลดจำนวนลง
3. หลังจากการสังเกตโน้ตมีข้อสงสัยหรือคำถามอะไร
4. เมื่อโน้ตเกิดข้อสงสัยหรือคำถาม โน้ตทำอย่างไร
5. โน้ตทำการศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลใดบ้าง
6. โน้ตควรศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องใด
7. เพราะเหตุใดโน้ตจึงต้องทำการศึกษาข้อมูล
8. โน้ตนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ทำอะไร
9. หลังจากการศึกษาข้อมูล โน้ตทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการใดบ้าง
10. โน้ตใช้เวลาดำเนินการนานแค่ไหนจึงสามารถสรุปผลได้
11. โน้ตมีขั้นตอนการค้นพบความรู้อย่างไร ตั้งแต่เริ่มต้นสังเกตจนถึงการสรุปผล



ประเมินการสรุปความรู้ด้วยผังกราฟิกโดยใช้เกณฑ์การประเมินการสรุปความรู้ด้วยผังกราฟิกแบบรูบริกส์

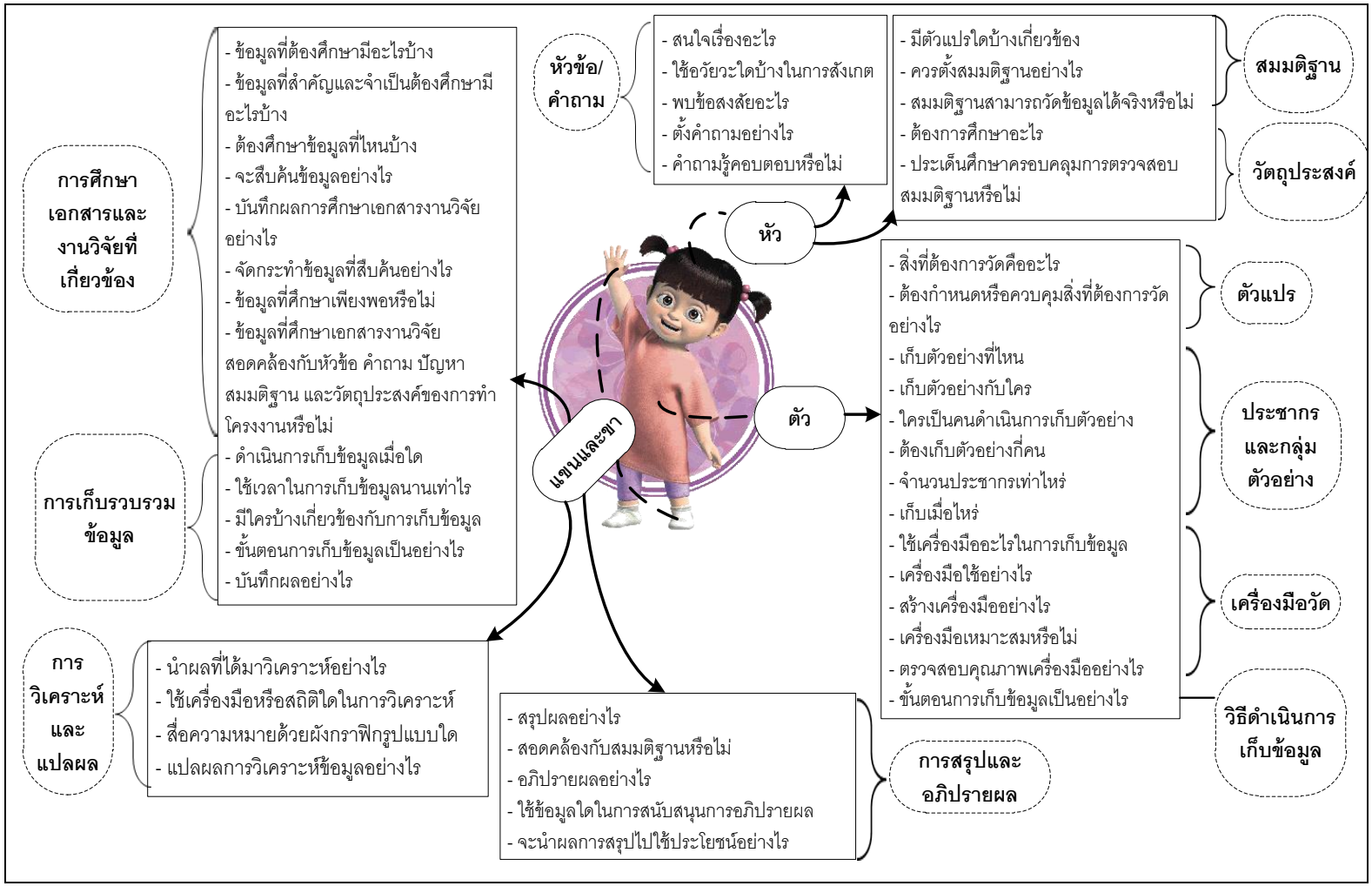
รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความเหมาะสมของการเลือกใช้รูปแบบผังกราฟิก	เลือกรูปแบบผังกราฟิกได้เหมาะสมและใช้ได้ถูกต้องกับข้อมูล	เลือกใช้ผังกราฟิกได้เหมาะสมกับข้อมูล	เลือกใช้ผังกราฟิกไม่เหมาะสม
ความถูกต้องขององค์ประกอบของผังกราฟิกประเภทนั้นๆ	ใช้ผังกราฟิกได้ถูกต้องตามองค์ประกอบของผังกราฟิกรูปแบบนั้นๆ	ใช้ผังกราฟิกได้ค่อนข้างถูกต้องตามองค์ประกอบมีความผิดพลาดเล็กน้อย	ใช้ผังกราฟิกไม่ถูกต้องตามองค์ประกอบของผังกราฟิกรูปแบบนั้นๆ
ความถูกต้องของเนื้อหา	บรรยายเนื้อหาในผังกราฟิกได้ครบถ้วน ถูกต้องและเหมาะสม	บรรยายเนื้อหาในผังกราฟิกได้ถูกต้อง	เนื้อหายังไม่ถูกต้อง
การใช้ภาษา	ใช้ภาษาได้ถูกต้อง กระชับ ชัดเจน และเข้าใจง่าย	ใช้ภาษาได้ถูกต้อง	ใช้ภาษาที่สื่อความหมายแต่ยากที่จะเข้าใจ
ความคิดสร้างสรรค์	ตกแต่งผังกราฟิกด้วยสีสันสวยงาม และจัดองค์ประกอบของพื้นที่ด้วยความคิดสร้างสรรค์	จัดองค์ประกอบของพื้นที่ผังกราฟิกอย่างสร้างสรรค์	จัดองค์ประกอบของพื้นที่ผังกราฟิกยังไม่ดีเท่าที่ควร

เกณฑ์การประเมินการระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากบทคัดย่อโครงงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์

รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความถูกต้อง	ระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากบทคัดย่อถูกต้องทุกประเภท	ระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากบทคัดย่ออย่างน้อย 4 ตัวอย่าง	ระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์ได้น้อยกว่า 4 ตัวอย่าง จาก 6 ตัวอย่าง

เกณฑ์การให้คะแนนการระบุประเภทของโครงงานวิทยาศาสตร์จากการสืบค้นรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์แบบรูบริกส์

รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความถูกต้อง	ระบุประเภทของโครงงานถูกต้องทุกประเภท	ระบุประเภท 2 ประเภท	ระบุประเภทโครงงานถูกเพียง 1 ประเภท


การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ข้อมูลที่ต้องศึกษามีอะไรบ้าง
- ข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นต้องศึกษามีอะไรบ้าง
- ต้องศึกษาข้อมูลที่ไหนบ้าง
- จะสืบค้นข้อมูลอย่างไร
- บันทึกผลการศึกษาเอกสารงานวิจัยอย่างไร
- จัดกระทำข้อมูลที่สืบค้นอย่างไร
- ข้อมูลที่ศึกษาเพียงพอหรือไม่
- ข้อมูลที่ศึกษาเอกสารงานวิจัยสอดคล้องกับหัวข้อ คำถาม ปัญหา สมมติฐาน และวัตถุประสงค์ของการทำโครงงานหรือไม่
การเก็บรวบรวมข้อมูล
- ดำเนินการเก็บข้อมูลเมื่อใด
- ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนานเท่าไร
- มีใครบ้างเกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูล
- ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเป็นอย่างไร
- บันทึกผลอย่างไร
การวิเคราะห์และแปลผล
- นำผลที่ได้มาวิเคราะห์อย่างไร
- ใช้เครื่องมือหรือสถิติใดในการวิเคราะห์
- สื่อความหมายด้วยผังกราฟิกรูปแบบใด
- แปลผลการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างไร
แชนและชา
หัวข้อ/คำถาม
- สนใจเรื่องอะไร
- ใช้อวัยวะใดบ้างในการสังเกต
- พบข้อสงสัยอะไร
- ตั้งคำถามอย่างไร
- คำถามรู้คอบตอบหรือไม่
หัว
สมมติฐาน
- มีตัวแปรใดบ้างเกี่ยวข้อง
- ควรตั้งสมมติฐานอย่างไร
- สมมติฐานสามารถวัดข้อมูลได้จริงหรือไม่
วัตถุประสงค์
- ต้องการศึกษาอะไร
- ประเด็นศึกษาครอบคลุมการตรวจสอบสมมติฐานหรือไม่
ตัว
ตัวแปร
- สิ่งที่ต้องการวัดคืออะไร
- ต้องกำหนดหรือควบคุมสิ่งที่ต้องการวัดอย่างไร
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
- เก็บตัวอย่างที่ไหน
- เก็บตัวอย่างกับใคร
- ใครเป็นคนดำเนินการเก็บตัวอย่าง
- ต้องเก็บตัวอย่างกี่คน
- จำนวนประชากรเท่าไหร่
- เก็บเมื่อไหร่
เครื่องมือวัด
- ใช้เครื่องมืออะไรในการเก็บข้อมูล
- เครื่องมือใช้อย่างไร
- สร้างเครื่องมืออย่างไร
- เครื่องมือเหมาะสมหรือไม่
- ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมืออย่างไร
วิธีดำเนินการเก็บข้อมูล
- ขั้นตอนการเก็บข้อมูลเป็นอย่างไร
การสรุปและอภิปรายผล
- สรุปผลอย่างไร
- สอดคล้องกับสมมติฐานหรือไม่
- อภิปรายผลอย่างไร
- ใช้ข้อมูลใดในการสนับสนุนการอภิปรายผล
- จะนำผลการสรุปไปใช้ประโยชน์อย่างไร

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก
เรื่อง การระบุปัญหาเพื่อทำโครงงานวิทยาศาสตร์

รายวิชาเพิ่มเติม โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 **ระดับช่วงชั้นที่ 3 (มัธยมศึกษาปีที่ 5)**
เวลา 2 ชั่วโมง **สอนโดย นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข**

<u>วัตถุประสงค์การเรียนรู้</u> เมื่อเรียนจบสามารถ

สืบสอบและสร้างความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการระบุปัญหา ประเภทของคำถามโครงงานและลักษณะของคำถามโครงงานจากตัวอย่างที่กำหนดให้ได้

