การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

DEVELOPMENT OF LEARNING ACTIVITIES IN THE FORMATION OF TRANSITION METAL COMPLEXES TO PROMOTE SYSTEMS THINKING AMONG HIGH SCHOOL STUDENTS

นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF LEARNING ACTIVITIES IN THE FORMATION OF TRANSITION METAL COMPLEXES TO PROMOTE SYSTEMS THINKING AMONG HIGH SCHOOL STUDENTS

NUNNAPAT WIRATPHATTHIRAKON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF EDUCATION

(Chemistry)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน
เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ของ

นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒนะ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ศรีวิไล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบและคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน โดยการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 36 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ และแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน สถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน คือ t-test for dependent sample จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และยังมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ : ชุดกิจกรรมการเรียนรู้, การคิดอย่างเป็นระบบ, แนวคิดทางวิทยาศาสตร์

Title	DEVELOPMENT OF LEARNING ACTIVITIES IN THE FORMATION OF TRANSITION METAL COMPLEXES TO PROMOTE SYSTEMS THINKING AMONG HIGH SCHOOL STUDENTS
Author	NUNNAPAT WIRATPHATTHIRAKON
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Piyarat Srivilai

This research aims to compare the pre- and post-test scores of the students in terms of systems thinking and scientific concepts through the learning activity on the formation of transition metal complexes to promote systems thinking among high school students. This learning is based on hands-on activities. The sample group in this research was high school students in the Science-Mathematics Special Program at an extra-large secondary school in Bangkok. This group was selected from one classroom with a total of 36 students by purposive sampling. The research tools were learning activities on the formation of transition metal complexes, a systems thinking test, and a scientific concept measurement on the formation of a transition metal complex. The statistics used in this research were mean and standard deviation. In addition, a t-test for the dependent sample was used to test the hypothesis. This research found that students who learned through the learning activity had higher post-test scores on systems thinking than the pre-test at a significant at level of .05. Moreover, the post-test score of scientific concepts of the formation of transition metal were also higher than the pre-test at a statistically significant level of .05.

Keyword : Learning activity, Systems thinking, Scientific concepts

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาในการแนะนำแนวทางสำหรับการทำวิจัย รวมทั้งให้คำปรึกษาและกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจาก ผศ.ดร. ปิยรัตน์ ศรีวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาหลักปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. พรรณี ลีกิจวัฒนะ ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ และให้คำแนะนำในการปรับปรุงเพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. แพน ทองเรือง อ.ดร. ชัชฎาภรณ์ พิณทองและคุณครูธนากฤช ครุเจนธรรม ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือส่งผลให้เครื่องมือมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

ขอบกราบขอบพระคุณ โครงการ 70 ปี 70 ทุน มศว คืนสู่สังคม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนเงินทุนการศึกษาและการวิจัย จนงานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาและอยู่เคียงข้างมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์ที่ได้จากการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบไว้เป็นแนวทางในการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบต่อไป

นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูปภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

ภูมิหลัง 1

ความมุ่งหมายของงานวิจัย 3

ความสำคัญของงานวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 4

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 4

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 4

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย 4

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย 4

นิยามศัพท์เฉพาะ 4

กรอบแนวคิดในการวิจัย 6

สมมติฐานการวิจัย 7

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

1. รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่มที่ 1 9

1.1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 9

1.2 ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ที่เกี่ยวข้องกับธาตุแทรนซิชัน 10
2. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 14
2.1 ธาตุแทรนซิชัน 14
2.2 โลหะทองแดง 18
2.2.1 ความสำคัญของทองแดง 18
2.2.2 ประโยชน์ของทองแดง 18
2.2.3 โทษของทองแดง 19
2.3 โลหะโคบอลต์ 19
2.3.1 ความสำคัญของโคบอลต์ 19
2.3.2 ประโยชน์ของโคบอลต์ 20
2.3.3 โทษของโคบอลต์ 20
2.4 โลหะนิกเกิล 20
2.4.1 ความสำคัญของนิกเกิล 20
2.4.2 ประโยชน์ของนิกเกิล 21
2.4.3 โทษของนิกเกิล 21
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์ทางเคมีที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของสี 21
3. การคิดอย่างเป็นระบบ 23
3.1 ความหมายของการคิดอย่างเป็นระบบ 23
3.2 แนวคิด ทฤษฎีการคิดอย่างเป็นระบบ 24
3.3 การพัฒนาทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ 29
3.4 ประโยชน์ของการคิดอย่างเป็นระบบ 29
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 30

4.1 ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 30
4.2 การจัดกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 31
4.3 ประเภทของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 33
4.3.1 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบ ทั้งคำตอบและเหตุผล 33
4.3.2 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบพร้อมทั้งอธิบายเหตุผลที่เลือกตอบ 34
4.3.3 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบคำถามปลายเปิด 35
4.3.4 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบถูก-ผิด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ 35
4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 36
5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 38
5.1 ความหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 38
5.2 ประเภทของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 38
5.3 องค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 40
5.4 ขั้นตอนการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 42
5.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 47
1. การกำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 47
1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 47
1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 47
1.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย 48
2. การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 49
2.1 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ โลหะแทรนซิชัน 49
2.1.1 ศึกษาหลักสูตรเพื่อวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ 50

2.1.2 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ.....50
2.1.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแนวคิด ทางวิทยาศาสตร์ 51
2.1.4 ศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของโลหะแทรนซิชัน 51
2.1.5 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชุดกิจกรรม การเรียนรู้ 51
2.1.6 ออกแบบการทดลองในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 51
2.1.6.1 คำชี้แจง.....51
2.1.6.2 จุดประสงค์ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 52
2.1.6.3 ชื่อกิจกรรมการเรียนรู้ จุดประสงค์การทดลอง สถานการณ์ตัวอย่าง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้.....52
2.1.7 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 54
2.1.7.1 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายลิแกนด์ L 54
2.1.7.2 การทดลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันกับสารละลายลิแกนด์ L 54
2.1.7.3 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน.....55
2.1.7.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน.....57
2.1.7.5 การสร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix.....60
2.1.7.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น โดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix.....63

2.1.8 ประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบและความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 65

2.1.9 หาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยนำไปใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง 66

2.1.9.1 นักเรียนกลุ่มที่ 1 67

2.1.9.2 นักเรียนกลุ่มที่ 2 67

2.1.9.3 นักเรียนกลุ่มที่ 3 68

2.2 แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ 69

2.2.1 การหาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบทดสอบการคิด อย่างเป็นระบบ . 69

2.2.2 การหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ 70

2.3 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 71

2.3.1 การหาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 72

2.3.2 การหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 73

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล 74

3.1 แบบแผนการทดลอง 74

3.2 การนำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ไปใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง 75

3.2.1 การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน 75

3.2.2 การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 76
3.2.3 การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน 85
4. การวิเคราะห์ข้อมูล 85
4.1 สถิติพื้นฐาน 85
4.2 สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน 86
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 87
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 87
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 92
ความมุ่งหมายของงานวิจัย 92
สมมติฐานการวิจัย 92
วิธีการดำเนินวิจัย 93
สรุปผลการวิจัย 97
อภิปรายผลการวิจัย 97
ข้อเสนอแนะ 105
บรรณานุกรม 107
ภาคผนวก 116
ประวัติผู้เขียน 151

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของธาตุแทรนซิชัน 12

ตาราง 2 การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ 13

ตาราง 3 แสดงเลขออกซิเดชันที่เป็นไปได้ของธาตุในกลุ่ม d 15

ตาราง 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 48

ตาราง 5 แสดงการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้ 50

ตาราง 6 องค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ โลหะแทรนซิชัน 53

ตาราง 7 แสดงแบบแผนการทดลองแบบ One-Group Pretest-Posttest Design 75

ตาราง 8 การเปรียบเทียบคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบ ก่อนเรียนกับหลังเรียนซึ่งจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 88

ตาราง 9 การเปรียบเทียบคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบในรายพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียนซึ่งจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 89

ตาราง 10 การเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ก่อนกับหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน 90

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิด.....6

ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของวิตามีนบี 12.....19

ภาพประกอบ 3 การเปลี่ยนแปลงสีของ (1) ดินเหนียว MMT-L หลังหยดน้ำ (2) ดินเหนียว MMT-L หลังหยดไอออนของโลหะ Cu^{2+} (3) และ (4) ดินเหนียว MMT-L และ MMT-L-Cu^{2+} ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงจนแห้ง.....22

ภาพประกอบ 4 แผนภูมิสีที่ใช้ในการระบุความเข้มข้นของไอออนของนิกเกิล.....23

ภาพประกอบ 5 วิธีคิดที่เป็นระบบวงจร.....25

ภาพประกอบ 6 กระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ.....28

ภาพประกอบ 7 สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี (1) สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง สารละลายไอออนของโลหะทองแดงกับสารละลายลิแกนด์ L (2) สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง สารละลายไอออนของโลหะโคบอลต์กับสารละลายลิแกนด์ L (3) สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง สารละลายไอออนของโลหะนิกเกิลกับสารละลายลิแกนด์ L.....55

ภาพประกอบ 8 สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L (1) สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจาก ไอออนของโลหะทองแดงที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L (2) สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจาก ไอออนของโลหะโคบอลต์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L (3) สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจาก ไอออนของโลหะโคนิกเกิลที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L.....57

ภาพประกอบ 9 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน (1) กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะทองแดง ที่ความยาวคลื่น 566 นาโนเมตร (2) กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะโคบอลต์ ที่

ความยาวคลื่น 448 นาโนเมตร (3) กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับ ความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะนิกเกิล ที่ความยาวคลื่น 435 นาโนเมตร 59

ภาพประกอบ 10 กราฟมาตรฐานที่ได้จากโปรแกรม PhotoMetrix (1) กราฟมาตรฐานของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทองแดง (2) กราฟมาตรฐานของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะโคบอลต์ (3) กราฟมาตรฐานของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะนิกเกิล 63

ภาพประกอบ 11 ภาพผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง (1) ปริมาณไอออนของโลหะทองแดงในน้ำตัวอย่าง (2) ปริมาณไอออของโลหะโคบอลต์ในน้ำตัวอย่าง (3) ปริมาณไอออของโลหะนิกเกิลในน้ำตัวอย่าง 65

ภาพประกอบ 12 ทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน 76

ภาพประกอบ 13 การระบุปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่าง 77

ภาพประกอบ 14 การกำหนดสมมติฐาน 78

ภาพประกอบ 15 การออกแบบการทดลอง 79

ภาพประกอบ 16 ขั้นตอนออกแบบการทดลองที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชัน 82

ภาพประกอบ 17 การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง 83

ภาพประกอบ 18 การสรุปผลปฏิบัติการและสื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจ 84

ภาพประกอบ 19 การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน .. 85

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ซึ่งมีผลต่อชีวิตประจำวันของนักเรียนในสังคมที่ก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 ทำให้นักเรียนจำเป็นต้องมีการปรับตัวให้เกิดทักษะศตวรรษที่ 21 โดยจะต้องมีความรู้และมีทักษะที่สำคัญในการรับมือต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น(วิจารณ์ พานิช, 2555) แต่จากการวัดและประเมินคุณลักษณะของนักเรียน (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2562) พบว่านักเรียนไม่สามารถนำความรู้ที่มีอยู่ไปใช้กับสถานการณ์ที่พบในชีวิตประจำวันได้ เนื่องจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ยังไม่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการลงมือปฏิบัติด้วยตนเองส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถสร้างองค์ความรู้รวมทั้งไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ในเนื้อหาต่าง ๆ เข้าด้วยกันทำให้นักเรียนไม่สามารถนำความรู้จากการเรียนรู้ไปใช้ในการหาแนวทางสำหรับการแก้ไขปัญหาซึ่งเป็นทักษะที่มีความจำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 ดังนั้นสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ (2560) จึงได้กำหนดแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จนมีทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย 3 ทักษะ คือ ทักษะการด้านสารสนเทศและเทคโนโลยี ทักษะการใช้ชีวิตและอาชีพและทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ซึ่งกระบวนการจัดการเรียนรู้จะต้องส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้อย่างเต็มศักยภาพ โดยมีการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิด การแก้ไขปัญหา และลงมือปฏิบัติ (พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542, 2545) นอกจากนั้นนักเรียนสามารถสืบเสาะหาความรู้ สร้างองค์ความรู้ และแก้ไขปัญหาได้อย่างเป็นระบบ(สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) ซึ่งมีความสอดคล้องกับทักษะศตวรรษที่ 21 ด้านทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ไขปัญหา

รายวิชาเคมีได้กำหนดผลการเรียนรู้ที่เกี่ยกับสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชันหลังจากการจัดการเรียนรู้นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีส่วนใหญ่เป็นการจัดการเรียนรู้ในลักษณะของการทดลองที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองแต่ลักษณะของกิจกรรมยังไม่ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ เนื่องจากกิจกรรมการทดลองที่กำหนดมาให้ไม่มีสถานการณ์ตัวอย่างที่นักเรียนพบได้ในชีวิตประจำวันจึงทำให้นักเรียนไม่มีการวิเคราะห์และระบุประเด็นปัญหา นอกจากนั้นในกิจกรรมการทดลองยังมี

การออกแบบขั้นตอนการทดลองมาให้จึงทำให้นักเรียนไม่ได้ฝึกทักษะด้านการตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลองส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถลำดับขั้นตอนในการทดลองได้ ในขณะทำการทดสอบสมมติฐาน/การทดลองกิจกรรมที่กำหนดมาให้ส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมการทดลองที่นักเรียนไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของสารได้ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับอะตอมหรือโมเลกุล (ศักดิ์ศรี สุภาษร, 2016) ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถเชื่องโยงความรู้ที่มีอยู่กับความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้เข้าด้วยกันทำให้นักเรียนไม่สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง นักเรียนจึงเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน ทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาเคมีที่ค่อนข้างต่ำ (อารยา ควัฒน์กุล, 2558) หลังจากการทำกิจกรรมการทดลองมีการสรุปผลปฏิบัติการแต่ไม่ได้เชื่อมโยงไปยังสถานการณ์ที่พบในชีวิตประจำวัน ดังนั้นจึงพบว่ากิจกรรมการทดลองที่กำหนดมาให้ยังไม่ส่งเสริมให้นักเรียนการคิดอย่างเป็นระบบ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบด้วย กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง ($Cu^{2+)}$ ในน้ำตัวอย่าง กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง และกิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมให้มีสถานการณ์ตัวอย่างประกอบ และมีขั้นตอนการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบตามแนวคิดของ Barry Richmond ซึ่งได้แก่ การระบุประเด็นปัญหา การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง และการสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ เพื่อให้นักเรียนสามารถเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ ในขณะทำกิจกรรมนักเรียนเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างสมาชิกภายในกลุ่มรวมทั้งมีการอภิปรายในแต่ละขั้นตอนของการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ ทำให้นักเรียนเกิดการเชื่อมโยงขั้นตอนของการคิดอย่างเป็นระบบเข้าด้วยกันส่งผลให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ นอกจากนั้นแล้วสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมเป็นสารประกอบที่มีสีที่ชัดเจนจึงสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบกิจกรรมให้มีความสอดคล้องกับธรรมชาติของรายวิชาเคมี ในขณะที่ได้ลงมือปฏิบัติในแต่ละกิจกรรม นักเรียนสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางเคมีใน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับมหภาคเป็นการเปลี่ยนแปลงที่นักเรียนสามารถสังเกตเห็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาปล่าได้อย่างชัดเจน ในระดับจุลภาคนักเรียนจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างแต่เนื่องจาก

เป็นการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าไม่ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกการวิเคราะห์สีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง และระดับสัญลักษณ์ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ใช้โปรแกรม PhotoMetrix ในการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้ (Johnstone, 1993) หลังจากการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือทำด้วยตนเองและเห็นการเปลี่ยนแปลงของสารทั้ง 3 ระดับ จะทำให้นักเรียนเกิดการสร้างองค์ความรู้จากประสบการณ์จริง และยังสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างกับสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นได้ ทำให้นักเรียนเกิดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่อง การเกิดสารประกอบของโลหะแทรนซิชัน ได้ถูกต้อง

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. เปรียบเทียบการคิดอย่างเป็นระบบ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรซิชัน ในการจัดการเรียนรู้

3. เปรียบเทียบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรซิชัน ในการจัดการเรียนรู้

ความสำคัญของงานวิจัย

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมี ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ โดยมีความสอดคล้องพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 (แก้ไขเพิ่มเติม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2545) การจัดการเรียนรู้ที่มีการส่งเสริมให้นักเรียนได้มีการลงมือปฏิบัติด้วยตนเองโดยอาศัยขั้นตอนการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งได้แก่การการระบุประเด็นปัญหา การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง และการสรุปผลการทดลองเพื่อสื่อความเข้าใจส่งผลให้นักเรียนสามารถระบุประเด็นปัญหา กำหนดสมมติฐาน ทดสอบสมมติฐาน

และสรุปผลปฏิบัติการได้ นอกจากนั้นแล้วนักเรียนสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้ที่ได้เข้าด้วยกันทำให้เกิดการคิดอย่างเป็นระบบ

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มประชากร ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยเลือกมาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน ทั้งหมด 36 คน

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ สมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน และน้ำตัวอย่างที่นำมาใช้ในปฏิบัติการเป็นน้ำตัวอย่างที่ได้จากการสังเคราะห์ของผู้วิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะที่ใช้ในการวิจัย คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ซึ่งใช้เวลา 2 คาบเรียนต่อสัปดาห์ รวม 5 สัปดาห์ จะใช้เวลาทั้งหมด 10 คาบเรียน คาบเรียน 50 นาที รวมการสอบก่อนและหลังเรียน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ หมายถึง ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีเพิ่มเติม จะประกอบไปด้วย 3 กิจกรรม ดังนี้

1. กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น

2. กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น

3. กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น

โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบตามแนวคิดของ Richmond (1997) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การระบุประเด็นปัญหา หมายถึง นักเรียนบอกและอธิบายปัญหาในสถานการณ์ตัวอย่างได้อย่างชัดเจน

2. การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง หมายถึง นักเรียนสันนิษฐานคำตอบของการทดลองไว้ล่วงหน้า รวมทั้งสามารถออกแบบลำดับขั้นตอนในการทดลองอย่างเป็นระบบ

3. การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง หมายถึง นักเรียนลงมือทดลองเพื่อหาคำตอบ

4. การสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ หมายถึง นักเรียนวิเคราะห์และลงข้อสรุปการทดลอง รวมทั้งสามารถอธิบายผลการทดลองได้อย่างชัดเจน

2. การคิดอย่างเป็นระบบ หมายถึง การคิดที่มองปัญหาเป็นภาพรวมโดยอาศัยความสัมพันธ์หรือความเชื่อมโยงของประเด็นปัญหาซึ่งในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน รวมทั้งหาแนวทางในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ตัวอย่าง หาความสัมพันธ์ระหว่างประเด็นปัญหารวมทั้งสามารถตัดสินใจเลือกประเด็นปัญหาที่จะแก้ไขได้

2. ตั้งสมมติฐาน/ออกแบบการทดลองจากประเด็นปัญหาโดยการสันนิษฐานคำตอบจากการทดลองโดยอาศัยปัจจัยที่มีผลต่อสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน รวมทั้งออกแบบลำดับขั้นตอนการทดลองได้อย่างเป็นระบบ

3. ทดสอบสมมติฐาน/ทดลอง ลงมือทดลองหาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง โดยใช้ลำดับขั้นตอนการทดลองที่ออกแบบไว้