1. บอกขั้นตอนการระบุปัญหาเพื่อนำไปสู่การได้มาซึ่งหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์ได้
2. จำแนกประเภทคำถามโครงงานเพื่อนำไปสู่การได้มาซึ่งหัวโครงงานวิทยาศาสตร์ได้
3. ตั้งคำถามสำหรับการทำโครงงาน

<u>สาระการเรียนรู้</u>

1. ความรู้ (K)

ขั้นตอนการระบุปัญหาเพื่อการได้มาซึ่งหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์

1. สิ่งเร้า ปัญหาหรือสถานการณ์ที่เป็นปัญหารอการสังเกตพบ
2. สังเกต เป็นการสังเกตด้วยอวัยวะรับสัมผัส
3. สงสัย เป็นการระบุปัญหาซึ่งมีลักษณะเป็นประโยคบอกเล่าสถานการณ์ปัญหา
4. ตั้งคำถาม เป็นการนำประเด็นปัญหามาตั้งเป็นคำถาม
5. คำถามนำไปสู่การเลือกหัวข้อโครงงาน

ประเภทของคำถามโครงงาน

1. คำถามที่รู้คำตอบชัดเจนแล้ว นำไปสู่การพัฒนาความรู้ให้ดียิ่งขึ้นหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ
2. คำถามที่ยังไม่แน่ใจในคำตอบ นำไปสู่การหาคำตอบที่ถูกต้อง
3. คำถามที่ยังไม่ทราบคำตอบ นำไปสู่การค้นพบคำตอบ

ลักษณะของคำถามเพื่อทำโครงงานวิทยาศาสตร์ มีดังนี้

1) เป็นคำถามขั้นสังเคราะห์คือริเริ่มให้เกิดความรู้ใหม่ สิ่งประดิษฐ์ใหม่ หรือวิธีการใหม่
2) เป็นคำถามที่หาคำตอบได้จากวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ไม่ใช่หาคำตอบได้จากห้องสมุดหรือผู้รู้

2. ทักษะกระบวนการ (P)

- ทักษะการวิเคราะห์
- ทักษะการเปรียบเทียบ
- ทักษะการสื่อสาร
- ทักษะการสื่อความหมายด้วยผังกราฟิก
- ทักษะการสรุปผล
- ทักษะการทำงานกลุ่ม
- ทักษะการอภิปราย
- ทักษะการสังเกต
- ทักษะการตั้งคำถาม

3. ลักษณะที่พึงประสงค์ (A)

- เป็นผู้ช่างสังเกตและช่างสงสัย

<u>กิจกรรมการเรียนรู้</u>

ขั้นนำ

1. ครูแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน
2. ครูแจกอุปกรณ์ถ่านไฟฉาย ขนาด 6 โวลต์ กลุ่มละ 2 ก้อน แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำงานดังนี้
   2.1. ตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การทำโครงงานจากถ่านไฟฉายคนละ 5 คำถาม (5 นาที)
   2.2. จับคู่แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อน (3 นาที)
   2.3. อภิปรายกลุ่มและเขียนคำตอบลงในกระดาษฟริบชาร์ต แล้วนำไปติดบนกระดาน (5 นาที)
3. ครูตรวจคำตอบของนักเรียนเกี่ยวกับคำถามที่เหมาะสมสำหรับทำโครงงาน
4. ครูถามนักเรียนว่า “คำถามที่เหมาะสมสำหรับการทำโครงงานควรมีลักษณะอย่างไร” โดยให้นักเรียนคิดคำตอบคนเดียว 2 นาที และจับคู่คิดกับเพื่อน 1 นาที
5. ครูสุ่มคำตอบแล้วเชื่อมโยงไปสู่กิจกรรมที่จะเรียน

ขั้นกิจกรรม

6. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 1 การระบุปัญหาเพื่อหาหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์ พร้อมทั้งกำหนดบทบาทหน้าที่ของสมาชิกภายในกลุ่มของนักเรียน
7. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำงานโดยมีหัวหน้ากลุ่มเป็นคนนำกิจกรรม (ในระหว่างการทำกิจกรรมครูแสดงคำสั่งบนกระดาน) ดังนี้
   7.1. ให้นักเรียนศึกษากรณีตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างจากใบกิจกรรม
   7.2. ตอบคำถามช่วยกันเป็นกลุ่ม
   7.3. ช่วยกันสรุปในข้อที่ 3 และข้อสุดท้ายของคำถามท้ายกรณีตัวอย่าง
   7.4. บันทึกคำตอบข้อสุดท้ายของทั้ง 3 ตัวอย่างลงในกระดาษ A4
   7.5. ตอบคำถามเพิ่มเติม โดยใช้คำถาม ดังนี้

7.5.1. คำตอบข้อสุดท้ายของทั้ง 3 ตัวอย่าง เหมือนกันอย่างไร

7.5.2. คำตอบข้อสุดท้ายของทั้ง 3 ตัวอย่าง แตกต่างกันอย่างไร

7.6. นักเรียนส่งกระดาษบันทึกผลการทำกิจกรรมที่ประกอบด้วย

7.6.1. ชื่อกลุ่มและชื่อหัวหน้ากลุ่ม

7.6.2. คำตอบข้อสุดท้ายของทั้ง 3 ตัวอย่าง

7.6.3. ผลการเปรียบเทียบความเหมือนของคำตอบข้อสุดท้ายจากทั้ง 3 ตัวอย่าง

7.6.4. ผลการเปรียบเทียบความต่างของคำตอบข้อสุดท้ายจากทั้ง 3 ตัวอย่าง

8. ครูตรวจคำตอบของทุกกลุ่มและเชื่อมโยงไปสู่คำตอบที่ถูกต้องของการระบุปัญหาเพื่อการได้มาซึ่งหัวข้อการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ครูเพิ่มเติมประเภทของคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน

9. ใช้คำตอบของนักเรียนนำอธิบายประเภทของคำถามโครงงานและลำดับขั้นตอนของการได้มาซึ่งหัวข้อของการทำโครงงาน

10. ครูแจกรูปโปสการ์ดกิจกรรมตั้งคำถาม กลุ่มละ 1 ใบ และให้นักเรียนตั้งคำถามอย่างน้อย 10 คำถาม โดยเป็นคำถามที่เหมาะสำหรับการทำโครงงาน (5 นาที)

11. ครูสุ่มคำตอบแล้วเขียนบนกระดาน จากนั้นร่วมกันอภิปรายคำถามที่เหมาะสำหรับทำโครงงานจากคำตอบของนักเรียนบนกระดาน

ขั้นสรุป

12. ครูนำคำตอบขั้นตอนการระบุปัญหาเพื่อการได้มาซึ่งหัวข้อทำโครงงานของนักเรียนนำสรุป

13. ครูให้ภาระงานนักเรียนไปทำเป็นการบ้าน ดังนี้

13.1. สรุปขั้นตอนการได้มาซึ่งหัวข้อการทำโครงงานเป็นผังกราฟิกที่เหมาะสม ประกอบด้วย

13.1.1. ขั้นตอนหรือวิธีการของการได้มาซึ่งหัวข้อของการทำโครงงาน

13.1.2. ประเภทของคำถามโครงงาน

13.2. เลือกสมาชิก กลุ่มละ 4-6 คนสำหรับทำโครงงาน พร้อมทั้งเขียนรายชื่อกลุ่ม

13.3. ตั้งคำถามเกี่ยวกับเรื่องที่นักเรียนสนใจในการทำโครงงานเป็นรายบุคคล คนละ 5 คำถาม

13.4. นำเสนอคำถามโครงงานภายในกลุ่ม และอภิปรายเลือกคำถามโครงงานเพื่อเลือกหัวข้อโครงงาน 2 คำถาม ที่กลุ่มนักเรียนสนใจมากที่สุด

13.5. ส่งผลการทำงานที่ประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

13.5.1. ชื่อกลุ่มที่ตั้งด้วยความคิดสร้างสรรค์ และรายชื่อสมาชิกภายในกลุ่ม

13.5.2. คำถามตามความสนใจรายบุคคล คนละ 5 คำถาม

13.5.3. คำถามที่กลุ่มนักเรียนสนใจ กลุ่มละ 2 คำถาม

<u>สื่อการเรียนรู้</u>

1. ใบกิจกรรมที่ 1 การระบุปัญหาเพื่อหาหัวข้อโครงงานวิทยาศาสตร์
2. โปสการ์ดเกี่ยวกับแหล่งพลังงาน 12 ใบ

<u>การประเมินการเรียนรู้</u>

1. ประเมินการตั้งคำถามตามความสนใจโดยใช้เกณฑ์การประเมินการให้คะแนนการตั้งคำถามโครงงานแบบรูบริกส์
2. ประเมินการได้มาซึ่งหัวข้อโครงงานเป็นผังกราฟิก โดยใช้เกณฑ์การประเมินการได้มาซึ่งหัวข้อโครงงานเป็นผังกราฟิกแบบรูบริกส์

ชื่อ .....ชั้น.....เลขที่.....

ใบกิจกรรมที่ 1 การระบุปัญหาเพื่อหาหัวข้อโครงงาน

<u>ตัวอย่างที่ 1 ไก่ขันตอนเช้า</u>

เด็กชายหลงได้ยินเสียงไก่ขันในตอนเช้าจึงคิดและตั้งคำถามในใจ แต่เด็กชายหลงได้เรียนวิธีการแก้ปัญหาแบบนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องรู้จักคิดแบบมีเหตุและผล ทั้งนี้เด็กชายหลงไม่ทราบมาก่อนว่าทำไมไก่ถึงขันในตอนเช้า จึงศึกษาข้อมูลและหาคำตอบอย่างเป็นขั้นตอนต่อไป

<u>คำถามท้ายตัวอย่างที่ 1 ไก่ขันตอนเช้า</u>

1. หลงใช้การสังเกตแบบใดจึงทราบว่าไก่ขัน

2. ภายหลังจากการสังเกต หลงเกิดข้อสงสัยหรือคำถามอะไร

3. คำถามที่หลงสงสัย นักเรียนคิดว่าหลงรู้คำตอบที่ถูกต้องมาก่อนหรือไม่

4. หลงควรทำอย่างไรหลังจากมีข้อสงสัยหรือคำถาม

5. หลงได้ศึกษาข้อมูลเพื่อรวบรวมสาเหตุที่ทำให้ไก่ขันมากพอ หลงควรทำอย่างไรกับสาเหตุที่รวบรวมได้

6. หลงควรทำอย่างไรจึงจะสามารถรวบรวมสาเหตุที่ทำให้ไก่ขันได้มากพอ

7. นักเรียนคิดว่าสาเหตุใดที่น่าจะทำให้ไก่ขันในตอนเช้ามากที่สุด

8. จากเรื่องนี้สามารถทำโครงงานใน “หัวข้อ” อะไรได้บ้าง

9. จากเริ่มต้นด้วยการสังเกตไปจนถึงการได้มาซึ่งหัวข้อโครงงานหลงมีลำดับขั้นตอนอะไรบ้าง

ตัวอย่างที่ 2 ไส้เดือนที่หายไป

ขณะที่ตึ๋งเดินอยู่หลังโรงอาหารสังเกตพบว่าไส้เดือนที่อยู่บนดินและตามโคนต้นไม้มีจำนวนลดลงมาก จึงไปสอบถามครูและศึกษาเรื่องเกี่ยวกับไส้เดือน ทั้งจากห้องสมุด ถามอาจารย์ผู้สอน และสืบค้นจากอินเตอร์เน็ต จากนั้นกลับไปเก็บข้อมูลตามสภาพจริงในบริเวณด้านหลังของโรงอาหารที่เป็นร้านค้าว่าอะไรคือ”สาเหตุ” ที่ทำให้ไส้เดือนหายไป นอกจากนี้ยังทดสอบสิ่งที่เขาได้ทำการสืบค้นมากับไส้เดือนมาทำการทดสอบกับไส้เดือนที่เขาเลี้ยงไว้ พบว่า .....
..... ดังนั้น จากผลการทดลองกับไส้เดือนที่เขาเลี้ยงไว้ เขาจึงหาทางแก้ไขโดยแจ้งต่อแม่ค้าแต่ละร้านให้ช่วยกันปรับปรุงแก้ไข

คำถามท้ายตัวอย่างที่ 2 ไส้เดือนหายไปไหน

1. ตึ๋งใช้การสังเกตแบบใดจึงทราบว่าไส้เดือนมีจำนวนลดน้อยลง

2. ภายหลังจากการสังเกต ตึ๋งเกิดข้อสงสัยหรือคำถามอะไร

3. คำถามที่ตึ๋งสงสัย นักเรียนคิดว่าตึ๋งรู้คำตอบที่ถูกต้องมาก่อนหรือไม่

4. ตึ๋งควรทำอย่างไรหลังจากมีข้อสงสัยหรือคำถาม

5. ตึ่งได้ศึกษาข้อมูลเพื่อรวบรวมสาเหตุที่ทำให้ไส้เดือนลดน้อยลงมากพอ ตึ๋งควรทำอย่างไรกับสาเหตุที่รวบรวมได้

6. ตึ๋งควรทำอย่างไรจึงรวบรวมสาเหตุที่ทำให้ไส้เดือนลดลงได้มากพอ

7. นักเรียนคิดว่าสาเหตุใดที่น่าจะทำให้ไส้เดือนลดน้อยลงได้มากที่สุดอันเกิดมาจากร้านค้า

8. จากเรื่องนี้สามารถทำโครงงานใน “หัวข้อ” อะไรได้บ้าง

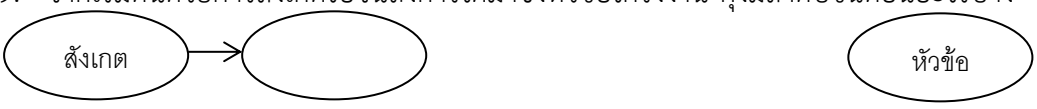
9. จากเริ่มต้นด้วยการสังเกตไปจนถึงการได้มาซึ่งหัวข้อโครงงาน ตึ๋งมีลำดับขั้นตอนอะไรบ้าง

ตัวอย่างที่ 3 แมลงสาปคุยกับเพื่อน

กุ้งสังเกตพบแมลงสาปชอบมากินอาหารพร้อมกันหลายๆ ตัว และบ่อยครั้งที่ใช้ยาฆ่าแมลงแล้วไม่ตาย จึงสงสัยว่าแมลงสาปสื่อสารกับเพื่อนตัวอื่นหรือไม่ จึงศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมถึงพฤติกรรมของแมลงสาปทั้งจากหนังสือ ถามครูสอนชีววิทยา และสืบค้นจากอินเตอร์เน็ต แล้วตั้งสมมติฐานว่า ถ้าแมลงสาปมีการสื่อสารกันมันจะต้องเลือกกินอาหารเพียงอย่างเดียวจากอาหารที่วางอยู่รอบตัวพวกมัน กุ้งจึงวางแผนและดำเนินการทดลองอยู่หลายครั้ง จึงนำข้อมูลที่สรุปได้ไปใช้เรียนรู้เพื่อพัฒนาการควบคุมแมลงสาปต่อไปได้

คำถามท้ายตัวอย่างที่ 3 แมลงสาปคุยกับเพื่อน

1. กุ้งใช้การสังเกตแบบใดในการสังเกตแมลงสาป
2. ภายหลังจากการสังเกต กุ้งเกิดข้อสงสัยหรือคำถามอะไร
3. คำถามที่กุ้งสงสัย นักเรียนคิดว่ากุ้งรู้คำตอบที่ถูกต้องมาก่อนหรือไม่
4. กุ้งทำอย่างไรหลังจากมีข้อสงสัยหรือคำถาม
5. ภายหลังจากกุ้งรวบรวมข้อมูลเสร็จ กุ้งดำเนินการอย่างไรต่อ
6. กุ้งทำอย่างไรจึงสามารถรวบรวมสาเหตุที่บ่งบอกว่าแมลงสาปมีการสื่อสารกันได้มากพอ
7. นักเรียนคิดว่าสาเหตุใดที่ทำให้แมลงสารน่าจะติดต่อสื่อสารกันเพื่อเลือกอาหาร
8. จากเรื่องนี้สามารถทำโครงงานใน “หัวข้อ” อะไรได้บ้าง
9. จากเริ่มต้นด้วยการสังเกตไปจนถึงการได้มาซึ่งหัวข้อโครงงาน กุ้งมีลำดับขั้นตอนอะไรบ้าง



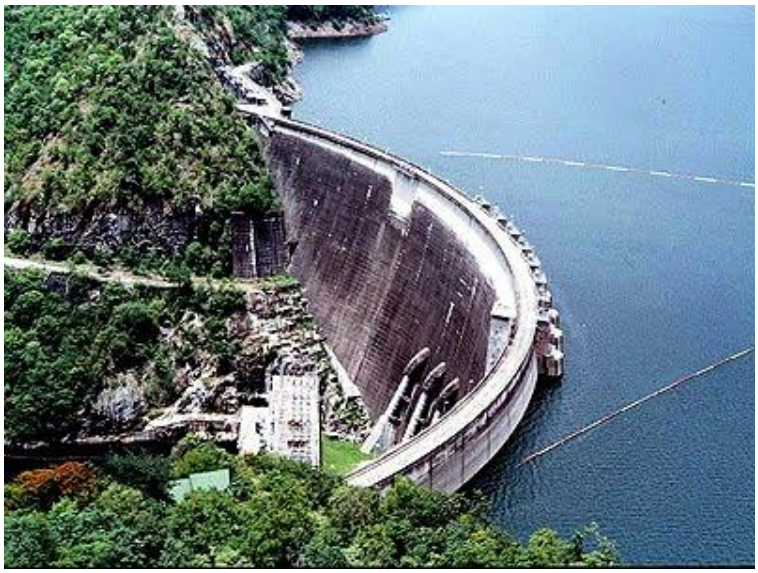
ประเมินการสรุปความรู้ด้วยผังกราฟิกโดยใช้เกณฑ์การประเมินการสรุปความรู้ด้วยผังกราฟิกแบบรูบริกส์

รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความเหมาะสมของการเลือกใช้รูปแบบผังกราฟิก	เลือกรูปแบบผังกราฟิกได้เหมาะสมและใช้ได้ถูกต้องกับข้อมูล	เลือกใช้ผังกราฟิกได้เหมาะสมกับข้อมูล	เลือกใช้ผังกราฟิกไม่เหมาะสม
ความถูกต้องขององค์ประกอบของผังกราฟิกประเภทนั้นๆ	ใช้ผังกราฟิกได้ถูกต้องตามองค์ประกอบของผังกราฟิกรูปแบบนั้นๆ	ใช้ผังกราฟิกได้ค่อนข้างถูกต้องตามองค์ประกอบมีความผิดพลาดเล็กน้อย	ใช้ผังกราฟิกไม่ถูกต้องตามองค์ประกอบของผังกราฟิกรูปแบบนั้นๆ
ความถูกต้องของเนื้อหา	บรรยายเนื้อหาในผังกราฟิกได้ครบถ้วน ถูกต้องและเหมาะสม	บรรยายเนื้อหาในผังกราฟิกได้ถูกต้อง	เนื้อหายังไม่ถูกต้อง
การใช้ภาษา	ใช้ภาษาได้ถูกต้อง กระชับชัดเจน และเข้าใจง่าย	ใช้ภาษาได้ถูกต้อง	ใช้ภาษาที่สื่อความหมายแต่ยากที่จะเข้าใจ
ความคิดสร้างสรรค์	ตกแต่งผังกราฟิกด้วยสีสันสวยงาม และจัดองค์ประกอบของพื้นที่ด้วยความคิดสร้างสรรค์	จัดองค์ประกอบของพื้นที่ผังกราฟิกอย่างสร้างสรรค์	จัดองค์ประกอบของพื้นที่ผังกราฟิกยังไม่ดีเท่าที่ควร

เกณฑ์การประเมินการได้มาซึ่งหัวข้อโครงงานเป็นผังกราฟิกแบบรูบริกส์

รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความสอดคล้องกับชีวิตจริง	คำถามหรือปัญหาโครงงานสอดคล้องกับวิถีชีวิตของนักเรียนอย่างแท้จริง	คำถามหรือปัญหาโครงงานค่อนข้างเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของนักเรียน	คำถามโครงงานเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของนักเรียนน้อย
ความเหมาะสมกับอายุและความสามารถของนักเรียน	คำถามหรือปัญหาโครงงานเหมาะสมกับอายุและระดับความสามารถของนักเรียน	คำถามหรือปัญหาโครงงานเหมาะสมกับช่วงอายุของนักเรียน แต่ค่อนข้างง่าย	คำถามหรือปัญหาโครงงานไม่เหมาะสมกับช่วงอายุของนักเรียน มีความง่ายจนเกินไป
ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์	ระบุคำถามหรือปัญหาโครงงานที่แสดงให้เห็นถึงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ไม่ซ้ำใคร	ระบุคำถามหรือปัญหาโครงงานที่ไม่ซ้ำใคร แต่ยังไม่สร้างสรรค์เท่าที่ควร	ระบุคำถามหรือปัญหาโครงงานซ้ำกับโครงงานที่เคยมีการศึกษา

รูปภาพโปสการ์ดที่ใช้ตั้งคำถาม



รูปที่ 1 เขื่อน

รูปที่ 2 กังหันลม

รูปที่ 3 แผงโซลาเซลล์

รูปที่ 4 น้ำมันไบโอดีเซลล์

รูปที่ 5 หลอดไฟหลากสี

รูปที่ 6 หลอด LED หลากสี

รูปที่ 7 นักดนตรีจากแก้วน้ำ

รูปที่ 8 เด็กส่องกระจกเว้า

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นฐาน ร่วมกับเทคนิคผังกราฟิก
เรื่อง การกำระบุตัวแปร และการตั้งสมมติฐาน

รายวิชาเพิ่มเติม โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 **ระดับช่วงชั้นที่ 3 (มัธยมศึกษาปีที่ 5)**
เวลา 2 ชั่วโมง **สอนโดย นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข**

<u>วัตถุประสงค์การเรียนรู้</u>

เมื่อนักเรียนเรียนจบสามารถ

1. วิเคราะห์ตัวอย่างที่กำหนดให้ได้
2. อธิบายความหมายของตัวแปรประเภทต่างๆ ได้
3. ระบุตัวแปรจากตัวอย่างที่กำหนดให้ได้
4. ตั้งสมมติฐานจากตัวแปรที่กำหนดให้ตามลักษณะของการตั้งสมมติฐาน

<u>สาระการเรียนรู้</u>

1. ความรู้ (K)

ตัวแปร หมายถึง สิ่งที่แปรเปลี่ยนค่าได้

ประเภทของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลองวิทยาศาสตร์ สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. **ตัวแปรต้น** หมายถึง สิ่งที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลต่างๆ
2. **ตัวแปรตาม** หมายถึง สิ่งที่เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรต้น
3. **ตัวแปรคาบคุม** หมายถึง สิ่งอื่นๆ นอกเหนือจากตัวแปรต้นที่จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ถ้าหากไม่มีการควบคุมให้เหมือนกัน

ลักษณะการตั้งสมมติฐาน

นิยมตั้งในรูป “ถ้า.....(ตัวแปรต้น).....ส่งผลต่อ.....(ตัวแปรตาม).....ดังนั้น.....(ผลที่เกิดขึ้น).....”