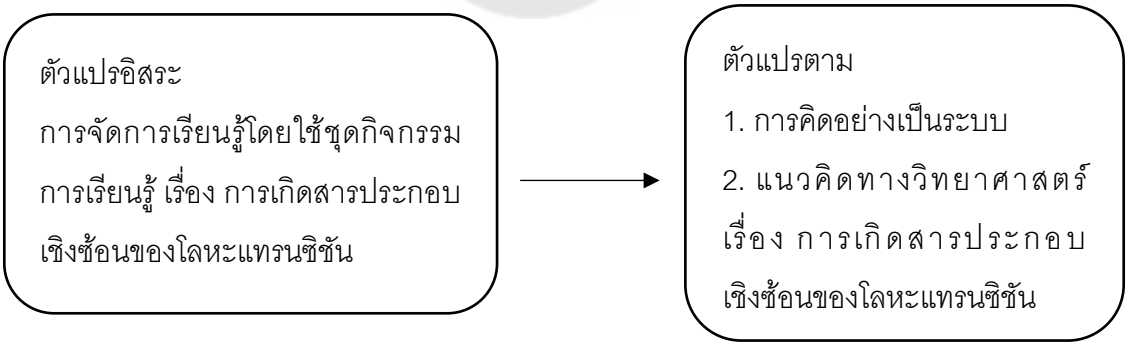
4. สรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ วิเคราะห์ผลจากการทดลองและลงข้อสรุป นอกจากนั้นยังอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันและความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีของสารประกอบเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้

หลังจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถประเมินได้จากแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบโดยอ้างอิงตามแนวคิด Barry Richmond ซึ่งแบบทดสอบเป็นชนิดเลือกคำตอบ โดยได้กำหนดเกณฑ์ คือ ถ้าเลือกคำตอบได้

ถูกต้องกำหนดให้ 1 คะแนน แต่ถ้าเลือกคำตอบผิดกำหนดให้ 0 คะแนน จำนวน 15 ข้อ รวมเป็น 15 คะแนนโดยใช้เนื้อหา เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

3. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความเข้าใจที่เกิดจากสังเกตปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์รวมทั้งสิ่งของต่าง ๆ ซึ่งจะได้ข้อมูลและนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมโยงหรือความสัมพันธ์กันโดยมีเหตุผลประกอบ จากนั้นนำมาลงข้อสรุปโดยจะต้องมีหลักฐานประกอบอย่างชัดเจนและมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ทำการวัดในการวิจัยครั้งนี้ คือ การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการเลือกตอบถูก-ผิด ซึ่งถ้าตอบได้ถูกต้องกำหนดให้ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบผิดกำหนดให้ 0 คะแนน และส่วนที่ 2 การอธิบายเหตุผลประกอบ ซึ่งใช้เกณฑ์ให้คะแนนดังนี้ ระดับ 1 แนวคิดถูกต้อง (Complete Understanding: CU or Scientific Conception: SC) กำหนดให้ 3 คะแนน ระดับ 2 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding: PC or partial scientific conception: PC) กำหนดให้ 2 คะแนน ระดับ 3 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial scientific conception with misconception: PC/MC) กำหนดให้ 1 คะแนน ระดับ 4 แนวคิดคลาดเคลื่อนหรือแนวคิดไม่ถูกต้อง (Non scientific understanding: SU,misconception: MC) กำหนดให้ 0 คะแนน และระดับ 5 ไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (No understanding or without answer: NU, no conception: NC) กำหนดให้ 0 คะแนน แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีจำนวน 15 ข้อ รวมเป็น 60 คะแนน ในเนื้อหาเรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิด

สมมติฐานการวิจัย

1. การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่มที่ 1

1.1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551

1.2 ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ที่เกี่ยวข้องกับธาตุแทรนซิชัน

2. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2.1 ธาตุแทรนซิชัน

2.2 โลหะทองแดง

2.2.1 ความสำคัญของทองแดง

2.2.2 ประโยชน์ของทองแดง

2.2.3 โทษของทองแดง

2.3 โลหะโคบอลต์

2.3.1 ความสำคัญของโคบอลต์

2.3.2 ประโยชน์ของโคบอลต์

2.3.3 โทษของโคบอลต์

2.4 โลหะนิกเกิล

2.4.1 ความสำคัญของนิกเกิล

2.4.2 ประโยชน์ของนิกเกิล

2.4.3 โทษของนิกเกิล

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์ทางเคมีที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของสี

3. การคิดอย่างเป็นระบบ

3.1 ความหมายของการคิดอย่างเป็นระบบ

3.2 แนวคิด ทฤษฎีการคิดอย่างเป็นระบบ

3.3 การพัฒนาทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ

3.4 ประโยชน์ของการคิดอย่างเป็นระบบ

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

4.1 ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

4.2 การจัดกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

4.3 ประเภทของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้

5.1 ความหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

5.2 ประเภทของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

5.3 องค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

5.4 ขั้นตอนในการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้

5.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้

1. รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่มที่ 1

1.1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551

สมรรถนะสำคัญของนักเรียน (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) มีดังนี้

1. ด้านการสื่อสาร นักเรียนสื่อสารโดยใช้ภาษาในการถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ และความคิด นอกจากนั้นแล้วยังมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลรวมทั้งประสบการณ์ที่ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาตนเองรวมทั้งสังคมด้วย สามารถตัดสินใจรับหรือปฏิเสธข้อมูลได้โดยหลักเหตุผลสนับสนุนและเลือกใช้วิธีสำหรับการสื่อสารเพื่อให้มีประสิทธิภาพ

2. ด้านการคิด นักเรียนเกิดการวิเคราะห์ การสังเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการคิดเป็นระบบ ส่งผลให้สามารถสร้างองค์ความรู้และใช้ประกอบการตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม

3. ด้านการแก้ปัญหา นักเรียนแก้ปัญหาที่พบได้อย่างเหมาะสมและถูกต้องโดยใช้เหตุผลและข้อมูล นักเรียนสามารถเข้าใจความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในสังคมได้

นอกจากนั้นแล้วยังสามารถสืบเสาะหาความรู้และนำความรู้มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา และสามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตระหนักถึงผลที่เกิดขึ้นต่อตนเอง สังคมรวมทั้งสิ่งแวดล้อม

4. ด้านการใช้ทักษะชีวิต นักเรียนนำวิธีการต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเกิดการทำงานเป็นทีมและเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง การปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสังคม และเลี่ยงพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสม

5. ด้านการใช้เทคโนโลยี นักเรียนในการเลือกใช้อุปกรณ์เทคโนโลยีรวมทั้งมีความรู้ด้านเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาด้านการสื่อสาร การเรียนรู้ การแก้ไขปัญหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม

1.2 ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ที่เกี่ยวข้องกับธาตุแทรนซิชัน

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ (2560) และสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ (2560) มีการกำหนดตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

เป้าหมายของวิทยาศาสตร์

เป้าหมายการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยจะส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากการสังเกต และการทดลอง รวมทั้งสามารถนำความรู้มาจัดระบบเป็นองค์ความรู้ โดยมีการจัดการเรียนรู้ที่สำคัญ มีดังนี้

1. นักเรียนเข้าใจหลักการ ทฤษฎี และกฎในวิชาวิทยาศาสตร์

2. นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของรายวิชาวิทยาศาสตร์และข้อจำกัดของการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์

3. นักเรียนมีทักษะในการค้นคว้าและสร้างทางเทคโนโลยี

4. นักเรียนคำนึงถึงความเชื่อมโยงระหว่างรายวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสภาพแวดล้อม

5. นักเรียนมีความรู้ ความเข้าใจในรายวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสามารนำไปใช้ให้ในการดำรงชีวิต

6. นักเรียนมีกระบวนการคิด การแก้ปัญหา และการตัดสินใจ

7. นักเรียนมีจิตวิทยาศาสตร์ มีจริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมในการนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้อย่างสร้างสรรค์

คุณภาพของนักเรียน

คุณภาพของนักเรียนหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้ในรายวิชา เคมี จนสำเร็จชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. นักเรียนอธิบายอะตอม การจัดเรียงอิเล็กตรอน สมบัติของธาตุและตารางธาตุ พันธะเคมี กฎและสมบัติของแก๊ส ประเภทและสมบัติของสารอินทรีย์ ประเภทและสมบัติของพอลิเมอร์

2. นักเรียนดุลสมการเคมี การคำนวณปริมาณสารที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลเคมี ทฤษฎีกรด-เบส ปฏิกิริยาของสารละลายกรด-เบส บัฟเฟอร์ ปฏิกิริยารีดอกซ์ในเซลล์เคมีไฟฟ้า

3. นักเรียนเข้าใจข้อปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำการทดลองทางเคมี การเลือกใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสม สามารถเปลี่ยนหน่วยการวัด การคำนวณมวลอะตอม มวลโมเลกุล รวมทั้งมวลสูตร เห็นความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล และปริมาตรของแก๊สที่สภาวะ STP คำนวณสูตรอย่างง่าย สูตรโมเลกุล ความเข้มข้นสารละลายและเตรียมสารละลาย มีการนำความรู้และทักษะไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่พบได้ในชีวิตประจำวันและการแก้ไขปัญหาทางเคมี

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม 1

มีการกำหนดคำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม 1 ไว้ดังนี้

ศึกษาเกี่ยวข้องกับสัญลักษณ์ที่แสดงถึงความอันตรายของสารเคมี ข้อปฏิบัติตลอดการทดลอง วิธีการจัดการสารเคมีที่เกิดขึ้นจากการทดลองหรือเสื่อมสภาพ ข้อปฏิบัติในการปฐมพยาบาลเนื่องจากเกิดอุบัติเหตุจากสารเคมี เรียนรู้และพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้มาจากความเที่ยงและความแม่นของอุปกรณ์ชั่งมวลและการวัดปริมาตร หน่วยการวัดในระบบเอสไอ การเปลี่ยนหน่วย เลขนัยสำคัญ รวมทั้งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์

ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอม เข้าใจสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ เลขมวล เลขอะตอม ไอโซโทป การจัดเรียงอิเล็กตรอน ระดับพลังงาน เวเลนซ์อิเล็กตรอน ออร์บิทัล ตารางธาตุ แนวโน้มของสมบัติบางประกอบของธาตุเกี่ยวกับขนาดอะตอม ไอออน

พลังงานไอออไนเซชัน อิเล็กโทรเนกาติวิตี สัมพรรคภาพอิเล็กตรอน สมบัติของธาตุแทรนซิชัน สมบัติของธาตุกัมมันตรังสี ปฏิกิริยานิวเคลียร์ เทคโนโลยีที่นำสารกัมมันตรังสีมาใช้ประโยชน์

ศึกษาพันธะเคมี การเขียนโครงสร้างแบบจุดของลิวอิส กฎออกเตต พันธะไอออนิก ชื่อสารประกอบไอออนิก สมบัติของสารประกอบไอออนิก สมการไอออนิกสุทธิ พันธะโคเวเลนต์ สูตรโมเลกุล ชื่อของสารโคเวเลนต์ พลังงานพันธะ และความยาว การเกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ พลังงานของปฏิกิริยาและพลังงานพันธะ สภาพขั้ว แรงระหว่างโมเลกุล และรูปร่างของโมเลกุลโคเวเลนต์ และสมบัติของสารโคเวเลนซ์ สารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย พันธะโลหะ สมบัติของโลหะ รวมทั้งการนำสารประกอบต่าง ๆ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์

โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิเคราะห์ อภิปรายและลงข้อสรุปเพื่อให้เกิดความเข้าใจ สามารถตัดสินใจ มีทักษะการทดลอง และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ไขปัญหา ด้านการสื่อสาร สื่อสารความรู้ที่เกิดจากการเรียนรู้และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม

ได้มีการกำหนดสาระเคมีข้อ 1 อะตอม ตารางธาตุ สมบัติของธาตุ พันธะเคมี แก๊ส สารประกอบอินทรีย์ พอลิเมอร์ รวมทั้งสามารถนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากนั้นยังมีการกำหนดผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม

ตาราง 1 แสดงผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของธาตุแทรนซิชัน

ผลการเรียนรู้	จุดประสงค์การเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
บอกสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน รวมทั้งเปรียบเทียบสมบัติกับธาตุเรพรีเซนเททีฟ	เปรียบเทียบสมบัติของโลหะเรพรีเซนเททีฟ กับสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน	เปรียบเทียบสมบัติของโลหะเรพรีเซนเททีฟ และโลหะแทรนซิชัน ธาตุแทรนซิชันมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ 2 ในคาบเดียวกันมีขนาดอะตอมใกล้เคียงกัน มีจุดหลอมเหลวจุดเดือดและความหนาแน่นสูง เกิดปฏิกิริยากับน้ำไม่รวดเร็วเท่ากับธาตุโลหะในกลุ่มธาตุเรพรีเซนเททีฟ เมื่อทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบจะมีสีเป็นส่วนใหญ่

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

กำหนดผลการเรียนรู้ที่นักเรียนจะต้องได้รับหลังจากการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 1 ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน ซึ่งได้แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	แนวทางการจัดการเรียนรู้	แนวทางการวัดและประเมินผลการเรียนรู้
ด้านความรู้ 1. ขนาดอะตอม จุดหลอมเหลว จุดเดือด ความหนาแน่นของธาตุ สีของสารประกอบโลหะในกลุ่มเรพรีเซนเททีฟและธาตุแทรนซิชัน 2. ความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับน้ำของธาตุแทรนซิชันและธาตุเรพรีเซนเททีฟ **ด้านทักษะ** ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 1. การสังเกต 2. การตั้งสมมติฐาน 3. การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ 4. การกำหนดและควบคุมตัวแปร	1. นำเข้าสู่บทเรียนซักถามเกี่ยวกับขนาดอะตอมของโลหะเรพรีเซนเททีฟ 2. ให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับขนาดอะตอมของโลหะเรพรีเซนเททีฟและโลหะแทรนซิชันในหมู่และคาบเดียวกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบขนาดอะตอมทั้ง 2 ประเภทตามคาบและตามหมู่ 3. ร่วมกันอภิปรายเพื่อเปรียบเทียบจุดหลอมเหลว จุดเดือด และความหนาแน่นของโลหะเรพรีเซนเททีฟกับโลหะแทรนซิชัน 4. ยกตัวอย่างสารประกอบของโลหะเรพรีเซนเททีฟและโลหะแทรนซิชันมาให้นักเรียนสังเกตสี จากนั้นร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปว่าสารประกอบของโลหะแทรนซิชันส่วนใหญ่มีสี 5. ใช้คำถามเพื่อนำไปสู่สมบัติอื่น ๆ ของ โลหะแทรนซิชัน	**ด้านความรู้** 1. ขนาดอะตอม จุดเดือด จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น สีของสารประกอบของโลหะในกลุ่มธาตุเรพรีเซนเททีฟและธาตุแทรนซิชัน การทำปฏิกิริยากับน้ำของธาตุแทรนซิชันและธาตุเรพรีเซนเททีฟ หลังจากการทำกิจกรรมการทดลองมือภิปรายทำแบบฝึกหัด และทดสอบ **ด้านทักษะ** 1. ตั้งสมมติฐาน กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ กำหนดและควบคุมตัวแปร สังเกต ทดลอง และตีความหมายข้อมูลรวมทั้งลงข้อสรุปจากผลการทดลอง 2. การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ ความร่วมมือจากการสังเกตพฤติกรรมในขณะ

ตาราง 2 (ต่อ)

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้	แนวทางการจัดการเรียนรู้	แนวทางการวัดและประเมินผลการเรียนรู้
5. การทดลอง 6. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป **ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21** 1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ **ด้านจิตวิทยาศาสตร์** 1. การใช้วิจารณญาณ	6. ให้นักเรียนตั้งสมมติฐานและทำการทดลองเพื่อศึกษาว่องไวในการทำปฏิกิริยากับน้ำของโลหะเรพรีเซนเททีฟและโลหะแทรนซิชัน จากนั้นร่วมกันอภิปรายและสรุปผลการทดลอง 7. ให้นักเรียนสรุปความรู้เกี่ยวกับสมบัติของโลหะเรพรีเซนเททีฟและโลหะแทรนซิชัน รวมทั้งทำแบบฝึกหัดเพื่อเป็นการทบทวนความรู้	การทำกิจกรรม **ด้านจิตวิทยาศาสตร์** 1. การใช้วิจารณญาณในการสังเกตพฤติกรรมในระหว่างการทำกิจกรรมและการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้จะพบว่าผลการเรียนรู้ดังกล่าวได้กำหนดในสาระเคมี ข้อ 1 พบว่า นักเรียนสามารถเข้าใจอะตอม ตารางธาตุ สมบัติของธาตุ พันธะเคมี สมบัติของสาร แก๊ส สารประกอบอินทรีย์ และพอลิเมอร์ รวมทั้งนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

2. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2.1 ธาตุแทรนซิชัน

ธีรยุทธ ลิ่วพรเจริญวงศ์ (2558) ธาตุในกลุ่ม d เป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดอยู่ใน d-orbital แต่เนื่องจากความหมายของธาตุแทรนซิชันตาม IUPAC พบว่า ธาตุที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ใน d-orbital บรรจุไม่เต็มออร์บิทัล หรือธาตุที่เกิดเป็นไอออนบวกมีอิเล็กตรอนบรรจุไม่เต็มใน d-orbital จึงทำให้ธาตุในกลุ่ม d มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า เนื่องจากมีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดอยู่เป็นจำนวนมากจึงเกิดสารประกอบโคออร์ดิเนชันที่มีรูปร่างที่หลากหลาย รวมทั้งแสดงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป

สมบัติของธาตุในกลุ่ม d

ธาตุในกลุ่ม d มีคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างไปจากธาตุอื่นๆ ดังนี้

1. การเกิดสี

สีของสารประกอบของธาตุในกลุ่ม d เมื่อลักษณะเฉพาะของประจุเป็นบวกที่บรรจุอิเล็กตรอนในลักษณะ d^1 ถึง d^9 ส่วนสารประกอบของประจุเป็นบวก d^0 และ d^{10} จะได้สารประกอบที่ไม่มีสี อย่างไรก็ตามสารประกอบที่มีสีเกิดจากการที่อิเล็กตรอนดูดกลืนพลังงานแสงทำให้มีอิเล็กตรอนมีพลังงานมากขึ้นทำให้เคลื่อนที่ไปยังระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้นกว่าเดิม เช่น สารประกอบของธาตุในกลุ่ม d สามารถเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจาก d-orbital ไปยังd-orbital ที่มีระดับพลังงานที่สูงกว่า เรียกว่า d-d transition ซึ่งความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการดูดกลืนแสงแบบอื่น

2. การมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า

ธาตุในกลุ่ม d ส่วนใหญ่มีเลขออกซิเดชันหลายค่า ยกเว้นธาตุในกลุ่ม 3 (กลุ่มของ Sc) และ 12 (กลุ่มของ Zn ยกเว้น Hg) เท่านั้นที่มีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียว ซึ่งธาตุในช่วงตรงกลางของกลุ่ม d จะมีจำนวนเลขออกซิเดชันที่เป็นไปได้มากที่สุด

ตาราง 3 แสดงเลขออกซิเดชันที่เป็นไปได้ของธาตุในกลุ่ม d

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
	0	0	0	0	0	0	0	0	
		1	1	1	1	1	1	1	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	4	4	4	4	4	4	4	4	
		5	5	5					
			6	6	6				
				7					

ตาราง 3 (ต่อ)

Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
			0	0	0	0	0		
				1	1	1		1	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3		3	
	4	4	4	4	4	4	4		
		5	5	5	5	5			
			6	6	6	6			
				7	7				
					8				

ตาราง 3 (ต่อ)

La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
			0	0	0	0	0	0	
				1		1		1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3		3	
	4	4	4	4	4	4	4		
		5	5	5	5	5	5	5	
			6	6	6	6	6		
				7	7				
					8				

3. การเกิดสารประกอบโคออร์ดิเนชัน

ประจุของโลหะในกลุ่ม d สามารถทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ (โมเลกุลหรือประจุลบที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว) เกิดเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนชันได้ ซึ่งสังเกตการณ์เกิดปฏิกิริยาได้จากการเปลี่ยนแปลงสีหรือความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป

4. ความเป็นแม่เหล็ก

ความเป็นแม่เหล็กของสารประกอบของโลหะในกลุ่ม d เกิดจากการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในออร์บิทัล ซึ่งความเป็นแม่เหล็กสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. สารพาราแมกเนติก (paramagnetic) คือ สารประกอบมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเดี่ยวในออร์บิทัล ซึ่งจะถูกเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก

2. สารไดอะแมกเนติก (diamagnetic) คือ สารประกอบมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัลโลหะนั้นจับคู่กันทั้งหมด ซึ่งจะไม่ถูกเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก

3. สารเฟอโรแมกเนติก (Ferromagnetic) คือ สารประกอบที่มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเดี่ยวหลายตัวในออร์บิทัล ทำให้ถูกเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็กและคงสภาพแม่เหล็กไว้ได้นาน

สารประกอบโคออร์ดิเนชัน

สารประกอบที่เกิดจากประจุหรืออะตอมของโลหะกับกลุ่มของลิแกนด์ เกิดการสร้างพันธะโคเวเลนซ์แบบโคออร์ดิเนต (coordinate covalent bond) โดยลิแกนด์ทำหน้าที่ให้คู่อิเล็กตรอนหรือเป็นเบสลิวอิส ส่วนประจุหรืออะตอมของโลหะใช้ออร์บิทัลที่ว่างอยู่รับอิเล็กตรอนหรือกรดของลิวอิส

ลิแกนด์

ลิแกนด์ คือ ประจุลบหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหลืออยู่ ภายในโครงสร้างของลิแกนด์จะมีอะตอมผู้ให้ (donor atom) หรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว เช่น N P O S ซึ่งจะสามารถให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับออร์บิทัลที่ว่างของโลหะเพื่อสร้างพันธะโคเวเลนซ์แบบโคออร์ดิเนต ชนิดของลิแกนด์แบ่งตามจำนวนอะตอมผู้ให้ในโครงสร้าง โดยลิแกนด์ที่มีอะตอมผู้ให้เพียงอะตอมเดียว เรียกว่า โมโนเดนเทตลิแกนด์ หากมีจำนวนของผู้ให้เพิ่มขึ้นเป็น สอง สาม สี่ ห้า หก ก็เปลี่ยนคำนำหน้าจาก โมโน เป็น ไบ ไตร เตตระ เพนตะ และเฮกซะ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมี พอลิเดนเทตลิแกนด์ (polydentate ligand) หรือมัลติเดนเทตลิแกนด์ (multidentate ligand) ซึ่งเรียกรวมลิแกนด์มีอะตอมผู้ให้ตั้งแต่สองอะตอมขึ้นไป หรือเรียกว่า คีเลทลิแกนด์

2.2 โลหะทองแดง

2.2.1 ความสำคัญของทองแดง

ทองแดง (Cu) เป็นธาตุแทรนซิชันซึ่งมีเลขอะตอมเท่ากับ 29 และพบว่าทองแดงมีเลขออกซิชันเป็น +1 และ +2 โดยส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูปของแร่ประเภทซัลไฟด์ คือ แร่คาลโคไซต์ (Cu_2S) ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ 79.8% และคาลไพไรต์ ($CuFeS_2$) ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ 34.5%(สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2544, น. 95) ไอออนของทองแดงมีความสำคัญในสิ่งมีชีวิต เนื่องจากไอออนของทองแดงเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยไทโรซีเนส (Tyrosinase) ซึ่งมีความสำคัญในการเปลี่ยนไทโรซีนเป็นเมลานิน (Melanin) โดยจะพบในเส้นผมและผิวหนังของมนุษย์ เป็นองค์ประกอบของน้ำย่อยไซโตรโครม ซี ออกซิเดส น้ำย่อยแคแทเลส (Catalase) ที่มีส่วนสำคัญในระบบหายใจและการปลดปล่อยพลังงานในเซลล์ (Dalapati Sasanka, 2011) นอกจากนั้นแล้วยังมีเอนไซม์ที่ใช้สังเคราะห์กรดอะมิโนของอีลาสติน และคอลลาเจน รวมถึงเอนไซม์ที่สังเคราะห์นอร์อีพิเนฟฟริน (norepinephrine) และโดปามิน (dopamine) เอนไซม์ที่ใช้สำหรับการสร้างและรักษาไมอีลิน (myelin) รวมทั้งเป็นส่วนสำคัญในการสร้างภูมิคุ้มกัน การแข็งตัวของเลือด และกระบวนการเมทาบอลิซึมของคอลเลสเตอรอล (สุภาวดี หุ่นสวัสดิ์, 2539) ทองแดงมีส่วนสำคัญในการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงเช่นเดียวกับเหล็ก โดยทองแดงจะเป็นตังเร่งปฏิกิริยาในการสร้างฮีโมโกลบิน ซึ่งทองแดงจะอยู่ในพลาสมาในเซรูโรพลาสมิน ทำหน้าที่เปลี่ยนเหล็กเฟอรัสให้กลายเป็นเหล็กเฟอริค หลังจากนั้นเหล็กเฟอริคจะรวมตัวกับอะโพทรานส์เฟอริน เป็นทรานส์เฟอร์ริน โดยทำหน้าที่ในการขนส่งเหล็กในร่างกาย ปริมาณของทองแดงที่ร่างกายต้องการต่อ 1 วันสำหรับผู้ใหญ่ เพศชาย เท่ากับ 1.6 มิลลิกรัม และเพศหญิงเท่ากับ 1.3 มิลลิกรัม(คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563)

2.2.2 ประโยชน์ของทองแดง

โลหะทองแดงมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี ตัวนำไฟฟ้าที่ดี จึงถูกนำมาใช้ในการผลิตเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนั้นแล้วยังมีคุณสมบัติที่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้ สามารถนำมารีดและขึ้นรูปได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มีการนำโลหะทองแดงมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ทองแดงมาทำสายไฟ มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจกานั้นแล้วยังมีการนำทองแดงมาทำเป็นท่อน้ำและข้อต่อต่าง ๆ และในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเครื่องบิน เรือเดินสมุทร

หัวจักรรถไฟ ยังมีการนำทองแดงมาใช้ในการผลิตเนื่องจากทองแดงสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้ (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551)

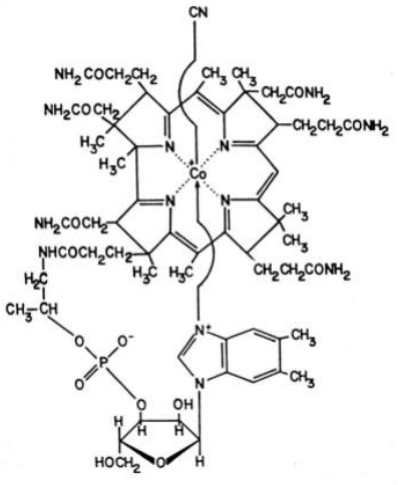
2.2.3 โทษของทองแดง

นอกจากนั้นแล้วยังใช้เป็นสารเคมีในด้านการเกษตรจึงให้มีการปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน เกิดการอักเสบของกล้ามเนื้อและช่องท้อง ส่งผลต่อการทำงานของหัวใจ ระบบภูมิคุ้มกันผิดปกติ (ศุภชัย รัตนมณีฉัตร, 2534) ถ้าหากได้รับทองแดงเป็นเวลานานจะส่งผลทำให้เกิดพิษเรื้อรัง ตับ และไตจะทำงานผิดปกติ และจะไม่สามารถขับทองแดงออกมาได้ ซึ่งจะทำให้เกิดโรควิลสัน (Wilson' Diseases) โดยจะมีการสะสมของทองแดงตามอวัยวะต่าง ๆ เช่น สมอง กระจกตา และไต อาการที่จะแสดงออกมาให้เห็น คือ กล้ามเนื้อตามร่างกายสั่นตลอดเวลา กล้ามเนื้อเกร็ง มีอาการน้ำมูก น้ำลายไหล และควบคุมการพูดได้ลำบาก (โชคชัย ยะชูศรี, 2536) นอกจากนั้นแล้วอาจจะส่งให้เกิดความเป็นพิษทำลายเซลล์และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง(กนกพร สุพงษ์, 2555)

2.3 โลหะโคบอลต์

2.3.1 ความสำคัญของโคบอลต์

โคบอลต์ (Co) เป็นธาตุแทรนซิชันซึ่งมีเลขอะตอมเท่ากับ 27 และมวลอะตอมเท่ากับ 58.9332 โดยส่วนใหญ่จะพบโคบอลต์ในแร่ Cobalite หรือ Cobaltime (วิศิษฏ์ ตันติสัตยารักษ์, 2538) โคบอลต์เป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกายของมนุษย์ มีส่วนช่วยในการรักษาเซลล์เม็ดเลือดแดงให้สามารถทำงานได้ตามปกติ นอกจากนั้นแล้วโคบอลต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของวิตามินบี 12 ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของวิตามีนบี 12

ที่มา : Lovell (1998)

2.3.2 ประโยชน์ของโคบอลต์

โลหะโคบอลต์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนั้นแล้วยังมาการนำโคบอลต์คลอไรด์มาใช้ในทางด้านทันตกรรมโดยใช้โคบอลต์คลอไรด์เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงเซลล์ของการเพาะเลี้ยงเซลล์จากเนื้อเยื่อในฟันแท้มนุษย์ (กัณฒพร ลักษณา, 2555) มีการใช้โคบอลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนเส้นใยซิลิกา-อะลูมินาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์ (นรรฏธวรรณ ถกลเกียรติกุล, 2555) มีการนำโลหะโคบอลต์ไปใช้เป็นโลหะผสมในอุตสาหกรรมเครื่องแก้วและเครื่องปั้นดินเผาโดยส่วนใหญ่จะใช้ CoO ซึ่งจะให้สีน้ำเงิน (ยศกิต เรืองทวีป และคนอื่น ๆ, 2559) นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วนั้นยังมีการนำโลหะโคบอลต์ไปใช้ในการผลิตโลหะเนื้อผสมพิเศษที่มีเนื้อพื้นโคบอลต์ (Cobalt base superalloys) ที่มีส่วนผสมหลักเป็นโคบอลต์ 50% และโครเมียม 25% โดยโลหะผสมที่ได้จะสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงได้ดีมาก (อาภาพร นรารักษ์, 2561) โลหะโคบอลต์ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตแม่เหล็กแบบถาวรและแม่เหล็กอ่อน(ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์) นอกจากนั้นยังมีการสารประกอบของโคบอลต์ในการตรวจวัดปริมาณน้ำในน้ำมันเชื้อเพลิง (สริดา เนาว์รุ่งโรจน์, 2560)

2.3.3 โทษของโคบอลต์

เมื่อร่างกายได้รับโคบอลต์เข้าไปจะมีผลทำให้เกิดการระคายเคือง และหายใจถี่ขึ้น เมื่อสัมผัสโคบอลต์ทางผิวหนังจะทำให้เกิดการระคายเคือง ผื่นแดง และมีอาการผิวหนังแห้ง หากถูกตาจะทำให้มีอาการระคายเคืองต่อเยื่อบุตา ถ้าหากสัมผัสโคบอลต์เป็นเวลานานจะเกิดการอักเสบของผิวหนัง ผื่นแดง และมีผลกระทบต่อระบบเลือด ตับอ่อน และต่อมไทรอยด์ (ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ, 2557)

2.4 โลหะนิกเกิล

2.4.1 ความสำคัญของนิกเกิล

นิกเกิล (Ni) เป็นธาตุทรานซชันซึ่งมีเลขอะตอมเท่ากับ 28 และพบว่านิกเกิลมีเลขออกซิชันเป็น ตั้งแต่ 0 ถึง +4 โดยส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูปของประจุ +2 ซึ่งอยู่ในรูปของ $NiFe_2O_4$ หรือ NiS โลหะนิกเกิลเป็นโลหะที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากนิกเกิลมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน(กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

2.4.2 ประโยชน์ของนิกเกิล

โดยในกระบวนการชุบโลหะนิกเกิลนำมาทำเป็นขั้วไฟฟ้า และนำสารประกอบของโลหะนิกเกิลมาใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์อีกด้วย ได้แก่ $NiSO_4$, $NiCl_2$ (สาโรช พันธุ์แพ และ อภิชาติ ธรรมวิทย์กุล, 2526)นอกจากนั้นแล้วยังมีการนำโลหะนิกเกิลใช้ทำมาตรน้ำ ประตูน้ำ ท่อสำหรับอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อน และวัสดุกรองในอุตสาหกรรมเคมีและการกลั่นน้ำมัน ใช้นิกเกิลทำโลหะผสมชนิดพิเศษ (Superalloy) ในอุตสาหกรรมอากาศยาน ใช้เคลือบผิวอุปกรณ์ประดับยนต์ต่างและยังใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า (กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน, 2551) นอกจากนั้นยังมีการนำนิกเกิลมาใช้ในการผลิตเครื่องประดับ เช่น ต่างหู สร้อยคอ กำไล รวมทั้งการนำโลหะนิกเกิลไปใช้ในการผลิตสิ่งของเครื่องใช้อื่น ๆ เช่น กุญแจ ลูกบิดประตู ตะขอเสื้อชั้นใน นาฬิกา (สวริน รักบัว, 2550) และนอกจากนั้นยังมีการนำโลหะนิกเกิลมาผสมกับโลหะทองแดงเพื่อใช้ในการผลิตเหรียญกษาปณ์(ธนาภรณ์ โกราษฎร์, 2544)

2.4.3 โทษของนิกเกิล

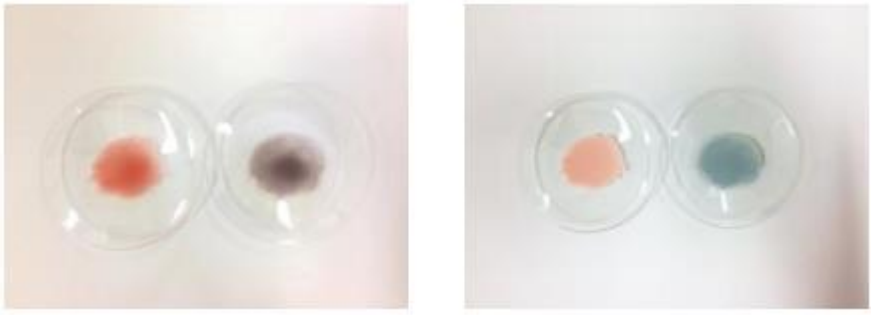
โลหะนิกเกิลทำให้เกิดภูมิแพ้ที่พบบ่อยที่สุดสถิติต่างประเทศพบว่าประมาณร้อยละ 5 ของประชากรแพ้โลหะนิกเกิล โดยคลินิกทดสอบภูมิแพ้พบว่าร้อยละ 14.2 และจากสถิติของสถาบันโรคผิวหนัง ผู้ป่วยที่มาทำการทดสอบที่คลินิกทดสอบภูมิแพ้โดยเฉลี่ยแพ้โลหะนิกเกิลประมาณร้อยละ 30-50 ซึ่งพบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย โดยสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการใช้เครื่องประดับโดยเฉพาะการใส่ต่างหูซึ่งจะทำให้โลหะนิกเกิลละลายออกมาได้ (สวริน รักบัว, 2550)

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์ทางเคมีที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของสี

Kaur และ Kumar (2011) เทคนิคเซ็นเซอร์ทางเคมีเป็นวิธีการศึกษาเกี่ยวข้องกับ host molecule ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวรับโมเลกุลของเกสต์ (guest molecule) โดยสารที่เราจะทำการศึกษาเป็นโมเลกุลของเกสต์ องค์ประกอบของโมเลกุลของโฮสต์จะมีส่วนที่ทำหน้าที่จับกับโมเลกุลของเกสต์ (receptor unit) และหน่วยที่ส่งสัญญาณ (signaling unit) โดยโมเลกุลของเกสต์จะจับกับโมเลกุลของโฮสต์อย่างมีความจำเพาะเจาะจงซึ่งจะต้องมีการจับกันบริเวณ binding unit ซึ่งอาจจะอาศัยอันตรกิริยาหลายหลาก เช่น แรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) อันตรกิริยาแคทไอออน-ไพ (cation-π interaction) พันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ (coordinate covelent) และอันตรกิริยาไพ-ไพ (π -π interaction) เป็นต้น โดยเซ็นเซอร์ทางเคมีสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งแบ่งตามลักษณะของหน่วยส่งสัญญาณ ได้แก่ เซ็นเซอร์ทางไฟฟ้า (electronic sensor) เป็นเซ็นเซอร์ที่จะส่งสัญญาณก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมี

และเซ็นเซอร์ทางแสง (optical sensor) โดยจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เซ็นเซอร์ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย (colorimetric sensor) ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า และเซ็นเซอร์ที่อาศัยการเรืองแสง (fluorogenic sensor)

วันดี มณีขวัญ และ ดวงรัตน์ ทองคำ (2018) ได้ทำการศึกษาการดูดซับโมเลกุลเซ็นเซอร์ 1-Chloro-8-[(pyridine-2-ylmethyl)-amino]-anthraquinone (L) โดยดินเหนียว K-10 มอนต์โมริลโลไนต์ (MMT) เพื่อใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับไอออนทองแดงในน้ำ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีของตะกอนของ MMT-L จากสีส้มไปเป็นสีเทาทันทีหลังหยดสารละลาย $Cu(NO_3)_2$ และตั้งทิ้งไว้จนตัวทำละลายระเหยหมดจะได้ตะกอนสีน้ำเงิน และมีขีดจำกัดต่ำสุดในการสังเกตการณ์เปลี่ยนสีด้วยตาเปล่าที่ Cu^{2+} เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพประกอบ 3



(1) (2) (3) (4)

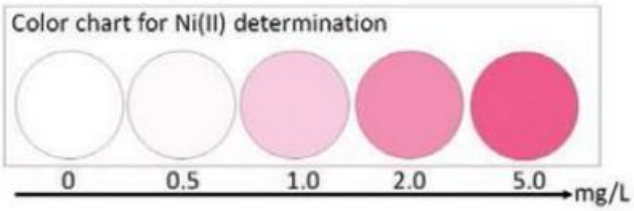
ภาพประกอบ 3 การเปลี่ยนแปลงสีของ (1) ดินเหนียว MMT-L หลังหยดน้ำ (2) ดินเหนียว MMT-L หลังหยดไอออนของโลหะ Cu^{2+} (3) และ (4) ดินเหนียว MMT-L และ MMT-L-Cu^{2+} ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงจนแห้ง

ที่มา : วันดี มณีขวัญ และ ดวงรัตน์ ทองคำ (2018)

Celestina, Tharmaraj, Jeevika, และ Sheela (2020)ได้ทำการตรวจวัดปริมาณของ Co^{2+} โดยการสังเคราะห์ Triazine based Schiff base จากวิธีการ sonochemical method ซึ่งลิแกนด์ที่ได้นี้มีความไวและมีความจำเพาะในการตรวจวัดปริมาณของ Co^{2+} ซึ่งสามารถใช้เป็นเซ็นเซอร์ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงสีและเซ็นเซอร์ทางเคมีไฟฟ้า โดยลิแกนด์จะจับกับประจุของ Co^{2+} ส่งผลให้สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงิน

ศุภมาส ด่านวิทยากุล (2557) ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดทดสอบอย่างง่ายสำหรับการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของนิกเกิล โดยอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารที่

นำมาทดสอบกับไอออนของนิกเกิล ส่งผลให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นของแข็งที่มีสีชมพูแดง จากนั้นให้กรองของแข็งที่ได้ผ่านชุดกรองซึ่งจะได้สีปรากฏบนกระดาษกรองจากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิสีที่ใช้ในการระบุความเข้มข้นของไอออนของนิกเกิล ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แผนภูมิสีที่ใช้ในการระบุความเข้มข้นของไอออนของนิกเกิล

ที่มา : ศุภมาส ด่านวิทยากุล (2557)

3. การคิดอย่างเป็นระบบ

3.1 ความหมายของการคิดอย่างเป็นระบบ

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์ (2544) ได้กล่าวเกี่ยวข้องกับการคิดอย่างเป็นระบบว่าเป็นวิธีการคิดเกี่ยวกับเรื่องหนึ่ง ๆ เป็นลำดับ เป็นขั้นตอนอย่างเป็นระบบ และครบถ้วน ซึ่งจะมีวิธีการคิดโดยใช้วิธี 10 มิติเพื่อนำไปสู่การคิดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย การคิดเชิงวิพากษ์ การคิดเชิงวิเคราะห์ การคิดเชิงสังเคราะห์ การคิดเชิงเปรียบเทียบ การคิดเชิงมโนทัศน์ การคิดเชิงสร้างสรรค์ การคิดเขิงประยุกต์ การคิดเชิงกลยุทธ์ การคิดเชิงบูรณาการ การคิดเชิงอนาคต โดยการคิดในลักษณะต่าง ๆ เป็นส่วนสำคัญของการคิดอย่างเป็นระบบที่นำมาใช้ร่วมกันในการบรรลุวัตถุประสงค์

วรภัทร์ ภู่เจริญ (2550) กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับความหมายของการคิดอย่างเป็นระบบ คือ การคิดที่เป็นเหตุเป็นผลโดยที่สามารถอธิบายความคิดนั้น ๆ ได้ ซึ่งสามารถเชื่อมโยงความคิดกับปัญหาได้

พรพรรณ ภูมิภู (2551) กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบ หมายถึง การคิดที่เกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งซึ่งสามารถเห็นเป็นภาพรวม โดยมีองค์ประกอบย่อยของทุกสิ่งอยู่ในเอกภพ มีวงจรการทำงาน มีการนำเข้าของปัจจัย กระบวนการการผลิต ความเป็นระบบของผลที่ได้เกิดจากการเชื่อมโยงงานเข้าด้วยกัน ซึ่งในแต่ละหน่วยจะมีระบบการทำงานตามหน้าที่

บุญเลี้ยง ทุมทอง (2553) ได้กล่าวเกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบว่าเป็นแขนงวิชาที่มองหาสาปัญหาในภาพรวม และยอมรับความมีพลวัต ความซับซ้อน และความเชื่องโยงของ

องค์ประกอบย่อย ๆ เพื่อทำการค้นหาและการสร้างแบบแผนที่จะนำไปสู่การพัฒนา เปลี่ยนแปลงปัญหาหรือภารกิจให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด

ศรินดา จามรมาน (2556) กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับการคิดอย่างเป็นระบบ เป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการคิด โดยเพิ่มวิธีการคิดให้มีความหลากหลายในเวลาเดียวกัน โดยจะต้องมีการเลือกวิธีการคิดหลักที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ โดยมีหลักเกณฑ์และเหตุผลซึ่งใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีความสัมพันธ์กันเป็นองค์รวม นอกจากนั้นแล้วยังจะต้องนึกถึงองค์ประกอบย่อยที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน รวมทั้งหน้าที่ที่เชื่อมต่อกันอย่าต่อเนื่อง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสิ่งใด ๆ จะส่งผลต่อเนื่องไปยังส่วนอื่น ๆ ของระบบ

Senge (1994) ได้กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับการคิดอย่างเป็นระบบ (Systems Thinking) ว่าเป็นกระบวนการคิดที่มีความซับซ้อนสูง เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด ความเข้าใจคลาดเคลื่อน จนนำไปสู่ปัญหาที่ไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ ดังนั้นการคิดอย่างเป็นระบบสำคัญมากในการคิดแบบเชื่อมโยงแบบภาพรวมซึ่งจะทำให้มองเห็นภาพทั้งหมด สามารถเกิดการสังเคราะห์และมองเส้นปฏิสัมพันธ์ของระบบ รวมทั้งเป็นการคิดเชิงเครือข่าย (Network) เป็นการคิดแบบสัมพันธ์กับบริบท (Context) และเป็นการคิดอย่างเป็นกระบวนการ (Process Thinking)

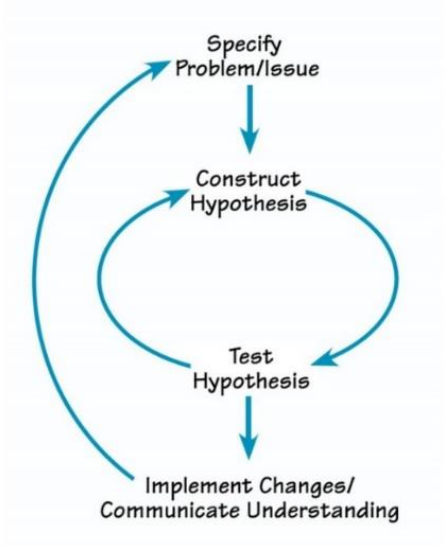
Ashri (2014) ได้กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับการคิดอย่างเป็นระบบ คือความสามารถในการคิดที่สามารถมองสถานการณ์หรือปัญหาโดยใช้การค้นหารูปแบบความสัมพันธ์กันซึ่งมีความเชื่อมโยงระหว่างตัวแปรที่เป็นปัจจัย รวมทั้งสาเหตุของปัญหาระหว่างองค์ประกอบย่อย ๆ

3.2 แนวคิด ทฤษฎีการคิดอย่างเป็นระบบ

แนวคิดของ Barry Richmond

ได้กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับวิธีคิดที่เป็นระบบวงจรเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติ ดังต่อไปนี้ (ปารมี ศรีบุญทิพย์, 2560)

1. การระบุประเด็นปัญหาให้มีความชัดเจน
2. การกำหนดสมมติฐาน/สร้างแบบจำลอง
3. ทดสอบสมมติฐานหรือแบบจำลอง
4. การปฏิบัติการเพื่อนำการเปลี่ยนแปลงหรือการสื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจ



ภาพประกอบ 5 วิธีคิดที่เป็นระบบวงจร

ที่มา : The Systems Thinker – The "Thinking" in Systems Thinking: How Can We Make It Easier to Master? - The Systems Thinker

Richmond (1997) ได้กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงระบบจะต้องมีการดำเนินงานอย่างน้อย 7 ทักษะการคิด โดยที่ทักษะการคิดเป็นทักษะสำคัญที่ทำหน้าที่เป็นกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะประกอบไปด้วย การคิดแบบพลวัต กาคิดแบบระบบแห่งสาเหตุ การคิดแบบภาพรวม การคิดแบบปฏิบัติการ การคิดแบบวงจรสัมพันธ์ การคิดเชิงปริมาณ และการคิดเชิงวิทยาศาสตร์

1 การคิดแบบพลวัต

ทำให้อธิบายและกำหนดแบบแผนของประเด็นได้อย่างชัดเจน และยังช่วยให้ทราบว่าสถานการ์ที่เกิดขึ้นอยู่ภายใต้บริบทใด ประเด็นที่พบมาจากทิศทางใดและกำลังดำเนินต่อไปในทิศทางใด การคิดแบบพลวัตเป็นการคิดในกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบที่ง่ายที่สุด แต่จะไม่เกิดการพัฒนาขึ้นมาได้เองโดยธรรมชาติได้ เพราะคนจำนวนหนึ่งยังมีการใช้การคิดแบบหยุดนิ่งอยู่กับที่ (Static Thinking) โดยจะมองประเด็นต่าง ๆ ว่าเป็นความเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งจะต้องมีสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งของความแตกต่างน้อยมาก โดยแสดงกราฟตามแนวคิดของการคิดแบบหยุดนิ่งจะเป็นกราฟเส้นตรง

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการคิดแบบพลวัต คือ แบบแผนพฤติกรรมอ้างอิง (Reference Behavior Pattern : RBP) ซึ่งจะเขียนเป็นกราฟพฤติกรรมภายใต้ช่วงเวลา จะแสดง

ให้เห็นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่ทำการศึกษา และสามารถมองเห็นเส้นทาง ภูมิหลังของประเด็นรวมทั้งสามารถสร้างแนวทางสำหับอนาคตได้อีกด้วย

2 การคิดแบบระบบแห่งสาเหตุ

การคิดแบบระบบแห่งสาเหตุเป็นทักษะการคิดที่จะทำให้เกิดความก้าวหน้า ซึ่งก็คือ การคิดแบบปัจจัยเหตุของระบบที่ส่งเสริมให้สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องมากที่สุด ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาแบบแผนพฤติกรรมที่กำลังทำการศึกษาหรือสนใจ การคิดแบบระบบแห่งสาเหตุเป็นการมองความสัมพันธ์ที่ไม่ได้ในการควบคุมของผู้ทำการตัดสินใจที่อยู่ในระบบ แต่มองเห็นว่าตัวระบบเป็นสาเหตุของพฤติกรรมที่ได้แสดงออกมา

ข้อดีของการคิดแบบระบบแห่งสาเหตุ มีดังนี้

- ผู้ทำการตัดสินใจเป็นบุคคลที่ได้ยอมรับโดยการขับเคลื่อนด้วยตนเองมากกว่าการขับเคลื่อนที่เกิดจากะภายนอก และทำให้มีความพยายามค้นหาปฏิบัติการที่ช่วยให้แบบแผนหรือรูปแบบพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดขึ้นได้มากกว่าที่จะนำไปทำนายรูปแบบที่จะเกิดขึ้น

- การคิดแบบระบบแห่งสาเหตุเป็นทางเชื่อมต่อที่ทำให้มีความสนใจกับรูปแบบที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้รูปแบบของประเด็นหรือปัญหามีความชัดเจน และเป็นรูปแบบที่มีความเข้าใจได้ง่าย ทำให้มีเวลาที่จะพิจารณาในประเด็นที่สูงขึ้นได้อีกด้วย

3 การคิดแบบภาพรวม

การคิดแบบภาพรวมเป็นวิธีการคิดที่ทำให้สามารถสรุปประเด็นปัญหาได้กว้างและลึก การคิดแบบภาพรวมเป็นการมองแบบกว้างซึ่งอาจจะจำลองที่มีความเป็นเอกภาพสูงด้วยตัวแปรที่มีจำนวนน้อยในแต่ละความสัมพันธ์ซึ่งเปรียบเสมือนการเดินเข้าไปในป่า แต่การคิดแบบมองต้นไม้แต่ละต้นเป็นการมองในมุมแคบ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีความเป็นเอกภาพน้อยแต่จะคำนึงถึงรายละเอียดของตัวแปรในแต่ละความสัมพันธ์

4 การคิดแบบปฏิบัติการ

การคิดแบบปฏิบัติการเป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นการพิจารณาเรื่องปัจจัยมากกว่ากระบวนการ การคิดแบบปฏิบัติการเป็นการคิดที่ต้องใช้เวลาในการฝึกฝน โดยปกติจะมีแนวคิดความเชื่อพื้นฐานซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการคิดที่ปัจจัยหรือความสัมพันธ์ ซึ่งจะมีการตั้งคำถามว่า “อะไรคือปัจจัยที่มีอิทธิพล....?” หรือ “อะไรคือปัจจัยที่จะเป็นตัวขับเคลื่อนไปสู่ความสำเร็จ .....?” แต่ในการคิดแบบปฏิบัติการจะเป็นการตอบคำถามว่า “อะไรเป็นสาเหตุของผลผลิต (Outcome)นี้ ?” หรือ “กิจกรรมนี้มีการทำงานจริง ๆ เป็นอย่างไร” จากคำถามที่ได้กล่าวมาจะมีลักษณะที่แตกต่างคือ เป็นการคิดถึงความสัมพันธ์กับการคิดถึงสาเหตุ ซึ่งความสำคัญของการคิด

แบบปฏิบัติจะเป็นส่วนที่ส่งเสริมให้มีการคิดรวมทั้งการสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถระบุผลจองการพัฒนาจากการแสดงออกที่ชัดเจนมากขึ้น (Barry Richmond, 2000 : 16)

การส่งเสริมการคิดแบบปฏิบัติการจะต้องมีการฝึก คือ จะต้องคำนึงตลอดว่าการตั้งคำถามว่าอะไรคือสาเหตุของเหตุการณ์นี้ และจะมีแนวทางในการปฏิบัติอย่างไร โดยเป็นคำถามที่มุ่งเน้นกระบวนการมากกว่าการหาปัจจัย จะต้องฝึกการสร้างเส้นทาง (Flow-generated) ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการดำเนินไปของกระบวนการเกิด ผลลัพธ์ที่ได้มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ที่ทำให้เกิดผลซึ่งเป็นขั้นตอนหรือเป็นกระบวนการ

5 การคิดแบบวงจรสัมพันธ์

การคิดแบบวงจรสัมพันธ์ คือ การหาสัมพันธ์แห่งสาเหตุในลักษณะวงจรซึ่งเป็นสองทาง โดยมีลักษณะของเหตุและผล การคิดแบบวงจรสัมพันธ์จะสามารถพิจารณาปัญหาหรือประเด็นหรือสถานการณ์ที่สนใจว่ามีสาเหตุจากสิ่งใดและส่งผลอย่างไรบ้าง การคิดแบบวงจรสัมพันธ์เป็นการคิดที่ฝึกฝนและพัฒนาได้ง่าย เนื่องจากสามารถเรียนรู้ปัจจัยเหตุและผลจากการสนทนา หรือสื่อต่าง ๆ เกี่ยวกับสถานการณ์ หรือการทำความเข้าใจเกี่ยวกับสถานการณ์จะช่วยให้เข้าใจวงจรความสัมพันธ์และจะช่วยให้สามารถระบุความสัมพันธ์ภายในแบบจำลองได้

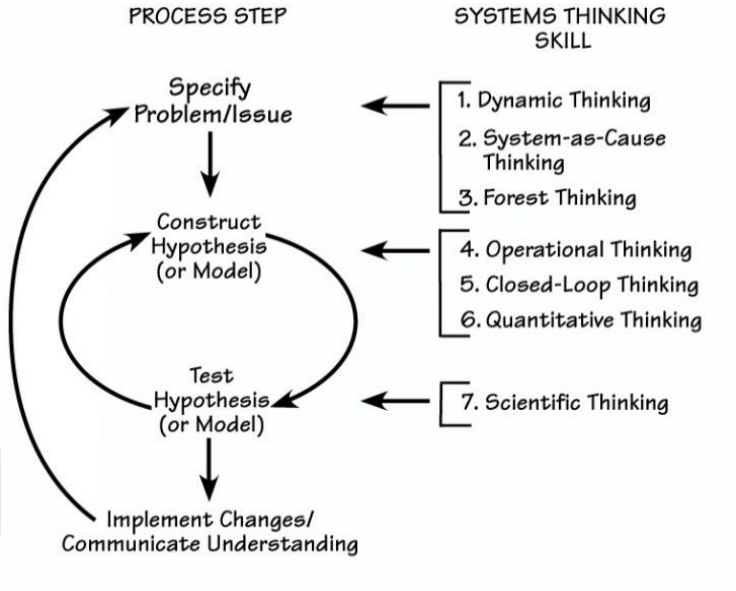
6 การคิดเชิงปริมาณ

การคิดเชิงปริมาณจะได้ข้อมูลเป็นตัวเลข และนำไปสร้างเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ลักษณะการคิดแบบเชิงปริมาณจะเกี่ยวข้องกับจำนวนตัวเลข แต่ไม่มีความจำเป็นต้องได้จากการวัดที่เที่ยงตรงเท่านั้น อาจมาจากการประมาณการที่คาดว่าจะใกล้เคียงที่สุด การคิดเชิงปริมาณเป็นขั้นตอนที่สำคัญจะส่งเสริมการคิดอย่างต่อเนื่อง การคิดเชิงปริมาณจะถูกนำมาในการสร้างสถานการณ์จำลองในคอมพิวเตอร์แล้วการทำการทดสอบด้วยระบบคอมพิวเตอร์

7 การคิดเชิงวิทยาศาสตร์

การคิดเชิงวิทยาศาสตร์เป็นการหาแนวทางเพื่อพัฒนาระบบเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าระบบมีประสิทธิภาพ โดยการคิดเชิงวิทยาศาสตร์จะนำไปสู่การทดสอบทางสถิติทำให้เกิด “Goodness of fit” การคิดอย่างเป็นวิทยาศาสตร์จะเกี่ยวกับการวัดคุณภาพของแบบจำลองในด้านความเที่ยงตรงภายนอก (Face validity) และความแข็งแรงของแบบจำลอง (Robustness) โดยที่ความเที่ยงตรงภายนอกเป็นการประเมินโครงสร้างของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมกับโครงสร้างของแบบจำลองของสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงเท่าใด ส่วนความแข็งแรงของระบบเป็นประเมินพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่ออยู่ภายใต้สถานการณ์จริง ถ้าแบบจำลองสามารถ

อยู่ภายใต้สถานการณ์จริงได้อย่างมั่นคง สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนั้นมีความทนทาน แต่ถ้าหากไม่สามารถอยู่ได้หรือแสดงพฤติกรรมออกมาไม่ดี สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองไม่มีความแข็งแรง



ภาพประกอบ 6 กระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ

ที่ ม า : https://thesystemsthinker.com/the-thinking-in-systems-thinking-honing-your-skills/

แนวคิดของ Goodman

Good และ Karash (1995)การคิดเชิงระบบทำให้มองเห็นเป็นภาพรวมและมีความเชื่อมโยงเกี่ยวเนื่องกันของเหตุและปัจจัยที่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน เป็นการคิดที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังมีวิธีการ ขั้นตอนที่ชัดเจนสำหรับการตรวจสอบปัญหาให้เกิดความถูกต้องก่อนนำไปสู่ข้อสรุปได้ ซึ่งการคิดเชิงระบบช่วยเพิ่มทางเลือกในการแก้ไขปัญหา โดยการขยายความคิดและช่วยให้สามารถพูดถึงการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีใหม่และแตกต่างกัน ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาการคิดเชิงระบบประกอบด้วย 6 ขั้น ดังนี้

1. ขั้นการบอกเล่าเรื่องราวของปัญหา
2. ขั้นการกำหนดสมมติฐาน
3. ขั้นการพัฒนาความคิด
4. ขั้นการระบุโครงสร้าง

5. ขั้นการสร้างแบบจำลอง

6. ขั้นการวางแผนและแก้ปัญหา

แนวคิดของ Fritjof Capra

ปิยนาถ ประยูร (2548) Frifjof Capra ได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีระบบในหัวข้อ ข่ายใยแห่งชีวิต เป็นการนำเสนอกรอบแนวคิดให้เกิดความเข้าใจชีวิตมีมิติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้นำวิธีการคิดอย่างเป็นระบบ มาใช้ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบชีวิต ซึ่งมีการเปลี่ยนวิถีที่สิ่งมีชีวิตด้วยกันเอง หรือสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม และมุมมองต่าง ๆ ในหลายแง่มุม

การคิดอย่างเป็นระบบแสดงให้เห็นว่า “องค์กรเป็นมากกว่าผลรวมขององค์ประกอบของมัน” หมายถึง ทุกสิ่งล้วนอยู่ด้วยกันอย่างเป็นระบบในลักษณะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแห ซึ่งระบบนิเวศเป็นระบบที่ใหญ่และสำคัญมากที่สุด โดยเชื่อว่าหากเราสามารถรับรู้ความสัมพันธ์ในระบบนิเวศได้ทั้งหมดจะสามารถทำให้เราเข้าใจระบบทั้งหมดที่มี

3.3 การพัฒนาทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ

มกราพันธุ์ จูฑะรสก (2556) แนวทางในการพัฒนาทักษะการคิดอย่างเป็นระบบสามารถกระทำได้โดยการฝึกการคิดอย่างเป็นระบบ เพื่อทำให้มองเห็นมุมมองใหม่ ดังนี้

1. คำตอบที่ถูกต้องมีหลายคำตอบ ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ผลที่เกิดขึ้นทั้งบวกและลบ ในระยะสั้นและระยะยาว

2. มองแยกส่วนกับมองภาพรวมได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแตกต่างกันโดยจะมุ่งเน้นให้เห็นถึงการร่วมมือกันเพื่อผลประโยชน์ของส่วนรวม

3. หลีกเลี่ยงการคิดแบบทางตรง เนื่องจากอาจจะมีผลกระทบตามมามาก

4. ให้มองผลลัพธ์และสาเหตุไม่ได้อยู่ใกล้กันเสมอไป และไม่มีวิธีที่ตายตัว

5. ในการแก้ไขปัญหาจะต้องอาศัยความอดทน

6. ความล้มเหลวสามารถนำไปปรับปรุงและแก้ไขได้

3.4 ประโยชน์ของการคิดอย่างเป็นระบบ

การคิดอย่างเป็นระบบช่วยให้เกิดการคิดที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม คือ (สโนชิน รัถยาธาร, 2550)