ตัวอย่างการตั้งสมมติฐาน

- ถ้าแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นถ้าพืชที่ได้รับแสงจะเจริญเติบโต ส่วนพืชที่ไม่ได้รับแสงจะไม่เจริญเติบโต ทั้งนี้ต้องควบคุมตัวแปรอื่นๆ ให้เหมือนกัน

2. ทักษะกระบวนการ (P)

- ทักษะการวิเคราะห์
- ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร
- ทักษะการสื่อสาร
- ทักษะการตั้งสมมติฐาน
- ทักษะการสรุปผล
- ทักษะการทำงานกลุ่ม
- ทักษะการอภิปราย

3. ลักษณะที่พึงประสงค์ (A)

- การเป็นนักตั้งสมมติฐาน

<u>กิจกรรมการเรียนรู้</u>

ขั้นนำ

1. ครูแสดงภาพมดที่กำลังขึ้นอาหาร แล้วใช้คำถามดังนี้

1.1. มดขึ้นอาหารเพราะเหตุใด

2. ครูให้นักเรียนเขียนคำตอบเป็นรายบุคคล คนละ 3 คำตอบ (1 นาที)

3. ครูสุ่มคำตอบและเขียนคำตอบบนกระดานโดยใช้ผังกรฟิกแบบ Factor Organizer

4. ครูให้นักเรียนเลือกคำตอบที่น่าจะเป็นสาเหตุของการที่มดขึ้นอาหารมากที่สุด 1 คำตอบ โดยให้นักเรียนทั้งห้องช่วยกันโหวต

5. ครูให้นักเรียนตั้งสมมติฐานโดยอาศัยคำตอบที่ได้จากการโหวตของนักเรียน (2 นาที)

6. ครูสุ่มคำตอบของนักเรียนพร้อมทั้งเขียนบนกระดาน แล้วใช้คำถามดังนี้

6.1. จากสมมติฐาน ตัวแปรต้นคืออะไร

6.2. จากสมมติฐาน ตัวแปรตามคืออะไร

7. ครูสุ่มคำตอบและเชื่อมโยงเข้าสู่กิจกรรมการระบุตัวแปรและการตั้งสมมติฐาน

ขั้นกิจกรรม

8. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 1 แบบฝึกทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร และใบกิจกรรมที่ 2 แบบฝึกทักษะการตั้งสมมติฐาน

9. ครูนำนักเรียนทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 1 ดังนี้

9.1. ครูอ่านข้อคำถามที่ 1 แล้วให้นักเรียนตอบคำถาม เพื่อเป็นตัวอย่างในการทำกิจกรรม

9.2. ครูใช้คำถามดังนี้

9.2.1. ตัวแปรต้น มีความหมายว่าอย่างไร

9.2.2. ตัวแปรตาม มีความหมายว่าอย่างไร

9.2.3. ตัวแปรควบคุม มีความหมายว่าอย่างไร

9.3. ครูให้นักเรียนตอบคำถามที่เหลือในใบกิจกรรมที่ 1

9.4. ครูตรวจคำตอบ โดยอ่านข้อคำถามทีละข้อแล้วให้นักเรียนตอบพร้อมกัน

10. ครูนำนักเรียนทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 2 โดยครูอ่านข้อคำถามข้อที่ 1 แล้วให้นักเรียนตอบ ระหว่างนั้นครูปรับแก้ลักษณะการเขียนสมมติฐานให้อยู่ในรูปแบบที่ถูกต้อง (ครูนำ 1 ข้อ เพื่อเป็นตัวอย่าง)

11. นักเรียนดำเนินการตั้งสมมติฐานตามใบกิจกรรมที่ 2 ในข้อที่เหลือ โดยให้นักเรียนทำเป็นรายบุคคล 5 นาที และสรุปเป็นรายกลุ่ม 5 นาที

12. ครูตรวจคำตอบพร้อมทั้งแนะนำวิธีการเขียนสมมติฐานที่ถูกต้อง

13. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 3 ระบุตัวแปรและตั้งสมมติฐานจากตัวอย่างโครงงานวิทยาศาสตร์ แล้วกำหนดภาระงาน ดังนี้

13.1. ศึกษาตัวอย่างโครงงานวิทยาศาสตร์

13.2. ระบุตัวแปรแต่ละประเภท

13.3. ตั้งสมมติฐานจากตัวอย่างโครงงาน

14. ครูตรวจคำตอบ

15. ครูถามนักเรียน โดยใช้คำถามดังนี้

15.1. นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดคนถึงจามเมื่อละอองเจอพริกไทย

16. ครูระดมคำตอบจากนักเรียนทั้งห้องให้ได้ประมาณ 4-5 คำตอบ พร้อมทั้งเขียนสาเหตุของการจามบนกระดานด้วยผังกราฟิก

17. ครูใช้คำถามดังนี้

17.1. นักเรียนคิดว่าตัวแปรใดน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้คนจามเมื่อเจอพริกไทยมากที่สุด (ให้นักเรียนทั้งห้องโหวตคำตอบ 1 คำตอบ)

17.2. นักเรียนจะเขียนสมมติฐานว่าอย่างไร

17.3. อะไรคือตัวแปรต้น

17.4. อะไรคือตัวแปรตาม

17.5. หากต้องทำการทดลอง นักเรียนจะกำหนดอะไรบ้างให้เป็นตัวแปรควบคุม

18. ครูตรวจคำตอบพร้อมทั้งเชื่อมโยงไปสู่ข้อมูลที่ถูกต้อง

ขั้นสรุป

19. ครูนำสรุปโดยใช้คำถามต่อไปนี้

19.1. จากที่เรียนมาในวันนี้ ตัวแปรมีกี่ประเภท อะไรบ้าง

19.2. ตัวแปรต้นหมายถึงอะไร

19.3. ตัวแปรตามคืออะไร

19.4. ตัวแปรควบคุมคืออะไร

19.5. เมื่อตั้งสมมติฐานควรประกอบด้วยตัวแปรกี่ชนิด

19.6. นักเรียนควรมีหลักในการตั้งสมมติฐานอย่างไร

20. ครูมอบหมายภาระงานเป็นการบ้าน ดังนี้

20.1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับคำถามโครงงาน 2 คำถามที่นักเรียนได้เลือก เพื่อหาความเป็นไปได้ในการเลือกหัวข้อโครงงานที่สนใจ

20.2. เลือกหัวข้อโครงงานที่สนใจที่สุดและสามารถดำเนินการทำโครงงานได้จริง 1 หัวข้อ โดยอาศัยผลการสืบค้นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจ

20.3. ระบุตัวแปรจากคำถามโครงงานของนักเรียน

20.4. ตั้งสมมติฐานโครงงาน

<u>สื่อการเรียนรู้</u>

1. ใบกิจกรรมที่ 1 แบบฝึกทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร
2. ใบกิจกรรมที่ 2 แบบฝึกทักษะการตั้งสมมติฐาน
3. ใบกิจกรรมที่ 3 ระบุตัวแปรและตั้งสมมติฐานจากตัวอย่างโครงงานวิทยาศาสตร์

<u>การประเมินการเรียนรู้</u>

1. การระบุตัวแปรจากคำถามโครงงานที่นักเรียนสนใจโดยใช้เกณฑ์การประเมินการระบุตัวแปรแบบรูบริกส์
2. การตั้งสมมติฐานโครงงานจากหัวข้อนักเรียนสนใจโดยใช้เกณฑ์การประเมินการตั้งสมมติฐานแบบรูบริกส์
3. การนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงานโดยใช้เกณฑ์การประเมินการนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรแบบรูบริกส์

รูปที่ 1 มดขึ้นอาหาร

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่..... .....

ใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง แบบฝึกทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร

คำชี้แจง: จากข้อความในแต่ละข้อ ให้นักเรียนระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม

1) ความสูงของต้นถั่วขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ต้นถั่วได้รับ
   ตัวแปรต้น คือ
   .....
   ตัวแปรตาม คือ
   .....
   ตัวแปรควบคุม คือ
   .....
2) ปริมาณของแสงที่แตกต่างกันในแต่ละวันมีผลต่อจำนวนของไข่ที่ถูกฟักออกมา
   ตัวแปรต้น คือ
   .....
   ตัวแปรตาม คือ
   .....
   ตัวแปรควบคุม คือ
   .....
3) เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ไข่ที่ต้มจะสุกเร็วขึ้น
   ตัวแปรต้น คือ
   .....
   ตัวแปรตาม คือ
   .....
   ตัวแปรควบคุม คือ
   .....
4) หญ้าจะสูงขึ้นถ้าได้รับปริมาณน้ำและปุ๋ยมากขึ้น
   ตัวแปรต้น คือ
   .....
   ตัวแปรตาม คือ
   .....
   ตัวแปรควบคุม คือ
   .....

5) เวลาที่ใช้ในการวิ่ง 1 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณการออกกำลังกาย
ตัวแปรต้น คือ
.....
ตัวแปรตาม คือ
.....
ตัวแปรควบคุม คือ
.....

6) แม่เหล็กไฟฟ้าจะดูดจำนวนตะปูได้มากขึ้นหรือไม่ ถ้าแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีจำนวนแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น
ตัวแปรต้น คือ
.....
ตัวแปรตาม คือ
.....
ตัวแปรควบคุม คือ
.....

7) การงอกของเมล็ดข้าวโพดในเวลาที่ต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่เมล็ดข้าวโพดได้รับใช่หรือไม่
ตัวแปรต้น คือ
.....
ตัวแปรตาม คือ
.....
ตัวแปรควบคุม คือ
.....