1. มองโลกแบบองค์รวม ไม่มุ่งเน้นเพียงด้านใดด้านหนึ่ง

2. ส่วนย่อยของระบบทำงานร่วมกัน

3. เห็นความสัมพันธ์ส่วนย่อยมีผลต่อเหตุการณ์

4. เข้าใจการเปลี่ยนแปลง

5. เข้าใจผลที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาแต่ยังส่งผลซึ่งกันและกัน

6. สิ่งที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเราในระบบ

7. เกิดความท้าทายในการตั้งสมติฐาน

8. มองเห็นผลของการกระทำของตนมีผลกระทบในระยะสั้นหรือยาวได้

9. ฝึกทักษะการคิดจะทำให้สามารถหาวิธีแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง

จากการศึกษาเกี่ยวข้องกับการคิดอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยสามารถข้อสรุปการคิดอย่างเป็นระบบ คือ การคิดที่มีขั้นตอนต่าง ๆ ที่มีการมองภาพรวมอย่างมีระบบ ซึ่งระบบจะประกอบระบบย่อยที่มีความสัมพันธ์หรือมีความเชื่อมโยงระหว่างกันและกัน โดยจะต้องมีขั้นตอนกำหนดปัญหา หาสาเหตุ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์พร้อมทั้งมีการจำลองเหตุการณ์ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์จนสามารถนำมาสร้างแบบแผนและสามารถนำไปใช้ได้

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

4.1 ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ทบวงมหาวิทยาลัย (2525) กล่าวว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คือ ความคิด ความเข้าใจที่ได้จากการสรุปหลังจากการสังเกตสิ่งต่าง ๆ ซึ่งอาจจะมาจากประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งต่าง ๆ หรือเหตุกาณ์ที่เกี่ยวข้อง แล้วสามารถนำลักษณะที่ได้มาประมวลเข้าด้วยกันจนเป็นข้อสรุป แนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีทั้งในลักษณะของรูปธรรมและนามธรรม โดยจะมีความเชื่อมโยงกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแนวคิดหนึ่ง ๆ อาจจะมาจากการนำแนวคิดหลาย ๆ แนวคิดมาพิจารณาความสัมพันธ์กันอย่างมีเหตุผล แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาหรือบทเรียน

ภพ เลาหไพบูลย์ (2540) กล่าวถึงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า ความคิดความเข้าใจในสิ่งที่สนใจ โดยที่เกิดจากการสังเกต หรืออาจจะเป็นประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งนั้นหรือเรื่องนั้น แล้วนำมาหาความสัมพันธ์และรวมเข้าด้วยกันแล้วได้มาซึ่งข้อสรุป หรือคำจำกัดความแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีทั้งในรูปธรรมและนามธรรมซึ่งมีความเชื่อมโยงต่อเนื่องกับแนวคิดหนึ่งหรืออาจจะเกิดจากการนำแนวคิดหลาย ๆ แนวคิดมารวมกันโดยอาศัยความสัมพันธ์กันอย่างมีเหตุผล

วราภรณ์ แย้มจินดา (2547)กล่าวถึงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า เป็นความคิดความเข้าใจ การสรุปลักษณะที่สำคัญของวัตถุหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยมาจากการสังเกต

หรืออาจจะเป็นการได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งนั้นหรือปรากฏการณ์นั้น และนำมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยอาศัยความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันเป็นข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์

นันธิดา รัตน์พิทักษ์ (2556) ได้กล่าวเกี่ยวข้องกับความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง กระบวนการคิดในการแสวงหาความรู้เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาหรือการได้มาซึ่งคำตอบของปัญหา โดยจะต้องมีหลักฐานเชิงประจักษ์เป็นพื้นฐานในการคิดเพื่อนำมาซึ่งความรู้ หรือคำตอบที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ

จากการศึกษาเกี่ยวข้องกับความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ สามารถสรุปความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คือ ความคิด ความเข้าใจที่เกิดจากการสังเกต รวบรวมแล้วสามารถสรุปได้เกี่ยวกับประสบการณ์ที่ได้รับ โดยอาศัยหลักฐานและเหตุผลที่เป็นที่ยอมรับ

4.2 การจัดกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

การจัดกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์สามารถจัดได้ตามวิธีการ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบแนวคิดของนักเรียน ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มแนวคิด ได้ดังนี้

1. Noh และ Scharmann (1997) ได้มีการจัดจำแนกประเภทของแนวคิดออกเป็น 6 กลุ่ม ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลของแนวคิดที่ได้รวบรวมจากแบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบแต่สามารถเลือกตอบได้มากกว่า 1 คำตอบ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มแนวคิด ได้ดังนี้

1.1 แนวคิดถูกต้อง (Sound understanding: SU) หมายถึงคำตอบ จำนวน 3-4 องค์ประกอบ สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แลไม่มีองค์ประกอบคลาดเคลื่อน

1.2 แนวคิดถูกต้องบางส่วนและไม่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (Partial understanding with no misconception: PU) หมายถึงคำตอบจำนวน 2-3 องค์ประกอบสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ยังไม่มีองค์ประกอบที่คลาดเคลื่อน

1.3 แนวคิดส่วนใหญ่ถูกต้องและมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเพียง 1 แนวคิด (Good understanding containing one misconception: GM) หมายถึงมีคำตอบที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลายคำตอบแต่มีเพียง 1 องค์ประกอบที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

1.4 แนวคิดถูกต้องเป็นส่วนน้อยและไม่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (Minimum understanding with no misconception: MU) หมายถึง คำตอบที่มีองค์ประกอบ 1-2 องค์ประกอบที่มีความสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แต่ไม่มีองค์ประกอบที่คลาดเคลื่อน

1.5 แนวคิดถูกต้องส่วนน้อยและไม่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (Partial understanding containing misconception: PM) หมายถึงมีคำตอบที่มีองค์ประกอบ 1-2 องค์ประกอบ สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แต่มีองค์ประกอบที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิด

1.6 ไม่มีแนวคิด (No scientific understanding: NU) หมายถึง ไม่ตอบคำตอบ หรือตอบว่าไม่ทราบ

2. Westbrook และ Marek (1992) ได้จัดจำแนกแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

2.1 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์หรือแนวคิดถูกต้อง (Complete Understanding: CU or Scientific Conception: SC) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายทั้งหมดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน

2.2 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding: PC or partial scientific conception: PC) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์บางส่วน และไม่มีคำอธิบายผิดไปจากแนวทางวิทยาศาสตร์

2.3 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial scientific conception with misconception: PC/MC) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายบางส่วนสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แต่บางส่วนไม่สอดคล้องหรือผิดไปจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

2.4 แนวคิดคลาดเคลื่อนหรือแนวคิดไม่ถูกต้อง (Non scientific understanding: SU, misconception: MC) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

2.5 ไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (No understanding or without answer: NU, no conception: NC) หมายถึง ไม่ได้ตอบคำถาม ตอบว่าไม่เข้าใจคำถาม ตอบทวนคำถาม

3. Brickhouse, Dagher, Letts Iv, และ Shipman (2000) ได้จัดจำแนกแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

3.1 แนวคิดถูกต้อง (Sound Understanding: SU) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด

3.2 แนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding: PU) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์

3.3 แนวคิดคลาดเคลื่อน (Limited understanding: LU) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายมีบางองค์ประกอบที่แสดงถึงการมีแนวคิดที่ถูกต้องสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และบางองค์ประกอบที่มีแนวคิดไม่ถูกต้องหรือไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

3.4 แนวคิดไม่ถูกต้อง (Misunderstanding: MU) หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายที่แสดงถึงความไม่เข้าใจแนวคิด

จากการศึกษาเกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ใช้การวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มตามแนวทางการจัดกลุ่มแนวคิดตาม Westbrook และ Marek (1992) ซึ่งได้มีการนำประยุกต์ใช้ในการวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

4.3 ประเภทของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

พงศกร พรมทา (2561) ได้กล่าวเกี่ยวข้องกับแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทโดยอาศัยเกณฑ์ในการจำแนกที่ได้สร้างขึ้น โดยจะสามารถแบ่งออกเป็นดังนี้

4.3.1 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบ ทั้งคำตอบและเหตุผล

แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบจะมีตัวเลือกหลายตัวเลือก โดยนักเรียนจะต้องเลือกตัวเลือกที่ถูกต้องที่สุดจากคำถาม โดยจะต้องอธิบายเหตุผลในการเลือกตอบตัวเลือกนั้น ซึ่งแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบจะสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งเชิงปริมาณรวมทั้งเชิงคุณภาพ และยังสามารถเปลี่ยนให้ข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยการใช้เกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

- นักเรียนตอบถูกทั้ง 2 ส่วนทั้งส่วนคำตอบและเหตุผล จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง จะกำหนดให้ได้ 1 คะแนน

- นักเรียนตอบถูกต้องเพียง 1 ส่วน หรือไม่ถูกต้องทั้ง 2 ส่วน จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน จะกำหนดให้ได้ 0 คะแนน

ตัวอย่าง แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบ ทั้งคำตอบและเหตุผล (อัจฉรีรัตน์ ศิริ, ประนอม แซ่จึง, และ กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา, 2558)

คำถาม ข้อใดอ่านชื่อสารประกอบไอออนิกต่อไปนี้ได้ถูกต้อง

ก. $BaCl_2$ อ่านว่า แบเรียมไดคลอไรด์

ข. Na_2CO_3 อ่านว่า ไดโซเดียมไนเตรต

ค. Al_2S_3 อ่านว่า อะลูมิเนียมซัลไฟด์

ง. KCl อ่านว่า โพแทสเซียมคลอรีน

เหตุผล

1. อ่านชื่อของอะตอมตัวหน้าก่อนตามด้วยชื่อของอะตอมตัวหลัง แต่เปลี่ยนท้ายเสียงพยางค์เป็น ไ-ด์

2. อ่านชื่ออะตอมตัวหน้าก่อนแล้วตามด้วยจำนวนอะตอมและชื่ออะตอมตัวหลัง แต่เปลี่ยนท้ายเสียงพยางค์เป็น ไ-ด์

3. อ่านชื่ออะตอมตัวหน้าก่อน แล้วตามด้วยชื่อของอะตอมตัวหลัง

4. บอกจำนวอะตอมตัวหน้าและตามด้วยชื่อของอะตอมตัวหน้าส่วนอะตอมตัวหลังให้เปลี่ยนท้ายเสียงพยางค์เป็น ไ-ด์

4.3.2 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบพร้อมทั้งอธิบายเหตุผลที่เลือกตอบ

แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบจะมีตัวเลือกหลายตัวเลือก โดยนักเรียนจะต้องเลือกตัวเลือกที่ถูกต้องที่สุดจากคำถามหรือข้อความที่ให้มา และอธิบายเหตุผลของตัวเลือกที่ได้เลือกตอบ ซึ่งแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบพร้องทั้งอธิบายเหตุผลที่เลือกตอบจะสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งเชิงปริมาณรวมทั้งเชิงคุณภาพ และสามารถเปลี่ยนให้ข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยการใช้เกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

- นักเรียนตอบถูกทั้ง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นคำตอบและเหตุผลในการเลือกตอบ จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง กำหนดให้ได้ 1 คะแนน

- นักเรียนตอบถูกเพียงส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือตอบผิดทั้ง 2 ส่วน จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน กำหนดให้ได้ 0 คะแนน

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบเลือกตอบ พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลที่เลือก (กาญจนา คังคะประดิษฐ์, 2547)

คำถาม ข้อใดคือความหมายของพันธะเคมี

ก. น้ำแข็งแต่ละก้อนมีหลายโมเลกุล และแต่ละโมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน

ข. น้ำแข็งหลาย ๆ โมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวกันมากจึงทำให้สามารถอยู่เป็นก้อนได้

ค. น้ำแข็งแต่ละโมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

ง. น้ำแข็งแต่ละโมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนและอะตอมของออกซิเจน

เหตุผล.....

4.3.3 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบคำถามปลายเปิด

แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบคำถามปลายเปิดมีลักษณะเป็นแบบทดสอบเขียนตอบ และจะต้องมีการอธิบายเหตุผลร่วมกับการตอบคำถามด้วย ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพรวมทั้งเชิงปริมาณ ซึ่งข้อมูลเชิงคุณภาพเปลี่ยนเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

- นักเรียนนตอบถูกต้อง ครอบคลุมและชัดเจน จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง กำหนดให้ได้ 2 คะแนน

- นักเรียนตอบถูกต้องเพียงบางส่วน และมีบางส่วนที่นักเรียนไม่ได้กล่าวถึง จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์ จะกำหนดให้ได้ 1 คะแนน

- นักเรียนตอบถูกต้องบางส่วน และมีบางส่วนที่ไม่ถูกต้อง จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน จะกำหนดให้ได้ 0 คะแนน

- นักเรียนตอบคำถามไม่ถูกต้องทั้งหมด จะถือว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่ถูกต้อง จะกำหนดให้ได้ 0 คะแนน

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบคำถามปลายเปิด (อัจฉรีรัตน์ ศิริ และคนอื่น ๆ, 2558)

คำถาม จงหาอัตราส่วนไอออนบวกกับไอออนลบในโซเดียมออกไซด์ พร้อมอธิบายแนวคิด

เหตุผล .....

4.3.4 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบถูก-ผิด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ

แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบถูก-ผิด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ นักเรียนจะต้องพิจารณาข้อความที่ให้มาแล้วเลือกว่าถูกหรือผิด รวมทั้งบอกเหตุผลว่าทำไมถึงต้องอย่างนั้น ข้อมูลที่ได้จากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบถูก-ผิดจะได้ข้อมูลเชิงคุณภาพรวมทั้งเชิงปริมาณ ซึ่งข้อมูลเชิงคุณภาพเปลี่ยนเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

- นักเรียนกาเครื่องหมายถูกหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง และอธิบายเหตุผลได้ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง กำหนดให้ 1 คะแนน

- นักเรียนกาเครื่องหมายผิดหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน และอธิบายเหตุผลได้ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง กำหนดให้ 1 คะแนน

- นักเรียนกาเครื่องหมายถูกหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน และอธิบายเหตุผลไม่ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน กำหนดให้ 0 คะแนน

- นักเรียนกาเครื่องหมายผิดหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดคลาดเคลื่อน และอธิบายเหตุผลไม่ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน กำหนดให้ 0 คะแนน

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบถูก-ผิด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ(วิไลภรณ์ ผุยพรม, 2550)

คำชี้แจง : จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ แล้วให้นักเรียนกาเครื่องหมายถูกหน้าข้อความที่นักเรียนพิจารณาแล้วว่าถูกต้อง และกาเครื่องหมายผิดหน้าข้อความที่นักเรียนพิจารณาแล้วว่าผิด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ

1 ..... สารประกอบเป็นสารบริสุทธิ์ที่มีเนื้อเดียว

เหตุผล .....

จากการศึกษาแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้เลือกใช้แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบถูก-ผิด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ ในเรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งมีจำนวน 15 คำถาม คิดเป็น 60 คะแนน ซึ่งให้เลือกตอบถูกหรือผิดในหนึ่งคำถาม ถ้าหากข้อความที่กำหนดมาให้พิจารณาผิดให้นักเรียนทำการแก้ไขให้ถูกต้อง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบที่ได้เลือกมา เพื่อจะได้นำคะแนนของนักเรียนไปเปรียบเทียบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยจะนำคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

อรวรรณ จันทร์ฟู (2554) พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบคอนสตรักติวิซึมทำให้นักเรียนส่วนใหญ่จำนวนร้อยละ 35.53 มีแนวคิดเรื่องพันธะเคมีถูกต้อง และแนวคิดถูกต้อง

บางส่วนร้อยละ 14.53 แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่ายังคงมีนักเรียนส่วนใหญ่อีกร้อยละ 30.92 ที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะในแนวคิดเรื่องชนิดของพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ สภาพขั้ว สารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล นอกจากนี้ร้อยละ 12.75 ของจำนวนนักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วนถูกต้องบางส่วนในแนวคิดเรื่องโมเลกุลที่ไม่เป็นตามกฎออกเตต ส่วนร้อยละ 4.86 ของจำนวนนักเรียนไม่มีแนวคิดในเรื่องพันธะเคมี

ไพโรจน์ เติมเตชาติพงศ์ และ พัชราภรณ์ บัวระบัดทอง (2016) พบว่า เมื่อใช้วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนาโดยใช้รูปแบบตั๋วออก (Exit Cards) นักเรียนมีระดับมโนมติคลาดเคลื่อน (MU) เท่ากับร้อยละ 14.46 ระดับมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU & MU) เท่ากับร้อยละ 13.04 ระดับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ไม่สมบูรณ์(PU)เท่ากับ ร้อยละ 65.00 และระดับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (SU) เท่ากับร้อยละ 7.50แสดงให้เห็นว่า วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนา โดยใช้รูปแบบตั๋วออก (Exit cards) ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องพันธุกรรมมากขึ้น

อัจฉรีรัตน์ ศิริ และคนอื่น ๆ (2558) พบว่า มโนมติที่ถูกต้องของนักเรียนใช้กิจกรรมการเรียนรู้โดยเทคนิคแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ร่วมกับสื่อการเรียนรู้บัตรแสดงพันธะเคมีเพิ่มขึ้นหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยที่มโนมติที่คลาดเคลื่อนและมโนมติที่ผิดลดลงด้วยการเขียนสูตรและการเรียกชื่อ นักเรียนมีความก้าวหน้าในเรื่องสารโคเวเลนต์สูงกว่าสารไอออนิก สำหรับมโนมติคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือเรื่องการอ่านชื่อสารโคเวเลนต์ ซึ่งนักเรียนอ่านจำนวนอะตอมเป็นภาษากรีกไม่ถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 40.63 นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 28.13 สามารถเขียนสูตรไอออนิก เพราะใช้ตัวเลขโรมันในการระบุประจุของเรพรีเซนเททีฟ

ขวัญฤทัย เที่ยงจันทราทิพย์ (2559) พบว่ารูปแบบการเรียนรู้แบบ HI-ER เพื่อเสริมสร้างแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ส่งผลให้นักเรียนมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนแตกต่างจากก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และร้อยละของนักเรียนที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นในทุกแนวคิด

พงศกร พรมทา (2561)ได้พัฒนากิจกรรมสตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี : ผ้าฝ้ายกันน้ำเพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่ากิจกรรมสตีมศึกษามีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 100 สูงกว่าเกณฑ์ หมายถึงนักเรียนร้อยละ 100 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 และทักษะความคิดสร้างสรรค์และ

นวัตกรรมของนักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้

5.1 ความหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ นำสื่อที่มีความหลาหลายมาจัดเรียบเรียงเป็นชุด หรือเรียกว่า สื่อประสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (บุญชม ศรีสะอาด, 2538) ซึ่งมีการจัดขึ้นตามเนื้อหาของหน่วยการเรียนรู้และมีการเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ ส่งผลให้นักเรียนได้รับความรู้อย่างมีประสิทธิภาพ (บุญเกื้อ ควรหาเวช, 2542) นอกจากนั้นแล้วจะต้องมีการออกแบบและเรียบเรียงอย่างมีระบบ ซึ่งประกอบด้วย จุดมุ่งหมาย เนื้อหา และวัสดุอุปกรณ์ (วัฒนาพร ระงับทุกข์, 2542) ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ อาจจะรวมถึงการรวบรวมสื่อการเรียนสำเร็จรูป ซึ่งมีส่วนประกอบได้แก่ คำชี้แจง ชื่อเรื่อง จุดมุ่งหมาย กิจกรรม และการประเมินผล โดยผู้สอนจะต้องออกแบบและสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยวัสดุอุปกรณ์ที่หลากหลาย เพื่อให้นักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้และสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้ด้วยตนเอง (สมพร ประมวลศิลป์ชัย, 2543) ชุดกิจกรรมการเรียนรู้เป็นการนำสื่อการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับเนื้อหา ซึ่งประกอบด้วย จุดมุ่งหมาย เนื้อหา และวัสดุอุปกรณ์ทั้งหลาย รวมทั้งกิจกรรมต่าง ๆ ที่นำมารวบรวมกันอย่างมีระบบ เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาจากประสบการณ์ได้ดียิ่งขึ้น (สุพิน บุญชูวงศ์, 2538)

จากความหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถสรุปได้ว่า ชุดกิจกรรรมการเรียนรู้ คือ สื่อการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้นโดยครูผู้สอนมีหน้าที่ให้คำแนะนำ ซึ่งได้ดำเนินการจัดทำสื่อรวบรวมเนื้อหาที่สอดคล้องกัน วิธีการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งมีการดำเนินการอย่างเป็นระบบ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองผ่านชุดกิจกรรมการโดยมีจุดประสงค์ที่สอดคล้องกับเนื้อหา และการวัดประเมินผลการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ประเภทของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

การแบ่งประเภทของชุดกิจกรรมกิจกรรมการเรียนรู้ มีดังนี้

ศรีสุดา จริยากุล (2543) ได้แบ่งชุดกิจกรรมการเรียนรู้เป็น 3 ประเภท

1. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ใช้กับนักเรียนที่เรียนตามความสนใจและระดับความสามารถของตนเอง ซึ่งนักเรียนจะสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยใช้ชุดกิจกรรมแต่ละชุดที่มีคำชี้แจงแก่นักเรียนในการทำกิจกรรม รวมทั้งส่วนที่นักเรียนไปศึกษาเพิ่มเติม

โดยนักเรียนสามารถทำการทดสอบผลการเรียนรู้ของตนเองได้ตลอดเวลา เพื่อติดตามความก้าวหน้าของตนเองหลังจากทำกิจกรรมและจะสามารถทราบผลการวัดประเมินทันที ซึ่งชุดกิจกรรมรายบุคคลจะประกอบไปด้วย แบบประเมินและวัสดุ อุปกรณ์ในการเรียน บทเรียนสำเร็จรูป

2. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับนักเรียนเป็นกลุ่ม เป็นชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ในการเรียนรู้แบบกลุ่ม หรืออาจจะจัดในรูปแบบของศูนย์การเรียนรู้ ชุดกิจกรรมจะมีสื่อสำหรับสมาชิกภายในกลุ่ม ที่จะใช้ประกอบการทำกิจกรรมตามคำแนะนำได้ โดยประกอบด้วยชุดกิจกรรมย่อยเท่ากับศูนย์การเรียนรู้ที่กำหนด โดยจะมีสื่อการเรียนรู้ตามจำนวนนักเรียนในศูนย์การเรียนรู้ซึ่งนักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง หรืออาจจะมีการช่วยเหลือกันในศูนย์การเรียนรู้ต่างๆจนครบ

3. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สำหับครูผู้สอน ที่มีการกำหนดกิจกรรมให้ครูผู้สอนใช้ในจัดการเรียนรู้ซึ่งเป็นเนื้อหาหรือประสบการณ์ที่ครูผู้สอนต้องการให้นักเรียนมีพื้นฐานโดยนักเรียนจะต้องเรียนรู้ไปพร้อมกัน โดยมีเวลาในการศึกษาร่วมกันที่กำหนดไว้ในตารางเรียนของนักเรียนแต่ละคน

บุญเกื้อ ควรหาเวช (2542) ได้แบ่งประเภทของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ได้ดังนี้

1. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ประกอบการบรรยาย ชุดกิจกรรมที่มีการนำไปสอนให้กับกลุ่มนักเรียนขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถเรียนรู้และเข้าใจพร้อม ๆ กัน โดยจะมุ่งเน้นการขยายเนื้อหาสาระให้มีความชัดเจนมากขึ้น สื่อที่ใช้ได้แก่ สไลด์ ฟิล์มสตริป เทปบันทึกเสียงหรือเป็นกิจกรรมที่ออกแบบไว้

2. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบกลุ่มกิจกรรม ชุดกิจกรรมที่ใช้กับนักเรียนกลุ่มขนาดเล็ก ประมาณ 5-7 คน สื่อการสอนในชุดกิจกรรมในมุ่งเน้นการฝึกทักษะ รวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกัน

3. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้รายบุคคล ชุดกิจกรรมที่นักเรียนเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยนักเรียนจะศึกษาเนื้อหาตามความสนใจ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งที่โรงเรียนหรือที่บ้าน และนักเรียนยังประเมินการเรียนของตนเองได้

จากการศึกษาเกี่ยวข้องกับประเภทของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ สรุปได้ว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบประกอบการบรรยายจะเน้นให้นักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้ได้พร้อม ๆ กัน โดยใช้เวลาน้อย แต่ไม่ได้เน้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ตามความสามารถและความสนใจของตนเอง ชุดกิจกรรมรายบุคคลจะมุ่งเน้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยอาศัย

ความสามารถและความสนใจของนักเรียนเป็นสำคัญ แต่นักเรียนจะไม่สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น ส่วนชุดกิจกรรมแบบกลุ่มเป็นชุดกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนฝึกฝนทักษะต่าง ๆ ในเนื้อหารายวิชานั้น ๆ รวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนทำงานร่วมกับผู้อื่นได้

5.3 องค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

Houston (1972) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1. คำชี้แจง คือ สิ่งที่แสดงถึงที่มาและความสำคัญ โดยมีขอบเขตการอธิบายสิ่งที่นักเรียนจะได้รับหลังจากการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

2. จุดมุ่งหมาย คือสิ่งที่นักเรียนจะได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งจุดมุ่งหมายจะมีลักษณะเป็นข้อความที่มีความชัดเจน

3. การวัดประเมินเบื้องต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ นอกจากนั้นยังทราบผลการเรียนรู้ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูผู้สอนสามารถทำการวัดประเมินผลได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การสอบโดยใช้แบบทดสอบ หรืออาจจะเป็นการทดสอบโดยการสอบถาม

4. การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ คือ จัดทำแนวทางเพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ ซึ่งจะต้องยึดนักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้

5. การประเมินขั้นสุดท้าย คือ การทดสอบผลหลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

กรองกาญจน์ อรุณรัตน์ (2536) ได้แบ่งองค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1. หลักการและเหตุผลของชุดกิจกรรม
2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
3. แบบทดสอบก่อนเรียน
4. การวิเคราะห์แบบทดสอบก่อนเรียน
5. ความรู้พื้นฐาน
6. โปรแกรมการเรียนรู้
7. แบบทดสอบหลังเรียนและการประเมินผลตนเอง
8. การวิเคราะห์แบบทดสอบการประเมินผลตนเอง
9. อ้างอิง ข้อมูลเพิ่มเติม ฯลฯ

วรรณทิพา รอดแรงค้า และ พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2542) ได้แบ่งองค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ฝึกทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ มีดังนี้

1. ชื่อ ส่วนอธิบายถึงลักษณะของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

2. คำชี้แจง ส่วนอธิบายถึงเป้าหมายและความสำคัญของกิจกรรม

3. จุดมุ่งหมาย ส่วนที่มีการระบุจุดมุ่งหมายที่สำคัญของกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่

3.1 จุดมุ่งหมายทั่วไป เป็นส่วนที่กล่าวถึงพฤติกรรมของนักเรียนที่เกิดขึ้นหลังจากจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

3.2 จุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรม เป็นส่วนที่แสดงถึงพฤติกรรมของนักเรียนตามที่ครูผู้สอนได้กำหนดไว้หลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งครูผู้สอนจะสามารถสังเกตและทำการวัดประเมินผลได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

4. แนวคิด เป็นส่วนที่มีการระบุเนื้อหาสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้

5. สื่อ ส่วนที่วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

6. ระยะเวลา กำหนดเวาลที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้รวมทั้งลักษณะของกิจกรรมเพื่อให้เกิดความเหมาะสม

7. ขั้นตอนการใช้กิจกรรมการเรียนรู้ ส่วนที่ระบุขั้นตอนและวิธีการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนสามารถบรรลุตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งกำหนดขั้นตอน ดังนี้

7.1 ขั้นนำ เป็นขั้นที่มีการเตรียมความพร้อมของนักเรียนก่อนเริ่มทำกิจกรรมการเรียนรู้

7.2 ขั้นกิจกรรม เป็นขั้นที่มีความสำคัญที่ต้องให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้

7.3 ขั้นอภิปราย เป็นขั้นที่ให้นักเรียนได้นำประสบการณ์ที่ได้รับจากการจัดการเรียนรู้มาวิเคราะห์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในแนวคิด

7.4 ขั้นสรุป เป็นขั้นที่นักเรียนและครูผู้สอนได้ร่วมกันรวบรวมประมวลข้อความที่ได้จากขั้นอื่น ๆ แล้วนำมาสรุปร่วมกันเพื่อให้ได้สาระและใจความที่สำคัญ

8. การประเมินผล เป็นขั้นที่ทดสอบนักเรียนหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แต่ละกิจกรรม

9. ภาคผนวก เป็นส่วนเพิ่มเติมสำหรับครูผู้สอน

ปวีณา ชาลีเครือ (2553) อ้างถึง Nelson และ Lorbeer (1975) ได้สร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับครูผู้สอน โดยเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ครูผู้สอนสามารถ

นำไปใช้ในกระบวนการจัดการเรียนรู้ได้รวมทั้งยังสามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิง ซึ่งการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละกิจกรรมจะต้องเริ่มต้นมาจากปัญหาเพื่อนำเข้าสู่คำถาม ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์จะประกอบไปด้วย

1. ปัญหาซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกิจกรรม

2. วัสดุอุปกรณ์ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

3. ขั้นตอนการทดลอง

4. ส่วนเพิ่มเติมของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่ต้องประกอบด้วยการอ้างอิงหลักการวิทยาศาสตร์

5. คำถามท้ายกิจกรรมเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความคิด โดยใช้คำถามเร้าใจนักเรียน เพื่อให้นักเรียนเกิดการซักถามและกระตุ้นการคิดหาวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบ

ผู้วิจัยได้กำหนดองค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้มี 3 กิจกรรม ซึ่งประกอบด้วยคำชี้แจง จุดประสงค์ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ชื่อกิจกรรมการเรียนรู้ จุดประสงค์การทดลอง สถานการณ์ตัวอย่าง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเรียนรู้ ขั้นตอนและรายละเอียดการจัดการเรียนรู้

5.4 ขั้นตอนการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้

วิชัย วงษ์ใหญ่ (2525) ได้เสนอขั้นตอนการผลิตชุดกิจกรรมไว้ดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหารายวิชาที่นำมาสร้างชุดกิจกรรม จะต้องแบ่งเนื้อหา และเรียงลำดับของเนื้อหาสาระ

2. กำหนดเกณฑ์ในการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้จัดการเรียนรู้แบบใด โดยคำนึงถึงนักเรียน รวมทั้งจะใช้เนื้อหาใดกับนักเรียน และทำอย่างไร

3. กำหนดเนื้อหา ทำการประมาณเนื้อหาสาระที่จะจัดการเรียนรู้ในเวลาที่กำหนด

4. กำหนดสาระสำคัญซึ่งจะต้องสอดคล้องกับเนื้อหาสาระการเรียนรู้

5. จุดประสงค์การเรียนรู้ ให้สอดคล้องกับจุดประสงค์รายพฤติกรรมที่นักเรียนมีหลังการจัดการเรียนรู้และครูผู้สอนสามารถทำการวัดและประเมินได้

6. การวิเคราะห์งาน โดยการนำจุดประสงค์การเรียนรู้มาวิเคราะห์เพื่อหากิจกรรมการเรียนรู้ที่มีความสอดคล้องและเหมาะสม

7. เรียงลำดับกิจกรรมการเรียน เพื่อให้เนื้อหากลมกลืมและสอดคล้องกันโดยที่ไม่ทำให้เกิดความซับซ้อน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงพฤติกรรมพื้นฐานของนักเรียน

8. สื่อการเรียนรู้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำกิจกรรม โดยนักเรียนและครูผู้สอนจะต้องปฏิบัติ

9. การประเมินผล คือการตรวจสอบพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้ว่าเป็นไปจุดประสงค์หรือไม่

10. การทดลองชุดกิจกรรมหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ มีการปรับปรุงชุดกิจกรรมและนำไปทดลองกับกลุ่มขนาดเล็ก แล้วนำไปใช้กับกลุ่มขนาดใหญ่ มีขั้นตอนดังนี้

10.1 ชุดกิจกรรมนี้ต้องการความรู้เดิมของนักเรียนหรือไม่

10.2 การนำเข้าสู่บทเรียนของชุดกิจกรรมนี้เหมาะสมหรือไม่

10.3 การประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ มีความสับสนวุ่นวายกับนักเรียนหรือไม่

10.4 การสรุปผลเพื่อเป็นแนวทางสู่จุดประสงค์การเรียนรู้

10.5 การวัดประเมินหลังเรียน เพื่อติดตามการเรียนรู้ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นโดยให้ความเชื่อมั่นได้มากน้อยเท่าใดแก่นักเรียน

ศิริรัตน์ ราชยอด (2558) ได้มีการกล่าวเกี่ยวข้องกับขั้นตอนในการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ไว้ดังนี้

1. ครูผู้สอนได้กำหนดเนื้อหา

2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ได้กำหนด

3. กำหนดหน่วยการเรียนรู้

4. กำหนดหัวข้อ เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมที่จะจัดการเรียนรู้ในแต่ละหน่วย

5. กำหนดมโนมติที่นักเรียนจะต้องได้รับ และไม่คลาดเคลื่อน ซึ่งจะต้องมีความสอดคล้องกับหัวเรื่องโดยสรุปเป็นสาระสำคัญ

6. กำหนดวัตถุประสงค์ให้มีความสอดคล้องกับหัวข้อ และได้กำหนดเป็นวัตถุประสงค์

7. กำหนดกิจกรรมโดยให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

8. กำหนดแบบประเมิน โดยจะต้องคำนึงถึงจุดประสงค์

9. เลือกและผลิตสื่อการเรียนรู้สำหรับกิจกรรม

10. กำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และทำแบบฝึกทักษะ

จากการศึกษาเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ของนักการศึกษาและนักวิจัยหลายท่าน ทำให้ผู้วิจัยสามารถปรับและประยุกต์ใช้ขั้นตอนในการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจปัญหาในการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดเนื้อหาที่จะใช้ในการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์เนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้ที่ได้ทำการกำหนดไว้และแบ่งหัวข้อออกเป็นหัวข้อย่อย ๆ โดยจะต้องมีการคำนึงถึงระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์แนวคิด หลักการที่นักเรียนจะได้รับหลังจากการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ซึ่งนักเรียนจะต้องมีในขณะที่ทำกิจกรรมหรือหลังจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรม

ขั้นตอนที่ 7 ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อย่อย รวมทั้งมีการผลิตสื่อที่มีความสอดคล้องเนื้อหา และมีความเหมาะสมกับนักเรียน โดยจะต้องมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรที่ได้กำหนดไว้แล้ว

ขั้นตอนที่ 8 กำหนดแบบวัดและประเมินผล โดยมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

ขั้นตอนที่ 9 นำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียนกลุ่มขนาดเล็ก และขยายขนาดของกลุ่มขึ้น เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงให้ชุดกิจกรรมการเรียนนรู้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม และมีความเหมาะสวมกับนักเรียนมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 10 นำชุดกิจกรรมที่ผ่านการปรับปรุง แก้ไข ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้จริง

5.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดกิจกรรมการเรียนรู้

สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2546) ได้เสนอข้อดีของการจัดการเรียนรู้โดยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1. ส่งเสริมการเรียนรู้รายบุคคล ซึ่งนักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามสนใจ

2. แก้ไขปัญหาครูผู้สอนไม่เพียงพอ เนื่องจากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง และต้องการความช่วยเหลือของครูผู้สอนไม่มากนัก

3. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้นอกโรงเรียน และการเรียนรู้ตลอดชีวิต

4. สร้างความมั่นใจให้แก่ครูผู้สอนและเป็นส่วนช่วยในการลดภาระของครูผู้สอน

5. นักเรียนสามารถเกิดการแสวงหาความรู้ได้ด้วยตนเอง และยังมีการฝึกการตัดสินในและการทำงานร่วมกับผู้อื่น

6. ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนจำนวนมากได้รับความรู้ แนวคิดอย่างเดียวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พักตร์วิภา ตะเพียนทอง (2549) ได้กล่าวไว้เกี่ยวข้องกับคุณค่าของชุดกิกจกรรมวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. คุณค่าต่อนักเรียน

1.1 นักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้ได้ตามศักยภาพ ความสามารถความสนใจของตนเอง

1.2 นักเรียนได้มีโอกาสในการแสดงความคิดเห็น สามารถตัดสินใจสามารถแสวงหาความรู้ได้ด้วยตนเอง นอกจากนั้นแล้วยังส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความรับผิดชอบรวมทั้งนักเรียนได้ร่วมทำกิจกรรมโดยที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ

1.3 มีความเป็นอิสระในการเรียนรู้ โดยปราศจากอารมณ์ของครูผู้สอนและนักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ในเวลาที่สะดวกเนื่องจากไม่จำกัดสถานที่

1.4 นักเรียนมีโอกาสเกิดการเรียนรู้ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีเวลาที่ไม่จำกัด

1.5 ได้ฝึกให้มีความสามารถรู้คำตอบทันที ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจใหม่ทันทีซึ่งจะมีลักษณะคล้ายการซ่อมเสริม

1.6 ได้ส่งเสริมทักษะการอ่าน โดยไม่ต้องรอครูผู้สอนอธิบาย และไม่ทำให้เกิดความเบื่อหน่าย

1.7 เมื่อมีการตอบคำถามผิด จะไม่มีการดูถูก หรือเยาะเย้ยจากบุคคลอื่น

1.8 สีสันของภาพที่ประกอบชุดกิจกรรมสามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียน และได้รับคำแนะนำในการทำกิจกรรม รวมทั้งสามารถแสวงหาความรู้เพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้อื่น ๆ ได้

2. คุณค่าต่อครูผู้สอน

2.1 ช่วยให้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่มีความซับซ้อน หรือความรู้มีลักษณะเป็นนามธรรม

2.2 ช่วยกระตุ้นความสนใจของนักเรียนในการเรียนรู้ เนื่องจากชุดกิจกรรมส่งเสริมให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนรู้และสามารถเรียนรู้ไปพร้อมกับกลุ่มได้

2.3 ส่งเสริมให้ครูผู้สอนมีความพร้อมและความมั่นใจ เนื่องจากชุดกิจกรรมได้มีการจัดเป็นหมวดหมู่ และได้มีการจัดระบบการใช้สื่อการเรียนรู้

2.4 ไม่ทำให้เกิดความสับสนระหว่างบุคลิกและอารมณ์ของนักเรียน

2.5 แก้ไขปัญหาในการจัดการเรียนรู้การทดลอง ลดรายจ่ายรวมทั้งภาระที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้

2.6 สามารถนำมาใช้ในการสอนเสริมให้แก่นักเรียนที่ยังไม่เข้าใจในเนื้อหานั้น ๆ ได้

สุคนธ์ สินธพานนท์ (2552) ได้ระบุประโยชน์ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1. นักเรียนสามารถใช้ความสามารถในการเรียนรู้ ซึ่งเป็นการฝึกทักษะการแสวงหาความรู้ ทักษะการอ่าน และการสรุปความรู้ได้อย่างเป็นระบบ

2. นักเรียนฝึกทักษะการคิดในท้ายชุดกิจกรรมการเรียนรู้ จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถคิดแก้ไขปัญหาได้

3. นักเรียนมีวินัยในตนเอง ซึ่งเกิดจากการเรียนรู้ตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่อยู่ในคำชี้แจงในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ รวมทั้งการตรวจแบบฝึกหัด แบบฝึกทักษะการเรียนรู้ หรือใบงาน ซึ่งส่งเสริมให้นักเรียนทำตามกติกา

4. นักเรียนรู้จักทำงานร่วมกับผู้อื่น มีการรับฟังความคิดเห็นซึ่งกันและกัน

5. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถทำให้เกิดการเรียนรู้นอกเวลาเรียนได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการออกแบบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูผู้สอนที่ส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเอง

จากการศึกษาประโยชน์ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่าช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ตามความสามารถ และความสนใจ ซึ่งนักเรียนจะสามารถเรียนรู้ในช่วงเวลาใดก็ได้ เนื่องจากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ไม่มีเวลากำหนด ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ตลอดชีวิตได้ รวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนสามารถทบทวนเนื้อหาต่าง ๆ ได้จากชุดกิจกรรม นอกจากนั้นแล้วยังส่งเสริมให้ครูผู้สอนมีความพร้อมและความมั่นใจในเนื้อหาของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เนื่องจากมีการจำแนกออกเป็นหมวดหมู่อย่างเป็นระบบก่อนการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

2. การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2.2 แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

2.3 แบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 แบบแผนการวิจัย

3.2 การนำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ไปใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 สถิติพื้นฐาน

4.2 สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

1. การกำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 5 ห้องเรียน รวมทั้งหมด 197 คน

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยเลือกมาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 36 คน

1.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะที่ใช้ในการวิจัย คือ ระยะเวลาภายในเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ทั้งหมด 5 สัปดาห์ โดยใช้เวลา 10 คาบเรียน รวมการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน โดยมีการแบ่งช่วงเวลาในการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ดังตารางที่ 4

ตาราง 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

สัปดาห์ที่	คาบเรียนที่	เนื้อหา
1	คาบที่ 1	- ประเมินการคิดอย่างเป็นระบบก่อนเรียน
	คาบที่ 2	- วัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน เรื่อง การเกิดสารเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน
2	คาบที่ 3	- ชี้แจงการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน
	คาบที่ 4	- การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน - ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน
3	คาบที่ 5	- การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายลิแกนด์ L - การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง
	คาบที่ 6	- การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง
4	คาบที่ 7	- การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง
	คาบที่ 8	- การอภิปรายผลการทดลองระหว่างนักเรียนและครูผู้สอน รวมทั้งลงข้อสรุปจากการทดลอง นอกจากนั้นยังมีการตั้งคำถามเพื่อซักถามความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ตาราง 4 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	คาบเรียนที่	เนื้อหา
5	คาบที่ 9	- ประเมินการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียน
	คาบที่ 10	- วัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2. การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องมือที่ใช้การวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2.2 แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

2.3 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2.1 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ในการวิจัยผู้วิจัยได้พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ศึกษาหลักสูตร วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อกำหนดเนื้อหาในการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยนักเรียนมีความสามารถในการคิดอย่างเป็นระบบซึ่งการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดอย่าเป็นระบบจะออกแบบให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและเกิดเรียนรู้ได้จากการทดลองทำให้สร้างองค์ความรู้ได้ จากนั้นศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบตามแนวคิดของRichmond (1997) ซึ่งมีขั้นตอนการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ 4 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุประเด็นปัญหา การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง และการสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ นอกจากนั้นแล้วนักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้มาเรียบเรียงเป็นแนวคิดได้ ดังนั้นจึงศึกษาการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ พบว่าการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จะส่งเสริมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์เพื่อลงข้อสรุปซึ่งมีเหตุผลประกอบที่น่าเชื่อถือ จากนั้นศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของโลหะแทนซิชัน ศึกษาการออกแบบชุดกิจกรรม

การเรียนรู้และออกแบบการทดลองในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จากนั้นประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบและความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้และหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2.1.1 **ศึกษาหลักสูตรเพื่อวิเคราะห์ผลการเรียนรู้**

ในการวิจัยได้ศึกษาผลการเรียนรู้ ดังนี้

ตาราง 5 แสดงการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้

ผลการเรียนรู้	จุดประสงค์การเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
บอกสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน และเปรียบเทียบสมบัติกับธาตุโลหะในกลุ่มธาตุเรพรีเซนเททีฟ	เปรียบเทียบสมบัติบางประการของโลหะเรพรีเซนเททีฟ และโลหะแทรนซิชัน	เปรียบเทียบสมบัติบางประการของโลหะเรพรีเซนเททีฟ และโลหะแทรนซิชันธาตุแทรนซิชันเป็นโลหะที่ส่วนใหญ่มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 2 มีขนาดอะตอมใกล้เคียงกัน มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวและความหนาแน่นสูง เกิดปฏิกิริยากับน้ำได้ช้ากว่าธาตุโลหะในกลุ่มธาตุเรพรีเซนเททีฟ เมื่อเกิดเป็นสารประกอบส่วนใหญ่จะมีสี

2.1.2 **ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ**

ผู้วิจัยได้ศึกษาการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบตามแนวคิดของ Richmond (1997) ซึ่งมีขั้นตอนการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ ดังนี้

1. การระบุประเด็นปัญหา
2. การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง
3. การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง
4. การสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ

2.1.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

การจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จะออกแบบกิจกรรมให้นักเรียนได้ลงมือทำด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนมีความคิด ความเข้าใจที่เกิดจากการสังเกต รวบรวม แล้วสามารถสรุปได้เกี่ยวกับความรู้ ประสบการณ์ที่ได้รับ ซึ่งจะต้องอาศัยหลักฐานและเหตุผลที่เป็นที่ยอมรับ

2.1.4 ศึกษาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของโลหะแทรนซิชัน

เมื่อโลหะแทรนซิชันทำปฏิกิริยาจะได้สารประกอบที่มีสี เนื่องมีการบรรจุอิเล็กตรอนใน d-orbital จึงทำให้สามารถเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจาก d-orbital ไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น (ธีรยุทธ ลิ่วพรเจริญวงศ์, 2558) เมื่อนำโลหะแทรนซิชันมาทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ประเภท Schiff base ซึ่งมีความว่องไวสูงในการตรวจวัดปริมาณของโลหะแทรนซิชัน โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย (Celestina และคนอื่น ๆ, 2020) ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ลิแกนด์ 4,4'-[1,2- Ethanediylbis nitrilomethylidyne)] bis[1,3-benzenediol] ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เรียกว่าลิแกนด์ L

2.1.5 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชุดกิจกรรมการเรียนรู้

ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ประกอบด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่ การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดงในน้ำตัวอย่าง การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ในน้ำตัวอย่าง และการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิลในน้ำตัวอย่าง

2.1.6 ออกแบบการทดลองในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการดังต่อไปนี้ กำหนดส่วนประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

2.1.6.1 คำชี้แจง

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยจะใช้ลิแกนด์ L ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน มีทั้งหมด 3 กิจกรรม ดังต่อไปนี้

1. กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง

2. กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง

3. กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง

โดยจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การระบุประเด็นปัญหา
2. การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง
3. การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง
4. การสรุปผลปฏิบัติการเพื่อความเข้าใจ

2.1.6.2 **จุดประสงค์ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้**

จุดประสงค์ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ มีดังนี้

1. ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ
2. พัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน
3. นักเรียนสามารถนำความรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

2.1.6.3 **ชื่อกิจกรรมการเรียนรู้ จุดประสงค์การทดลอง สถานการณ์ตัวอย่าง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้**

ชื่อกิจกรรมการเรียนรู้ จุดประสงค์การทดลอง สถานการณ์ตัวอย่าง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ สามารถดูรายละเอียดในตาราง 6

ตาราง 6 องค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ชื่อกิจกรรมการเรียนรู้	จุดประสงค์การทดลอง	สถานการณ์ตัวอย่าง	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ
กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง	เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง	การใช้ทองแดงในอุตสาหกรรมการชุบโลหะ	1. การระบุประเด็นปัญหา 2. การตั้งสมมติฐาน /การออกแบบการทดลอง 3. การทดสอบสมมติฐาน/ การทดลอง 4. การสรุปผลปฏิบัติการเพื่อความเข้าใจ
กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง	เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง	การนำโคบอลต์มาเป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่ในรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	1. การระบุประเด็นปัญหา 2. การตั้งสมมติฐาน /การออกแบบการทดลอง 3. การทดสอบสมมติฐาน/ การทดลอง 4. การสรุปผลปฏิบัติการเพื่อความเข้าใจ
กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง	เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง	การนำโลหะนิกเกิลมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์และการเคลือบอุปกรณ์	1. การระบุประเด็นปัญหา 2. การตั้งสมมติฐาน /การออกแบบการทดลอง 3. การทดสอบสมมติฐาน/ การทดลอง 4. การสรุปผลปฏิบัติการเพื่อความเข้าใจ

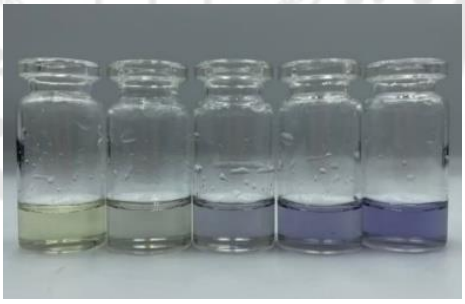
2.1.7 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

2.1.7.1 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายลิแกนด์ L

การทดลองนี้ใช้เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบและพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยใช้เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของธาตุโลหะแทรนซิชัน ในเรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์ลิแกนด์ L ในการทำปฏิกิริยากับโลหะแทรนซิชัน โดยศึกษาวิธีการสังเคราะห์ลิแกนด์ L จะแสดงในภาคผนวก ฉ จากนั้นเตรียมความเข้มข้นของสารละลายลิแกนด์ L ใน dimethyl sulfoxide ให้มีความเข้มข้น 3 mM จำนวน 100 mL

2.1.7.2 การทดลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันกับสารละลายลิแกนด์ L

โดยผู้วิจัยได้เตรียมความเข้มข้นของสารละลายลิแกนด์ L เท่ากับ 3 mM ปริมาตร 2 mL ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน (Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+})ที่มีความเข้มข้น 1 mM, 2 mM, 3 mM, 4 mM และ 5 mM ได้สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีดังภาพประกอบ 7



(1)

(2)

(3)

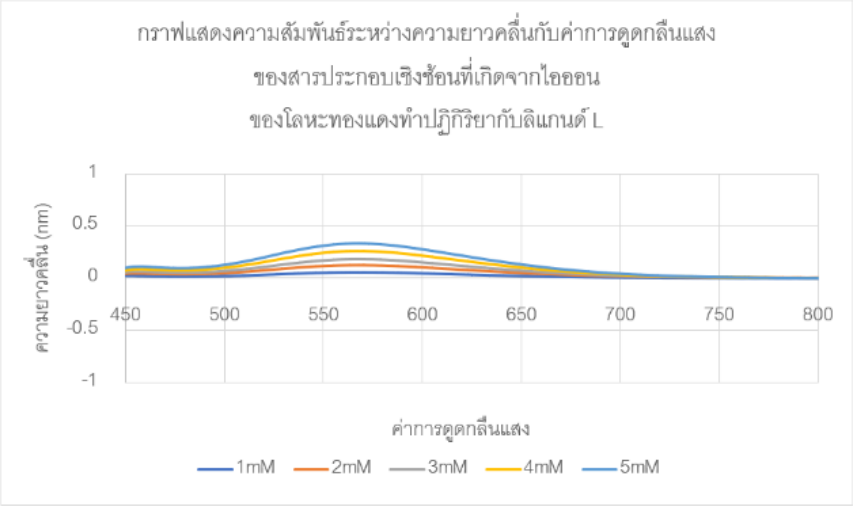
ภาพประกอบ 7 สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี
(1) สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง
สารละลายไอออนของโลหะทองแดงกับสารละลายลิแกนด์ L
(2) สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง
สารละลายไอออนของโลหะโคบอลต์กับสารละลายลิแกนด์ L
(3) สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง
สารละลายไอออนของโลหะนิกเกิลกับสารละลายลิแกนด์ L

จากการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่สามารถสังเกตเห็นสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนด้วยตาเปล่าได้ พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสาระลายลิแกนด์ L 3mM และความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน (Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}) 1 mM, 2 mM, 3 mM, 4 mM และ 5 mM

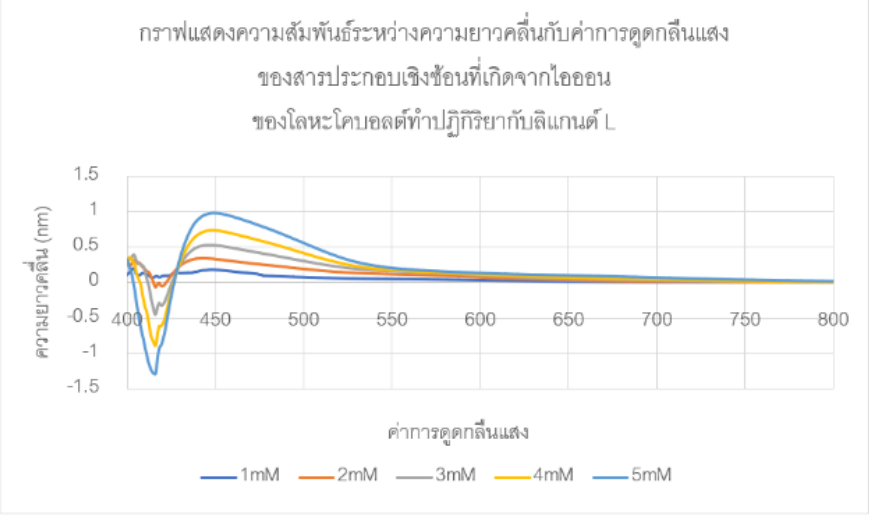
2.1.7.3 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

จากนั้นผู้วิจัยได้นำสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เทคนิค UV-visible spectroscopy เพื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากไอออนของโลหะแทรนซิชันทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ L พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะ

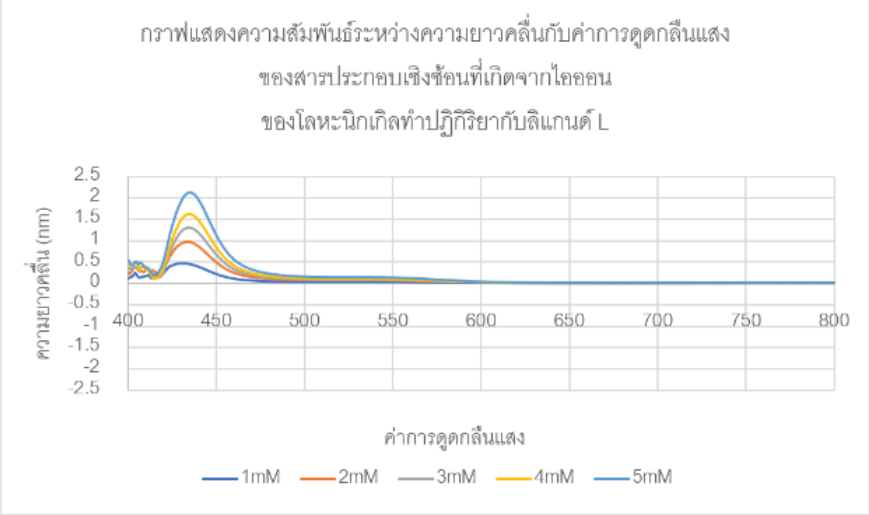
แทรนซิชันที่ใช้ทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนสูงขึ้น ดังภาพประกอบ 8



(1)



(2)



(3)

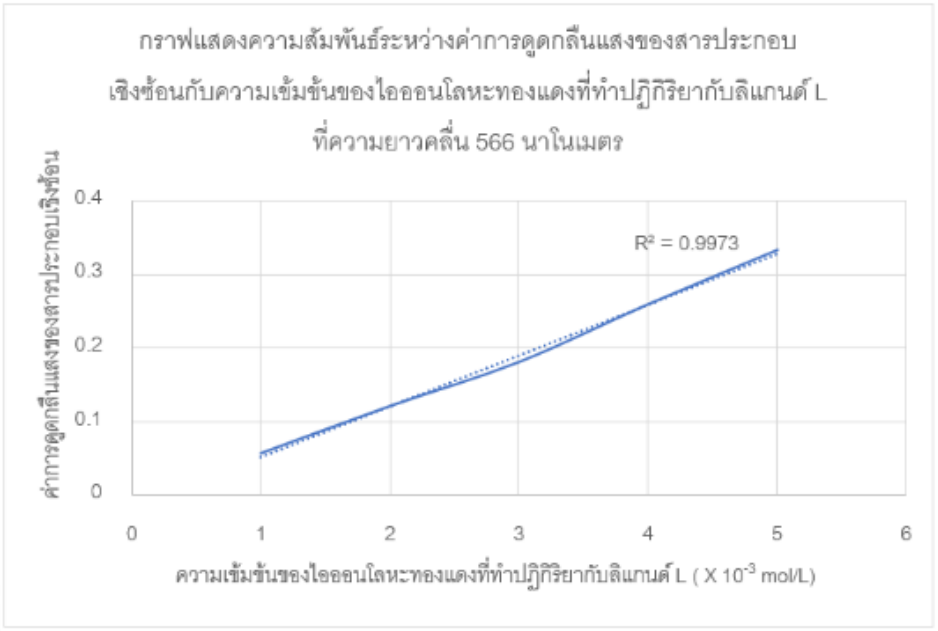
ภาพประกอบ 8 สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L
(1) สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะทองแดงที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L
(2) สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะโคบอลต์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L
(3) สเปกตรัมของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะโคนิกเกิลที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L

จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันที่นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L สูงขึ้นจะให้ดูดกลืนแสงของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่สูงขึ้นด้วย

2.1.7.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน

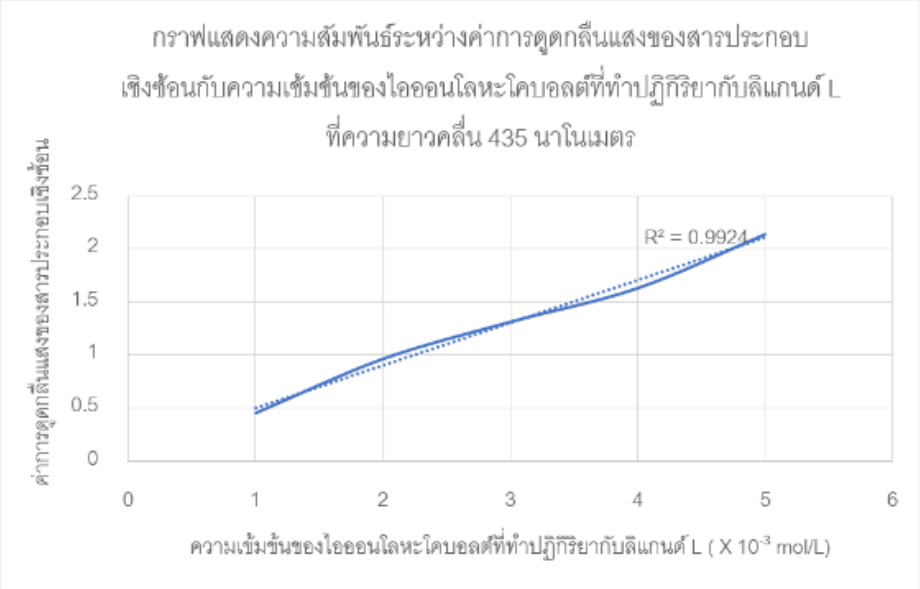
จากนั้นนำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์

ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L (ธนภัทร เกิดก๊ก, 2562) ดังภาพประกอบ 9



(1)

(2)



(3)

ภาพประกอบ 9 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน

(1) กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะทองแดง ที่ความยาวคลื่น 566 นาโนเมตร

(2) กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะโคบอลต์ ที่ความยาวคลื่น 448 นาโนเมตร

(3) กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะนิกเกิล ที่ความยาวคลื่น 435 นาโนเมตร

จากกราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L โดยพิจารณาจากกราฟพบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์อย่างเป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันจึงสามารถออกแบบการทดลองในกิจกรรมการเรียนรู้ที่เป็นส่วนประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยใช้ความเข้มข้น

ของสารละลายลิแกนด์ L เท่ากับ 3mM ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน (Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}) ความเข้มข้น 1 mM, 2 mM, 3 mM, 4 mM และ 5 mM