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

ใบกิจกรรมที่ 2 แบบฝึกทักษะการตั้งสมมติฐาน

คำชี้แจง: จงพิจารณาปัญหาต่อไปนี้พร้อมทั้งตั้งสมมติฐาน

1) ปี๊ดเลี้ยงผึ้งไว้หลายรัง เขาสังเกตเห็นว่าจำนวนของตัวผึ้งที่ฟักออกจากไข่มีปริมาณต่างๆ กัน ในช่วงเวลาที่ต่างกัน เขาสงสัยตัวแปรต่อไปนี้อาจมีผลต่ออัตราที่ตัวผึ้งฟักออกจากไข่

ก) อุณหภูมิ ข) ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ภายในรังผึ้ง

ค) ปริมาณอาหารที่ได้รับ ง) จำนวนของตัวผึ้งที่มีชีวิตอยู่ภายในรัง

จงตั้งสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรเหล่านี้

ก.....

ข.....

ค.....

ง.....

2) เปี๊ยกสงสัยตัวแปรต่อไปนี้อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของบัคเตอรี

ก) อุณหภูมิที่แวดล้อม

ข) ปริมาณอาหาร

ค) ความชื้นสัมพัทธ์ที่แวดล้อม

จงตั้งสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรเหล่านี้

ก.....

ข.....

ค.....

3) จิ๊บสงสัยตัวแปรต่อไปนี้อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไผ่

ก) ปริมาณแสงแดดที่ได้รับ

ข) ปริมาณอาหารที่ได้รับ

ค) ปริมาณปุ๋ยที่ได้รับ

จงตั้งสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรเหล่านี้

ก.....

ข.....

ค.....

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

ใบกิจกรรมที่ 3 ระบุตัวแปรและตั้งสมมติฐานจากตัวอย่างโครงงานวิทยาศาสตร์

ตัวอย่างที่ 1 โครงงานดินน้ำมันจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน

วัตถุประสงค์โครงงาน

1. ศึกษาการผลิตดินน้ำมันจากเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน
2. ศึกษาคุณภาพของดินน้ำมันที่ผลิตกับดินน้ำมันตามท้องตลาด

ขั้นตอนการทำการทดลอง แบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

1. ผลิตดินน้ำมันโดยต้มน้ำ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนเดือด แล้วใส่เปลือกมังคุดที่ปั่นละเอียด 20 กรัม แป้งข้าวเจ้า 10 กรัม สบู่ 2 กรัม กาว 25 กรัม น้ำมันมะกอก 5 กรัม และสีตามต้องการ คนสารดังกล่าวจนส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนวดด้วยมือ 15 นาที สำหรับการผลิตดินน้ำมันจากเปลือกทุเรียนทำเช่นเดียวกันกับเปลือกมังคุด
2. เปลี่ยนปริมาณสบู่เป็น 4 กรัม 6 กรัม และ 8 กรัม แล้วนำดินน้ำมันที่ได้มาทดสอบความเหนียว โดยสังเกตจากความสามารถในการรับน้ำหนักวัตถุ 2.5 กรัม และสังเกตรอยแตกร้าวเมื่อดินน้ำมันแข็งตัว ซึ่งใช้เวลา 16 วัน
3. นำดินน้ำมันที่ผลิตมาเปรียบเทียบคุณภาพกับดินน้ำมันจากท้องตลาด

ผลการทดลอง

สามารถผลิตดินน้ำมันจากเปลือกมังคุด และเปลือกทุเรียนได้ และดินน้ำมันที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพใกล้เคียงกับดินน้ำมันจากท้องตลาด

1. จากตัวอย่างข้างต้น ตัวแปรแต่ละประเภทมีอะไรบ้าง

   1.1. ตัวแปรต้น

   .....

   1.2. ตัวแปรตาม

   .....

   1.3. ตัวแปรควบคุม

   .....

2. จากตัวอย่างข้างต้น นักเรียนควรตั้งสมมติฐานโครงงานว่าอย่างไร

   .....

   .....

   .....

ตัวอย่างที่ 2 โครงงานกระถางย่อยสลาย

วัตถุประสงค์โครงงาน เพื่อศึกษา

1. ส่วนต่างๆ ของต้นมะพร้าวที่ใช้ทำกระถางย่อยสลายได้
2. อัตราส่วนในการทำกระถางย่อยสลาย
3. น้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในกระถางย่อยสลาย
4. ระยะเวลาในการย่อยสลายของกระถาง

ขั้นตอนการทำการทดลอง แบ่งเป็น 4 ตอน ดังนี้

1. ศึกษาส่วนต่างๆ ของต้นมะพร้าวที่นำมาใช้ในการทำกระถางย่อยสลาย
2. ศึกษาอัตราส่วนในการทำกระถางย่อยสลาย
3. ศึกษาน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการทำกระถางย่อยสลาย
4. ศึกษาระยะเวลาในการย่อยสลายของกระถาง

ผลการทดลอง

กระถางย่อยสลายทำจากใยมะพร้าว และขุยมะพร้าวในอัตราส่วน ใยมะพร้าว:ขุยมะพร้าว:แป้งเปียก เป็น 3:2:2 น้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการทำกระถางย่อยสลาย คือ 1,500 กรัม ซึ่งจะได้กระถางที่มีความแข็งแรง สวยงาม มีอายุการใช้งาน 43 วัน และกระถางใช้เวลาในการย่อยสลายประมาณ 9-10 สัปดาห์

3. จากตัวอย่างข้างต้น ตัวแปรแต่ละประเภทมีอะไรบ้าง

   3.1. ตัวแปรต้น

   .....

   3.2. ตัวแปรตาม

   .....

   3.3. ตัวแปรควบคุม

   .....

4. จากตัวอย่างข้างต้น นักเรียนควรตั้งสมมติฐานโครงงานว่าอย่างไร

   .....

   .....

   .....

   .....

   .....

เกณฑ์การประเมินการระบุตัวแปรแบบรูบริกส์

รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความครบถ้วนของตัวแปรแต่ละประเภท	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมครบทุกประเภทของตัวแปร	มีการระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพียง 2 ประเภท	ระบุตัวแปรเพียงประเภทเดียว
ความถูกต้องและชัดเจนตามประเภทของตัวแปร	ระบุตัวแปรได้ชัดเจนถูกต้องตามประเภทของตัวแปร	มีการระบุตัวแปร แต่ยังใช้ภาษาไม่ถูกต้อง	ระบุตัวแปรไม่ถูกต้อง

การตั้งสมมติฐานโครงงานจากหัวข้อนักเรียนสนใจโดยใช้เกณฑ์การประเมินการตั้งสมมติฐานแบบรูบริกส์

รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความถูกต้องและความชัดเจนของตัวแปร	ตั้งสมมติฐานที่แสดงให้เห็นถึงตัวแปรต้น และตัวแปรตาม ได้อย่างครบถ้วนถูกต้อง และชัดเจน	ตั้งสมมติฐานที่แสดงให้เห็นถึงตัวแปรต้นหรือตัวแปรตามได้ถูกต้อง แต่ไม่ครบทุกตัวแปร	ตั้งสมมติฐานที่ระบุตัวแปรไม่ครบ และไม่ถูกต้อง
ความสอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงาน	ตั้งสมมติฐานได้น่าสนใจเหมาะสมและสอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงาน	ตั้งสมมติฐานโครงงานสอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงาน	ตั้งสมมติฐานไม่สอดคล้องกับคำถามหรือปัญหาโครงงาน
ความสามารถในการวัดข้อมูลได้จริง	ตัวแปรที่กำหนดในการตั้งสมมติฐานสามารถทำการวัดข้อมูลในเชิงปริมาณหรือคุณภาพได้จริง		

เกณฑ์การประเมินการนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรแบบรูบริกส์

รายการตัวบ่งชี้	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ความเหมาะสมของการนิยามความหมายของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	นิยามความหมายได้เหมาสม ชัดเจน ด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย	นิยามความหมายได้เหมาะสม แต่ยังไม่ชัดเจนเท่าที่ควร	นิยามความหมายไม่ชัดเจน ใช้ภาษาที่เข้าใจยาก

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก
เรื่อง การออกแบบและวางแผนทำโครงงาน การทดลองตามแผน และการรวบรวมข้อมูล

รายวิชาเพิ่มเติม โครงงานวิทยาศาสตร์ 2 **ระดับช่วงชั้นที่ 3 (มัธยมศึกษาปีที่ 5)**
เวลา 4 ชั่วโมง **สอนโดย นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข**

<u>วัตถุประสงค์การเรียนรู้</u>

เมื่อเรียนจบนักเรียนสามารถ

1. วิเคราะห์ตัวอย่างที่กำหนดให้ เพื่อระบุตัวแปรในการทำการทดลองได้
2. ตั้งสมมติฐานการทดลองได้
3. ออกแบบและวางแผนการทดลองจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้
4. ดำเนินการทดลองได้
5. บันทึกผลการทดลองได้อย่างเหมาะสม
6. เป็นผู้มีทักษะการทดลอง
7. ตระหนักถึงความสำคัญของการออกแบบและวางแผนการทดลอง

<u>สาระการเรียนรู้</u>

1. **ความรู้ (K)**
   การทดลอง หมายถึง กระบวนการปฏิบัติการเพื่อหาคำตอบจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ การทดลองประกอบด้วยกิจกรรม 3 ขั้น ดังนี้
   1. **การออกแบบการทดลอง** หมายถึง การวางแผนการทดลองก่อนลงมือปฏิบัติจริง
   2. **การปฏิบัติการทดลอง** หมายถึง การลงมือปฏิบัติและใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
   3. **การบันทึกผลการทดลอง** หมายถึง การจดบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
2. **ทักษะกระบวนการ (P)**
   - ทักษะการวิเคราะห์
   - ทักษะการเปรียบเทียบ
   - ทักษะการสื่อสาร
   - ทักษะการสื่อความหมายด้วยผังกราฟิก
   - ทักษะการสรุปผล
   - ทักษะการทำงานกลุ่ม
   - ทักษะการอภิปราย
   - ทักษะการสังเกต
   - ทักษะการตั้งคำถาม
3. **ลักษณะที่พึงประสงค์ (A)**
   - เป็นผู้มีความสามารถออกแบบ วางแผน และดำเนินการทดลอง

<u>กิจกรรมการเรียนรู้</u>

ขั้นนำ

1. ครูใช้คำถาม ดังนี้
    1.1. จุดเริ่มต้นของการทำโครงงานคืออะไร
    1.2. นักเรียนสามารถใช้อวัยวะใดบ้างในการสังเกต
    1.3. นักเรียนจะได้อะไรจากการสังเกต
    1.4. นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกตไปทำอะไร
    1.5. การที่นักเรียนคิดเพื่อให้เกิดคำถาม เราเรียกลักษณะของการคิดแบบนี้ว่าอย่างไร
    1.6. เมื่อมีข้อสงสัย นักเรียนควรทำอย่างไร
    1.7. นักเรียนจะสามารถทำการสืบค้นได้เลยหรือไม่
    1.8. ควรตั้งคำถามเกี่ยวกับสิ่งที่นักเรียนสงสัยก่อนทำการสืบค้นหรือไม่
    1.9. หลังจากตั้งคำถาม นักเรียนควรทำอย่างไร
    1.10. เพราะเหตุใดจึงควรตั้งคำถามก่อนการสืบค้นข้อมูล
    1.11. หลังจากสืบค้นข้อมูลเอกสารงานวิจัย นักเรียนควรนำข้อมูลที่สืบค้นได้ไปทำอย่างไร
    1.12. นักเรียนสามารถดำเนินการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลได้เลยหรือไม่
    1.13. นักเรียนควรออกแบบและวางแผนการดำเนินการก่อนหรือไม่
    1.14. เพราะเหตุใดจึงต้องมีการออกแบบและวางแผนการดำเนินการทำโครงงานก่อน
    1.15. การออกแบบและวางแผนการดำเนินการ ควรมีขั้นตอนที่ชัดเจนหรือไม่
    1.16. เพราะเหตุใดจึงต้องอธิบายขั้นตอนการดำเนินการอย่างชัดเจน
    1.17. การวางแผนขั้นตอนการดำเนินการควรอธิบายเพื่อให้เฉพาะตัวนักเรียนเองเข้าใจ หรือสามารถให้คนอื่นเข้าใจและปฏิบัติตามได้
2. ครูเชื่อมโยงเข้าสู่กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นกิจกรรม

3. ครูแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 6-8 คน ให้ได้จำนวนกลุ่มเป็นเลขคู่
4. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 1 และอุปกรณ์
5. ครูมอบหมายภาระงาน ดังนี้
    5.1. ให้นักเรียนสังเกตแก้วที่ 1 (ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำเปล่า สีผสมอาหาร และแท่งแก้ว)
    5.2. ให้นักเรียนตั้งสมมติฐานจากอุปกรณ์ที่กำหนดให้ เกี่ยวกับส่วนประกอบที่ใช้ของแก้วตัวอย่าง โดยใช้คำถามดังนี้

5.2.1. เพื่อให้ได้ลักษณะเหมือนกับแก้วตัวอย่างที่ 1 นักเรียนจะใช้ส่วนประกอบอะไรบ้าง

5.3. ให้นักเรียนใช้อุปกรณ์ที่กำหนดให้ทำให้มีลักษณะเหมือนกับแก้วตัวอย่าง (อุปกรณ์ที่แจกให้มีดังนี้ 1) แก้วน้ำ 2) น้ำมันปาล์ม 3) สีผสมอาหารสีเหลือง 4) น้ำเปล่า 5) น้ำยาล้างจานสีเหลือง และ 6) น้ำสบู่สีเหลือง)

5.4. แก้วที่นักเรียนทำกำหนดให้เป็นแก้วที่ 2

5.5. ให้นักเรียนเขียนวิธีทำให้ชัดเจน

5.6. ส่งกระดาษวิธีทำให้เพื่อนโต๊ะข้างๆ

5.7. ทำตามวิธีของเพื่อนกลุ่มข้างๆ โดยกำหนดให้เป็นแก้วที่ 3

5.8. ให้นักเรียนเปรียบเทียบแก้วที่ 2 ของกลุ่มนักเรียนกับแก้วที่ 3 ของกลุ่มเพื่อนข้างๆ

5.9. นักเรียนเปรียบเทียบในประเด็นต่อไปนี้

5.9.1. ผลการเปรียบเทียบ 2 กลุ่มเหมือนกันอย่างไร เพราะเหตุใด

5.9.2. ผลการเปรียบเทียบต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

6. ครูให้นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียนในประเด็นดังต่อไปนี้

6.1. ตั้งชื่อกลุ่มอย่างสร้างสรรค์

6.2. สมมติฐานการทดลอง

6.3. ผลการทดลอง

6.4. ผลการเปรียบเทียบ

6.5. สิ่งที่ได้เรียนรู้จากกิจกรรม

7. ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการออกแบบ การวางแผน การดำเนินการทดลอง และการบันทึกผลการทดลองที่ได้จากการสังเกตระหว่างนักเรียนดำเนินกิจกรรม และการนำเสนอ (10 นาที)

8. ครูแจกใบกิจกรรมที่ 2 และอุปกรณ์ (อุปกรณ์ได้แก่ 1) ฉายขนาดเล็กกลุ่มละ 1 กระบอก 2) แผ่นฟิล์ม สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน 3) กระดาษสีต่างๆ และ 4) ใบไม้สีเขียวที่มีความเข้มอ่อนของสีเขียวแตกต่างกัน กลุ่มละ 5 ใบ)

9. ครูมอบภาระงานดังนี้

9.1. ให้นักเรียนฉายไฟฉายที่มีแสงสีขาว สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับไปยังกระดาษสีต่างๆ ทำการสังเกตสีที่สะท้อนออกมาจากกระดาษแต่ละสี แล้วทำการบันทึกผล

9.2. ทดลองนำใบไม้สีเขียวที่มีความเข้มอ่อนของสีเขียวแตกต่างกันมาส่องกับหลอดไฟทั้ง 3 สี สังเกต และบันทึกผล

9.3. ตอบคำถามเพิ่มเติม ดังนี้

9.3.1. แสดงใดที่ทำให้ใบไม้มีสีเขียวมากกว่าความเป็นจริง

9.3.2. ถ้านักเรียนไปซื้อผักในร้านที่ติดหลอดไฟโทนสีเหลือง กับร้านที่ติดหลอดไฟโทนสีเขียวออกน้ำเงิน นักเรียนจะเห็นผักที่มีสีเขียวมีลักษณะเป็นอย่างไร

10. ครูให้นักเรียนนำเสนอหน้าชั้นเรียนในประเด็นต่อไปนี้

10.1. ผลการทดลอง

10.2. คำตอบของคำถามเพิ่มเติม

10.3. สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้

11. ครูรวบรวมประเด็นที่น่าสนใจจากการนำเสนอของนักเรียน เพื่อใช้ในการนำสรุป

ขั้นสรุป

12. ครูนำสรุปโดยอาศัยประเด็นจากการนำเสนอของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการออกแบบ วางแผนการดำเนินการ พร้อมทั้งประเด็นปัญหาที่อาจจะพบระหว่างการดำเนินการ

13. ครูมอบหมายภาระงานให้นักเรียนทำเป็นการบ้าน ดังนี้

13.1. ศึกษาเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อโครงงานที่นักเรียนได้เลือก

13.2. กำหนดวัตถุประสงค์ของการทำโครงงานของนักเรียน

13.3. ออกแบบและวางแผนการดำเนินการทำโครงงาน

13.4. ทำรายการวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงาน

<u>สื่อการเรียนรู้</u>

1. ใบกิจกรรมที่ 1
2. อุปกรณ์ในกิจกรรมที่ 1
3. ใบกิจกรรมที่ 2
4. อุปกรณ์สำหรับดำเนินกิจกรรมที่ 2

<u>การประเมินการเรียนรู้</u>

1. ประเมินการมีส่วนร่วมกิจกรรมในชั้นเรียนโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรม
2. ประเมินการออกแบบและวางแผนการดำเนินการทำโครงงาน โดยใช้เกณฑ์การประเมินการออกแบบและวางแผนการดำเนินการทำโครงงานแบบรูบริกส์

ชื่อ .....ชั้น.....เลขที่.....

ใบกิจกรรมที่ 1 ออกแบบและวางแผนการทดลอง

คำชี้แจง:

1. ให้นักเรียนสังเกตแก้วตัวอย่างแก้วที่ 1
2. ให้นักเรียนตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับส่วนประกอบของแก้วตัวอย่าง โดยอาศัยอุปกรณ์ที่กำหนดให้
3. ให้นักเรียนใช้อุปกรณ์ที่กำหนดให้ทำให้มีลักษณะเหมือนกับแก้วตัวอย่าง
4. กำหนดให้แก้วที่นักเรียนทำเป็นแก้วที่ 2
5. ให้นักเรียนเขียนวิธีทำให้ชัดเจน
6. ส่งกระดาษวิธีทำให้กลุ่มเพื่อนข้างๆ
7. ทำตามวิธีของเพื่อนที่นักเรียนสลับวิธีทำ โดยกำหนดให้แก้วที่ทำตามวิธีของเพื่อนเป็นแก้วที่ 3
8. เปรียบเทียบแก้วที่ 2 ของกลุ่มนักเรียน กับแก้วที่ 3 ของเพื่อนที่สลับวิธีทำในประเด็นต่อไปนี้
    - 8.1. ผลการเปรียบเทียบของ 2 กลุ่ม เหมือนกันอย่างไร เพราะเหตุใด
    - 8.2. ผลการเปรียบเทียบของ 2 กลุ่ม ต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด
    - 8.3. นักเรียนเรียนรู้อะไรจากการทำกิจกรรม
9. นักเรียนบันทึกผลการทำกิจกรรมลงในกระดาษ A4 และส่งครูในประเด็นดังต่อไปนี้
    - 9.1. ชื่อกลุ่มและชื่อหัวหน้ากลุ่ม
    - 9.2. สมมติฐานของการทดลอง
    - 9.3. ผลการทดลอง
    - 9.4. ผลการเปรียบเทียบ
    - 9.5. สิ่งที่ได้เรียนรู้

ภาคผนวก ง

เครื่องมือที่ใช้กำกับพฤติกรรมการเรียนรู้

1. แบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
2. แบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

แบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง

- แบบประเมินฉบับนี้สร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ในส่วนของกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์นักเรียนมัธยมศึกษาระหว่างเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบรายงานผลความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

- แบบรายงานผลความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ เป็นการรายงานผลความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาจากการสังเกตพฤติกรรมการสร้างโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละกลุ่มระหว่างการดำเนินการทำโครงงานของนักเรียนที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ซึ่งคะแนนที่ระบุไว้ในแบบรายงานผลนี้มาจากการสังเกตแล้วประเมินนักเรียนตามรายการประเมินที่กำหนดทั้งหมด 11 รายการ และกำหนดระดับคะแนนแต่ละรายการเป็น 3 ระดับ ดังนั้นคะแนนของความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์จึงอยู่ระหว่าง 0-11 คะแนน จากนั้นนำผลคะแนนรวมที่ได้แปลผลเป็นระดับความสามารถในส่วนของความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์
- กำหนดเกณฑ์ให้คะแนนเป็นระดับความสามารถในกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดย (1) ทำภาระงานเสร็จตามกำหนดให้ 1 คะแนน (2) ทำภาระงานเสร็จช้าหรือไม่ตรงตามกำหนดให้ 0 คะแนน และ (3) ไม่ส่งภาระงานให้ -1 คะแนน ซึ่งสามารถแปลผลการให้คะแนนเป็นระดับความสามารถได้ ดังนี้

ช่วงคะแนน	ระดับความสามารถ
9-11	นักเรียนมีความสามารถในระดับดีมาก
5-8	นักเรียนมีความสามารถในระดับดี
0-4	นักเรียนมีความสามารถในระดับควรปรับปรุง

ส่วนที่ 2 แบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

- แบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ เป็นแบบบันทึกกระบวนการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาของนักเรียนแต่ละกลุ่มระหว่างการดำเนินการทำโครงงานของนักเรียนที่เรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

ส่วนที่ 3 ร่องรอยความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

- ร่องรอยความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์เป็นหลักฐานที่ใช้ในการพิจารณาการให้คะแนน โดยปรับจากข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ส่วนที่ 1 แบบรายงานผลความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

กลุ่มที่ ..... โครงงานวิทยาศาสตร์เรื่อง .....
ประเมินวันที่ .....

รายการประเมิน	ผลการประเมิน			ข้อสังเกต
	1	0	-1	
1. การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์				
2. การระบุตัวแปร				
3. การสืบค้นข้อมูล				
4. การตั้งสมมติฐาน				
5. การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์				
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน				
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล				
8. การแปลผลข้อมูล				
9. การสรุปและอภิปรายผล				
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์				
11. การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์				

รวมคะแนน ..... คะแนน

ระดับความสามารถ ❑ ดีมาก ❑ ดี ❑ ควรปรับปรุง

ลงชื่อ ..... (ผู้ประเมิน)

ส่วนที่ 2 แบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

กลุ่มที่ .....ชื่อหัวหน้ากลุ่ม .....

คำชี้แจง:ให้นักเรียนบันทึกวันที่ที่นักเรียนคาดว่าจะทำและทำเสร็จตามรายการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ พร้อมทั้งบันทึกหรือรวบรวมหลักฐานการดำเนินงานเพื่อแสดงการบรรลุภาระงานตามแต่ละระยะของการทำโครงงาน

Phase 1: ระบุคำถามโครงงานจากแหล่งเรียนรู้เพื่อกำหนดหัวข้อโครงงาน	**ช่วงเวลาที่จะทำ**	**วันที่ทำเสร็จ**
1. เลือกเพื่อนสมาชิกเพื่อจัดกลุ่มสำหรับทำโครงงานวิทยาศาสตร์ กลุ่มละ 4-5 คน พร้อมส่งรายชื่อและกำหนดหน้าที่ของสมาชิกภายในกลุ่ม		

ปัญหาหรือข้อเสนอแนะ.....

Phase 2: ระบุคำถามโครงงานจากแหล่งเรียนรู้เพื่อกำหนดหัวข้อโครงงาน	**ช่วงเวลาที่จะทำ**	**วันที่ทำเสร็จ**
1. เลือกหัวข้อที่นักเรียนสนใจในการทำโครงงาน และตั้งคำถามคนละ 5 คำถาม		
2. นำเสนอหัวข้อและคำถามที่นักเรียนสนใจต่อกลุ่ม		
3. กลุ่มเลือกหัวข้อโครงงานของสมาชิกภายในกลุ่มจำนวน 2 หัวข้อ		
4. สืบค้นข้อมูลและความเป็นไปได้ของทั้ง 2 หัวข้อ หรือคำถาม		
5. ระบุตัวแปรจากคำถามโครงงาน		

ปัญหาหรือข้อเสนอแนะ.....

.....

Phase 3: วางแผนและทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหา	**ช่วงเวลาที่จะทำ**	**วันที่ทำเสร็จ**
1.นำเสนอผลการสืบค้นและความเป็นไปได้ของแต่ละหัวข้อต่อกลุ่ม		
2. กลุ่มเลือกหัวข้อที่สนใจมากที่สุด 1 หัวข้อ		
3. ตั้งสมมติฐานของโครงงาน		
4. ออกแบบและวางแผนการดำเนินการทำโครงงานโดยระเอียด		
5. ทำรายการวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง		
6. เขียนโครงการขอเสนอทำโครงงาน		
7. เสนอโครงการในชั้นเรียน พร้อมทำการประเมินผลงานของตนเองและเพื่อน		
8. เริ่มดำเนินการตามแผนโดยคำนึงถึงความปลอดภัย		
9. รวบรวมข้อมูลจากการทดลองหรือการสำรวจด้วยความซื่อสัตย์		

ปัญหาหรือข้อเสนอแนะ.....

Phase 4: วิเคราะห์และสื่อความหมาย	**ช่วงเวลาที่จะทำ**	**วันที่ทำเสร็จ**
1. นำผลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์และจัดกระทำข้อมูล		
2. สื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิกที่เหมาะสม		

ปัญหาหรือข้อเสนอแนะ.....

.....

Phase 5: สร้างคำอธิบายของคำถามโครงงาน	**ช่วงเวลาที่จะทำ**	**วันที่ทำเสร็จ**
1. แปลผลข้อมูลของการทดลองจากผังกราฟิกข้อมูล		
2. สรุปผลการทำโครงงานให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสมมติฐานที่กำหนดไว้		
2. อภิปรายผลและเสนอแนะการพัฒนาโครงงานสำหรับการทำโครงงานในอนาคต		

ปัญหาหรือข้อเสนอแนะ.....

.....

Phase 6: เผยแพร่โครงงาน	**ช่วงเวลาที่จะทำ**	**วันที่ทำเสร็จ**
1. จัดทำรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ แล้วเสนออาจารย์		
2. นำเสนอผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์		

ปัญหาหรือข้อเสนอแนะ.....

.....

ส่วนที่ 3 ร่องรอยความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 21 รายการประเมิน และหลักฐานที่ใช้ประเมินภาระงาน

รายการประเมิน	**หลักฐานที่ใช้ประเมิน**
1. การระบุปัญหาเพื่อทำโครงงานวิทยาศาสตร์	สมุดบันทึกประจำกลุ่ม
2. ระบุตัวแปร	
3. การสืบค้นข้อมูล	
4. การตั้งสมมติฐาน	
5. กำหนดวัตถุประสงค์ การออกแบบและวางแผนการทดลอง	โครงการเสนอทำโครงงาน
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการ	สมุดบันทึกประจำกลุ่มและการรายงาน
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก	รายงานโครงงานวิทยาศาสตร์
8. แปลผลข้อมูล	
9. การสรุปและอภิปรายผลการทำโครงงาน	
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	
11. การนำเสนอรายงานโครงงาน	การนำเสนอ

แบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง

- แบบประเมินฉบับนี้สร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการทำรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ในส่วนของส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาหลังเรียนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบรายงานผลการตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

- แบบรายงานผล**การตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์**เป็นการรายงานผลที่ได้จากการตรวจสอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละกลุ่ม ซึ่งคะแนนที่ระบุไว้ในแบบรายงานผลนี้มาจากการสังเกตแล้วประเมินนักเรียนตามรายการประเมินที่กำหนดทั้งหมด 13 รายการ

ส่วนที่ 2 เกณฑ์การประเมินการตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

- เกณฑ์การประเมิน**การตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์**นี้เป็นปรับจากเกณฑ์การประเมินรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ของ GRSEF (2004: 13)) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระดับคือ (1) รายงานโครงงานมีส่วนประกอบที่กำหนดให้ 1 คะแนน และ (2) รายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ไม่มีส่วนประกอบโครงงานวิทยาศาสตร์ที่กำหนดให้ 0 คะแนน ดังนั้นคะแนนของส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์จึงอยู่ระหว่าง 0-13 คะแนน จากนั้นนำผลคะแนนรวมที่ได้แปลผลเป็นระดับความสามารถในส่วนของส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

ช่วงระดับคะแนน	ระดับความสามารถ
8-13	ผ่าน
0-7	ควรปรับปรุง

ส่วนที่ 1 แบบรายงานผลการตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

กลุ่มที่ ..... โครงงานวิทยาศาสตร์เรื่อง .....
ประเมินวันที่ .....

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		ข้อสังเกต
	1	0	
1. หน้าปก			
2. บทคัดย่อ			
3. สารบัญ			
4. สภาพปัญหา/คำถามโครงงาน			
5. มโนทัศน์ หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาที่เคยศึกษามาในอดีต รวมไปถึงประโยชน์ของการทำโครงงานหรือผลกระทบหากไม่ได้ทำโครงงาน			
6. สรุปความจำเป็นที่ต้องทำโครงงาน			
7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง			
8. ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง			
9. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์			
10. ขั้นตอน กระบวนการ และวิธีการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงการเก็บรวบรวมข้อมูล			
11. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล			
12. สรุปผลการทำโครงงาน			
13. รายการอ้างอิง			

รวมคะแนน ..... คะแนน

ระดับความสามารถ ❑ ผ่าน ❑ ควรปรับปรุง

ลงชื่อ ..... (ผู้ประเมิน)

ส่วนที่ 2 เกณฑ์การประเมินการตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 22 เกณฑ์การประเมินการตรวจสอบส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน	**ระดับคะแนน**
1. หน้าปก	
- ประกอบด้วยชื่อโครงงาน ผู้ทำโครงงาน ครูที่ปรึกษา ระดับชั้น และโรงเรียน ที่สื่อความหมายได้อย่างชัดเจน	1
- ขาดส่วนประกอบบางส่วน เช่น ชื่อโครงงาน ผู้ทำโครงงาน ครูที่ปรึกษา ระดับชั้น และโรงเรียน และสื่อความหมายไม่ชัดเจน	0
2. บทคัดย่อ	
- ประกอบด้วยสภาพปัญหา/คำถามโครงงาน วัตถุประสงค์การทำโครงงาน วิธีดำเนินการและการเก็บรวบรวมข้อมูล และผลการทำโครงงานที่สื่อความหมายชัดเจน	1
- ขาดส่วนประกอบบางส่วน เช่น สภาพปัญหา/คำถามโครงงาน วัตถุประสงค์การทำโครงงาน วิธีดำเนินการและการเก็บรวบรวมข้อมูล และผลการทำโครงงานและสื่อความหมายไม่ชัดเจน	0
3. สารบัญ	
- ระบุสารบัญได้อย่างครบถ้วน และชัดเจน	1
- ระบุสารบัญได้ไม่ครบถ้วน และไม่ชัดเจน	0
4. สภาพปัญหา/คำถามโครงงาน	
- มีการระบุสภาพปัญหาที่นำมาสู่คำถามในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	1
- ไม่ระบุสภาพปัญหาที่นำมาสู่คำถามในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	0
5. มโนทัศน์ หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาที่เคยศึกษามาในอดีต รวมไปถึงประโยชน์ของการทำโครงงานหรือผลกระทบหากไม่ได้ทำโครงงาน	
- มีการอ้างอิงมโนทัศน์ หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาที่เคยศึกษามาในอดีต รวมไปถึงประโยชน์ของการทำโครงงานหรือผลกระทบหากไม่ได้ทำโครงงาน	1
- ไม่มีการอ้างถึงมโนทัศน์ หลักการและงานวิจัย	0
6. สรุปความจำเป็นที่ต้องทำโครงงาน	
- มีการสรุปความจำเป็นที่ต้องทำโครงงาน	1
- ไม่มีสรุปความจำเป็นที่ต้องทำโครงงาน	0

ตารางที่ 22 เกณฑ์การประเมินการตรวจสอบส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน	**ระดับคะแนน**
7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
- มีการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงานวิทยาศาสตร์	1
- ไม่มีการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	0
8. ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	
- กำหนดตัวแปรแต่ละประเภทได้ถูกต้อง กระชับ และชัดเจน	1
- กำหนดตัวแปรแต่ละประเภทไม่ถูกต้อง และไม่ชัดเจน	0
9. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์	
- มีการกำหนดเครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงานอย่างชัดเจน	1
- ไม่มีการกำหนดเครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์	0
10. ขั้นตอน กระบวนการ และวิธีการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงการเก็บรวบรวมข้อมูล	
- กำหนดขั้นตอน กระบวนการ และวิธีการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างละเอียดและชัดเจน	1
- ไม่มีการกำหนดขั้นตอน กระบวนการ และวิธีการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	0
11. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
- วิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิกที่ถูกต้องและเหมาะสม รวมทั้งมีการแปลผลข้อมูล	1
- ไม่มีการวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลด้วยผังกราฟิก รวมถึงการแปลผลข้อมูล	0
12. สรุปผลการทำโครงงาน	
- มีการสรุปผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	1
- ไม่มีการสรุปผลการทำโครงงานวิทยาศาสตร์	0
13. รายการอ้างอิง	
- มีการจัดทำรายการอ้างอิงอย่างเป็นระบบ	1
- ไม่มีการจัดทำรายการอ้างอิงอย่างเป็นระบบ	0

ภาคผนวก จ

คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์

การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

1. ความตรงเชิงเนื้อหา (contend validity) พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ลักษณะข้อคำถามกับการวิเคราะห์แต่ละประเภท ได้ผลดังตารางที่ 29

2. คุณภาพข้อสอบรายข้อ พิจารณาจากการตรวจสอบค่าความยาก (p) แบะอำนาจจำแนก (r) โดยได้ผลดังตารางที่ 30

ตารางที่ 23 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับการวิเคราะห์ในแต่ละประเภท

ข้อที่	ประเภทของการวิเคราะห์	IOC	ความหมาย
1	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง
2	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	1	วัดได้สอดคล้อง
3	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง
4	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	1	วัดได้สอดคล้อง
5	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง
6	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.67	วัดได้สอดคล้อง
7	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง
8	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง
9	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	1	วัดได้สอดคล้อง
10	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	1	วัดได้สอดคล้อง
11	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง
12	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง
13	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง
14	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.67	วัดได้สอดคล้อง
15	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.67	วัดได้สอดคล้อง
16	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.67	วัดได้สอดคล้อง
17	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง
18	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง
19	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง
20	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง
21	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 23 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับการวิเคราะห์ในแต่ละประเภท (ต่อ)

ข้อที่	ประเภทของการวิเคราะห์	IOC	ความหมาย
22	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง
23	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง
24	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	1	วัดได้สอดคล้อง
25	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 24 ค่าความยาก (p) และอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์

ข้อที่	ประเภทของการวิเคราะห์	p	r	ความหมาย
1	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.75	0.23	ค่อนข้างง่าย จำแนกพอใช้
2	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.45	0.50	ง่ายปลานกลาง จำแนกได้ดี
3	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.90	0.20	ง่ายมาก จำแนกพอใช้
4	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.65	0.40	ค่อยข้างง่าย จำแนกได้ดี
5	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.65	0.20	ค่อนข้างง่าย จำแนกพอใช้
6	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.85	0.80	ค่อนข้างง่าย จำแนกดีมาก
7	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.70	0.60	ง่ายมาก จำแนกดีมาก
8	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.65	0.63	ค่อนข้างง่าย จำแนกดีมาก
9	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.45	0.60	ค่อนข้างง่าย จำแนกดีมาก
10	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.75	0.80	ง่ายปานกลาง จำแนกดีมาก
11	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.70	0.80	ค่อนข้างง่าย จำแนกดีมาก
12	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.85	0.60	ค่อนข้างง่าย จำแนกดีมาก
13	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.85	0.40	ง่ายมาก จำแนกได้ดี
14	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.45	0.80	ง่ายมาก จำแนกได้ดีมาก
15	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.80	0.20	ง่ายปลานกลาง จำแนกพอใช้
16	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.75	0.40	ง่ายมาก จำแนกได้ดี
17	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.70	1.00	ค่อนข้างง่าย จำแนกดีมาก
18	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.85	0.40	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
19	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.90	0.40	ง่ายมาก จำแนกได้ดี

ตารางที่ 30 ค่าความยาก (p) แบะอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการวิเคราะห์

ข้อที่	ประเภทของการวิเคราะห์	p	r	ความหมาย
20	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.85	0.60	ง่ายมาก จำแนกได้ดีมาก
21	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.55	0.23	ง่ายปลานกลาง จำแนกพอใช้
22	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.60	0.43	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
23	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.80	0.40	ง่ายมาก จำแนกได้ดี
24	การวิเคราะห์องค์ประกอบ	0.95	0.20	ง่ายมาก จำแนกได้พอใช้
25	การวิเคราะห์เชิงหลักการ	0.80	0.40	ง่ายมาก จำแนกได้ดี

2. คุณภาพเครื่องมือวัดความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

เครื่องมือวัดความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยเครื่องมือ 3 ฉบับ ได้แก่ (1) แบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ (2) แบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และ (3) แบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียดการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ดังนี้

2.1 คุณภาพแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

การตรวจสอบคุณภาพแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

1. ความตรงเชิงเนื้อหา (contend validity) พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมิน (ตามตารางที่ 25) ได้ผลดังตารางที่ 25

2. ความสัมพันธ์ (correlation) พิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์รวมระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ .01 ได้ผลดังตารางที่ 26

ตารางที่ 25 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	IOC	ความหมาย
1. การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์	1	วัดได้สอดคล้อง
2. การระบุตัวแปร	1	วัดได้สอดคล้อง
3. การสืบค้นข้อมูล	0.6	วัดได้สอดคล้อง
4. การตั้งสมมติฐาน	1	วัดได้สอดคล้อง
5. การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์	0.6	วัดได้สอดคล้อง
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน	1	วัดได้สอดคล้อง
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล	0.6	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 25 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

รายการประเมิน	IOC	ความหมาย
8. การแปลผลข้อมูล	1	วัดได้สอดคล้อง
9. การสรุปและอภิปรายผล	1	วัดได้สอดคล้อง
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	0.6	วัดได้สอดคล้อง
11. การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์	1	วัดได้สอดคล้อง
12. คุณภาพของผลงาน	0.8	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รวม (r) ระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผู้วิจัยของแบบประเมินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	IOC ผู้เชี่ยวชาญ	IOC ผู้วิจัย	r
1. การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์	1	1	0.9146*
2. การระบุตัวแปร	1	1	
3. การสืบค้นข้อมูล	0.6	0	
4. การตั้งสมมติฐาน	1	1	
5. การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์	0.6	1	
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน	1	0	
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล	0.6	0	
8. การแปลผลข้อมูล	1	1	
9. การสรุปและอภิปรายผล	1	1	
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	0.6	0	
11. การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์	1	1	
12. คุณภาพของผลงาน	0.8	1	

กำหนด r ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2.2 คุณภาพแบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

การตรวจสอบคุณภาพแบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์พิจารณาจากความตรงเชิงเนื้อหา (contend validity) ในส่วนของค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับความเหมาะสมของเกณฑ์การให้คะแนน 0 1 และ -1 คะแนน ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบบันทึกความก้าวหน้าการทำโครงงานวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	IOC	ความหมาย
1. การตั้งคำถามโครงงานวิทยาศาสตร์	1	วัดได้สอดคล้อง
2. การระบุตัวแปร	1	วัดได้สอดคล้อง
3. การสืบค้นข้อมูล	0.8	วัดได้สอดคล้อง
4. การตั้งสมมติฐาน	1	วัดได้สอดคล้อง
5. การออกแบบและวางแผนทำโครงงานวิทยาศาสตร์	0.8	วัดได้สอดคล้อง
6. การปฏิบัติตามแผนการดำเนินการทำโครงงาน	1	วัดได้สอดคล้อง
7. การวิเคราะห์ จัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล	0.6	วัดได้สอดคล้อง
8. การแปลผลข้อมูล	1	วัดได้สอดคล้อง
9. การสรุปและอภิปรายผล	1	วัดได้สอดคล้อง
10. การเขียนรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์	1	วัดได้สอดคล้อง
11. การนำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์	1	วัดได้สอดคล้อง

2.3 คุณภาพแบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

การตรวจสอบคุณภาพแบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ พิจารณาจากความตรงเชิงเนื้อหา (contend validity) ในส่วนของค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมิน (ตามตารางที่ 28) ได้ผลดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	IOC	ความหมาย
1. หน้าปก	1	วัดได้สอดคล้อง
2. บทคัดย่อ	1	วัดได้สอดคล้อง
3. สารบัญ	1	วัดได้สอดคล้อง
4. สภาพปัญหา/คำถามโครงงาน	1	วัดได้สอดคล้อง
5. มโนทัศน์ หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาที่เคยศึกษามาในอดีต รวมไปถึงประโยชน์ของการทำโครงงานหรือผลกระทบหากไม่ได้ทำโครงงาน	0.8	วัดได้สอดคล้อง
6. สรุปความจำเป็นที่ต้องทำโครงงาน	1	วัดได้สอดคล้อง
7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1	วัดได้สอดคล้อง
8. ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 28 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ของแบบตรวจสอบรายการส่วนประกอบรายงานโครงงานวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

รายการประเมิน	**IOC**	**ความหมาย**
9. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์	0.6	วัดได้สอดคล้อง
10. ขั้นตอน กระบวนการ และวิธีการดำเนินการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงการเก็บรวบรวมข้อมูล	1	วัดได้สอดคล้อง
11. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	1	วัดได้สอดคล้อง
12. สรุปผลการทำโครงงาน	1	วัดได้สอดคล้อง
13. รายการอ้างอิง	1	วัดได้สอดคล้อง

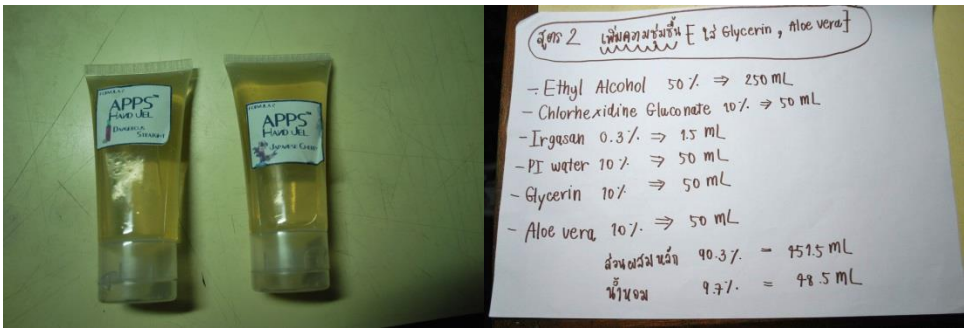
ภาคผนวก จ

ตัวอย่างภาพกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรมร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

ตัวอย่างภาพกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้องค์ประกอบหลักของการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับเทคนิคการใช้ผังกราฟิก

นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมมือรวมใจในการทำกิจกรรมระหว่างเรียน

นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมมือรวมใจในการทำกิจกรรมระหว่างเรียน
เรื่องการออกแบบและวางแผนการทำการทดลอง และการรวบรวมข้อมูล



ตัวอย่างผลงานและการจดบันทึกระหว่างทำโครงงานของนักเรียน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเฉลิมวุฒิ ศุภสุข เกิดวันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาจังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาครุศาสตร์บัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรครุศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552