แต่เนื่องจากวิธีการนี้ใช้เครื่อง UV-visible spectrometer มีราคาสูง มีขนาดใหญ่ จึงไม่สะดวกต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันนอกสถานที่ นอกจากนั้นแล้ว ผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องมีความชำนาญในการใช้เครื่อง UV-visible spectrometer เพราะมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและจะต้องมีความระมัดระวังสูง ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.1.7.5 การสร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix

เนื่องจากการใช้เครื่อง uv visible spectrometer ในการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันมีความไม่เหมาะสมกับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้โปรแกรม PhotoMetrix ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง โดยโปรแกรม PhotoMetrix มีข้อดีคือ ไม่มีค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรม PhotoMetrix เนื่องจากเป็นแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือที่สามารถใช้งานได้ฟรี มีความสะดวกในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างเนื่องจากโปรแกรม PhotoMetrix มีขั้นตอนน้อยและง่ายต่อการใช้งาน สามารถทำการวิเคราะห์ได้ในสถานที่ต่างๆ เนื่องจากใช้โทรศัพท์อย่างเดียวก็สามารถทำการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันได้ และสามารถส่งข้อมูลการวิเคราะห์จากโปรแกรม PhotoMetrix ไปยังอีเมลได้ จากเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงสามารถนำผลการทดลองมาใช้ในการออกแบบกิจกรรมในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้

จากนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างที่ โดยอาศัยสมบัติของธาตุแทรนซิชันในการเกิดสารประกอบจะเกิดสารที่มีสี จากนั้นจะใช้เทคนิคเซ็นเซอร์ทางเคมีที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของสีของสาร (วันดี มณีขวัญ และดวงรัตน์ ทองคำ, 2018) ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ นำสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ความเข้มข้น 1mM, 2mM , 3mM, 4mM และ 5mM ปริมาตร 0.5 mLซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานมาทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L ความเข้มข้น 3 mM ปริมาตร 2 mL เพื่อใช้สร้างกราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบหาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น โดยนำสารละลายไอออนของโลหะทองแดงมีทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของ

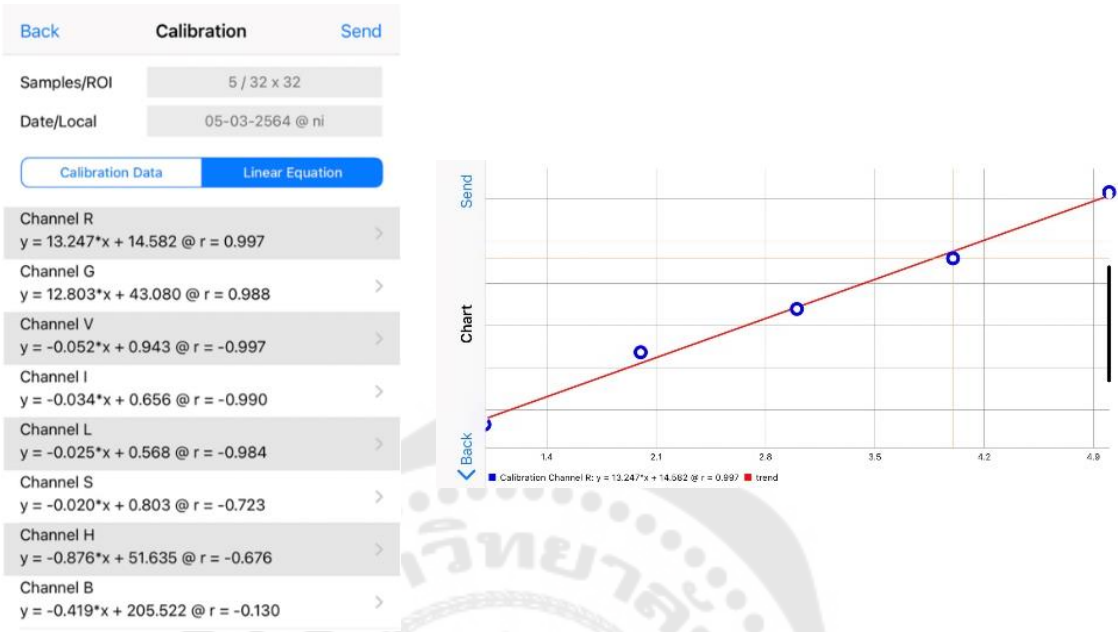
สารละลายจากสีเหลืองเป็นสีม่วงซึ่งเป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นซึ่งมีความแตกต่างกันชัดเจนและสังเกตได้ด้วยตาเปล่า หากเปลี่ยนเป็นสารละลายไอออนของโลหะโคบอลต์และโลหะนิกเกิลจะได้สีสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนเป็นสีส้มและสีเหลืองเข้มตามลำดับ โดยสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มของสีเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน ดังนั้นจึงสามารถใช้เปรียบเทียบกับสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของน้ำตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L ได้ (ศุภมาส ด่านวิทยากุล, 2557)แต่การปรียบเทียบจากสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากสารละลายมาตรฐานทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L มีข้อจำกัดซึ่งหากสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีที่ใกล้เคียงกันนักเรียนจะใช้ความรู้สึกในการตัดสินใจระบุสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของน้ำตัวอย่างให้การวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างให้มีความเหมาะสมกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยได้ใช้โปรแกรม PhotoMetrix ในการสร้างกราฟมาตรฐานใช้สารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ความเข้มข้น 1mM, 2mM , 3mM, 4mM และ 5mM เป็นสารละลายมาตรฐานมาทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L นำมาบันทึกภาพโดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ เปิดโปรแกรม PhotoMetrix จากนั้นกด Univariate Analysis เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นเลือกCalibration และตั้งค่าในช่อง Samples/ROI ให้ตัวเลขตามความเข้มข้นที่มี เติมชื่อไฟล์ในช่อง Local เพื่อใช้ในการบันทึกในโปรแกรม จากนั้นให้กด Capture images และตั้งค่าความเข้มข้นของสารละลายในช่อง Conc. แล้วกด Capture เพื่อบันทึกภาพสารละลายโดยเรียงจากความเข้มข้นต่ำไปยังความเข้มข้นสูงจากนั้นให้ทำจนครบทุกความเข้มข้น หลังจากบันทึกให้เลือกชื่อไฟล์ที่ได้ตั้งค่าไว้เพื่อเลือก Channel โดยการเลือกคือการเลือกกราฟมาตรฐาน และเลือก Channel ที่มีความสอดคล้องกับสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือก Channel R ในการสร้างกราฟมาตรฐาน ดังภาพประกอบ 10

Back
Calibration
Send
Samples/ROI
5 / 32 x 32
Date/Local
05-03-2564 @ cu1
Calibration Data
Linear Equation
Channel G
y = 20.819*x + 75.853 @ r = 0.996
Channel R
y = 18.803*x + 90.024 @ r = 0.992
Channel B
y = 3.670*x + 114.502 @ r = 0.962
Channel H
y = 36.954*x + 74.798 @ r = 0.926
Channel S
y = 0.071*x + 0.007 @ r = 0.907
Channel I
y = -0.057*x + 0.633 @ r = -0.994
Channel L
y = -0.049*x + 0.620 @ r = -0.986
Channel V
y = -0.034*x + 0.632 @ r = -0.898
Send
Chart
Back
1.4
2.1
2.8
3.5
4.2
4.9
Calibration Channel R: y = 18.803*x + 90.024 @ r = 0.992
trend

(1)

Back
Calibration
Send
Samples/ROI
5 / 32 x 32
Date/Local
05-03-2564 @ co
Calibration Data
Linear Equation
Channel G
y = 13.145*x + 87.785 @ r = 0.998
Channel R
y = 9.070*x + 65.814 @ r = 0.992
Channel S
y = 0.144*x + 0.219 @ r = 0.983
Channel B
y = 26.784*x + 115.382 @ r = 0.981
Channel H
y = 1.476*x + 35.012 @ r = 0.652
Channel I
y = -0.064*x + 0.648 @ r = -0.992
Channel V
y = -0.036*x + 0.742 @ r = -0.992
Channel L
y = -0.070*x + 0.645 @ r = -0.987
Send
Chart
Back
1.4
2.1
2.8
3.5
4.2
4.9
Calibration Channel R: y = 9.070*x + 65.814 @ r = 0.992
trend

(2)



(3)

ภาพประกอบ 10 กราฟมาตรฐานที่ได้จากโปรแกรม PhotoMetrix

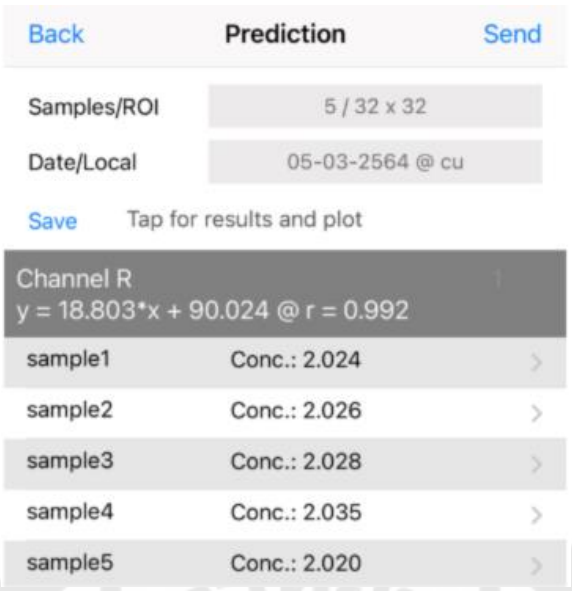
(1) กราฟมาตรฐานของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทองแดง

(2) กราฟมาตรฐานของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะโคบอลต์

(3) กราฟมาตรฐานของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะนิกเกิล

2.1.7.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น โดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix

จากนั้นนำน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้นซึ่งมีไอออนของโลหะแทรนซิชันปริมาตร 0.5 mL มาทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L 3 mM ปริมาตร 2mL จะได้สารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของน้ำตัวอย่างและนำมาบันทึกภาพโดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix โดยเลือกโปรแกรม Sampling และตั้งค่าในช่อง Samples/ROI ให้ตัวเลขตามจำนวนของสารตัวอย่าง เติมชื่อไฟล์ในช่อง Local เพื่อใช้ในการบันทึกในโปรแกรม จากนั้นให้กด Capture images ซึ่งโปรแกรมจะปรากฏ Tap a Calibration Set ที่ได้จากกการสร้างกราฟมาตรฐานแล้วเลือก Channel เดียวกันกับการสร้างกราฟมาตรฐาน โปรแกรม PhotoMetrix จะวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง (Gilson A. Helfer, 2017) ดังภาพประกอบ 11


Back
Prediction
Send
Samples/ROI
5 / 32 x 32
Date/Local
05-03-2564 @ cu
Save
Tap for results and plot
Channel R
y = 18.803*x + 90.024 @ r = 0.992
sample1
Conc.: 2.024
sample2
Conc.: 2.026
sample3
Conc.: 2.028
sample4
Conc.: 2.035
sample5
Conc.: 2.020

(1)

Back
Calibration
Send
Samples/ROI
5 / 32 x 32
Date/Local
05-03-2564 @ co
Save
Tap for results and plot
Channel R
y = 9.070*x + 65.814 @ r = 0.992
sample1
Conc.: 2.475
sample2
Conc.: 2.568
sample3
Conc.: 2.650
sample4
Conc.: 2.681
sample5
Conc.: 2.648

(2)

(3)

ภาพประกอบ 11 ภาพผลการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง

(1) ปริมาณไอออนของโลหะทองแดงในน้ำตัวอย่าง

(2) ปริมาณไอออของโลหะโคบอลต์ในน้ำตัวอย่าง

(3) ปริมาณไอออของโลหะนิกเกิลในน้ำตัวอย่าง

2.1.8 ประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบและความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้

ในการวิจัยผู้วิจัยได้มีผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ และความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเคมี จำนวน 2 ท่าน เพื่อหาข้อบกพร่องของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ได้พัฒนาขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในการหาความเหมาะสมขององค์ประกอบและความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ คือ แบบประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน และแบบประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งมีลักษณะมาตรประมาณค่า 5 ระดับ (อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกูล, 2555, น. 127) ดังนี้

มีความเหมาะสมมากที่สุด ให้มีค่าน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 5
มีความเหมาะสมมาก ให้มีค่าน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 4
มีความเหมาะสมปานกลาง ให้มีค่าน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 3
มีความเหมาะสมน้อย ให้มีค่าน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 2
มีความเหมาะสมน้อยที่สุด ให้มีค่าน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1

สามารถแปลความหมายโดยใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักคะแนน ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 แสดงว่า มีความเหมาะสมมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมมาก
ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

จากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ทำการวิเคราะห์เพื่อแปลความหมายผลการประเมิน พบว่าผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 แสดงว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมีความเหมาะสมมาก ดังแสดงในภาคผนวก ค ส่วนผลประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านจุดประสงค์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 แสดงว่ามีความเหมาะสมมาก ด้านเนื้อหามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 แสดงว่ามีความเหมาะสมมาก ด้านการใช้ภาษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 แสดงว่ามีความเหมาะสมมาก ด้านกิจกรรมที่ส่งเสริมทักษะปฏิบัติการเคมี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 แสดงว่ามีความเหมาะสมมาก เมื่อพิจารณาผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ในภาพรวม พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12 ซึ่งสามารถแปลความหมายได้ว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ อยู่ในระดับมีความเหมาะสมมาก ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค

2.1.9 **หาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยนำไปใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง**

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ได้ถูกออกแบบให้มีกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือทำด้วยตนเอง ทำให้เกิดกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ โดยออกแบบกิจกรรมให้มีความสอดคล้องกับธรรมชาติของรายวิชาเคมี

ในขณะที่ได้ลงมือทำในแต่ละกิจกรรม นักเรียนสามารถสังเกตการเปลี่ยนทางเคมีใน 3 ระดับ คือ ระดับมหภาพมีการเปลี่ยนแปลงของสารที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในแต่ละกิจกรรม เมื่อสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L เนื่องจากลิแกนด์เป็นลิแกนด์ประเภท Schiff base ซึ่งมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับไอออนของโลหะแทรนซิชัน นักเรียนจะสามารถสังเกตสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่า แต่ในระดับจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงของสารที่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าไม่ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันโดยอาศัยโปรแกรม PhotoMetrix ในโทรศัพท์มือถือ ซึ่งจะมีความสะดวก รวดเร็ว และใช้งานง่ายเหมาะสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการวิเคราะห์ความเข้มของสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นและนำมาใช้การวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้ และระดับสัญลักษณ์ได้ออกแบบให้นักเรียนใช้โปรแกรม PhotoMetrix ในโทรศัพท์มือถือ (สุธิตา ประดับ, 2561) สร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้

ในการวิจัยได้นำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่ได้เป็นกลุ่มตัวอย่างโดยจะใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อใช้ปรับปรุงชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

2.1.9.1 นักเรียนกลุ่มที่ 1

กลุ่มนักเรียนกลุ่มที่ 1 จำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบข้อความรวมทั้งการเรียบเรียงประโยคของข้อความ ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์นักเรียน โดยนักเรียนระบุว่าข้อความบางส่วนพิมพ์ผิด ภาษาที่ใช้สามารถเข้าใจได้ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีสีสันสวยงาม นอกจากนั้นแล้วนักเรียนแนะนำให้เพิ่มขั้นตอนการเตรียมสารละลายต่าง ๆ เพื่อเป็นการทบทวนความรู้เรื่องการเตรียมสารละลาย และเพิ่มรูปภาพของสารละลายที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เพื่อให้นักเรียนสามารถกลับมาทบทวนและเห็นภาพของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยเพิ่มขั้นตอนการเตรียมสารละลายในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ และให้เพิ่มเติมส่วนที่ติดรูปภาพของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่เกิดขึ้นรวมทั้งผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม PhotoMetrix

2.1.9.2 นักเรียนกลุ่มที่ 2

นักเรียนกลุ่มที่ 2 จำนวน 9 คน เพื่อหาความเหมาะสมและข้อบกพร่องของชุดกิจกรรมการเรียนรู้และนำไปปรับปรุง โดยแบ่งนักเรียนออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 3 คน โดยใช้

การสัมภาษณ์นักเรียน พบว่านักเรียนกลุ่มละ 3 คนมีจำนวนที่น้อยทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมใช้เวลานาน ดังนั้นนักเรียนจึงแนะนำให้เพิ่มจำนวนนักเรียนเป็น 4 คน และจากการทำกิจกรรมในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่านักเรียนมีความสนใจในกิจกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากนักเรียนไม่เคยทำกิจกรรมทดลองในเนื้อหา เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันมาก่อน และนักเรียนสามารถเตรียมสารละลายที่ใช้ในกิจกรรมได้ด้วยตนเอง นอกจากนั้นแล้วนักเรียนยังระบุว่าผลจากการทดลองมีสีที่แตกต่างกันชัดเจนและสามารถสังเกตด้วยตาเปล่าได้ แต่อย่างไรก็ตามนักเรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงกิจกรรมการทดลองเข้ากับสมบัติของโลหะแทรนซิชันได้ ดังนั้นนักเรียนจึงได้เสนอให้ผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มเติมในส่วนของคำถามท้ายกิจกรรมการทดลอง เพื่อให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถามและร่วมกันอภิปรายผลการทดลองที่นำไปสู่ความเชื่อมโยงของสมบัติของโลหะแทรนซิชันได้

2.1.9.3 **นักเรียนกลุ่มที่** 3

นักเรียนกลุ่มที่ 3 จำนวน 30 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อศึกษาการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน สำหรับส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่ม 4 คน จำนวน 5 กลุ่ม และกลุ่ม 5 คน จำนวน 2 กลุ่ม จากการสังเกตการทำกิจกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่ม จากนั้นหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยได้กำหนดเกณฑ์การหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ คือ นักเรียนจำนวนร้อยละ 60 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 หมายถึง มีนักเรียนอย่างน้อยจำนวน 18 คน มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบตั้งแต่ 30 คะแนนขึ้นไป โดยทำการวัดจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

จากนั้นผู้วิจัยได้ใช้สูตรร้อยละในการคำนวณหาประสิทธิภาพชองชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยได้กำหนดเกณฑ์ดังนี้ นักเรียนร้อยละ 60 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดมีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบหลังเรียน

สูตรที่ 1 การคำนวณหาร้อยละของจำนวนนักเรียน

$$\% = \frac{X}{Y} \times 100$$

เมื่อ % หมายถึง ร้อยละของจำนวนนักเรียน

X	หมายถึง	จำนวนนักเรียนที่ได้คะแนนผ่านเกณฑ์แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน
Y	หมายถึง	จำนวนนักเรียนทั้งหมด

หลังจากทดลองกับกลุ่มนักเรียนที่ 3 จำนวน 30 คน ผู้วิจัยนำคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ทั้งก่อนเรียนกับหลังเรียนมาวิเคราะห์ พบว่านักเรียนมีคะแนนก่อนเรียนที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 10 คนคิดเป็นร้อยละ 33.33 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ส่วนหลังเรียนมีนักเรียนมีคะแนนก่อนเรียนที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ ดังแสดงในภาคผนวก ค

2.2 แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

ผู้วิจัยได้ศึกษาผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และวิธีการสร้างแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบซึ่งได้ออกแบบแบบทดสอบให้สอดคล้องกับการคิดอย่างเป็นระบบแนวคิดของ Richmond (1997) โดยแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบเป็นชนิดเลือกตอบจำนวน 4 ตัวเลือก มีจำนวนทั้งหมด 15 ข้อ จากนั้นหาคุณภาพของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 การหาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

2.2.2 การหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

2.2.1 การหาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้มีผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ จำนวน 3 ท่าน โดยใช้มาตรประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ และไม่สอดคล้อง และนำผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญเป็นคะแนน ดังนี้

สอดคล้อง	ให้น้ำหนักคะแนน	+1
ไม่แน่ใจ	ให้น้ำหนักคะแนน	0
ไม่สอดคล้อง	ให้น้ำหนักคะแนน	-1

ทำการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2543)

สูตรที่ 1 การคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ แทน ผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบที่สร้างขึ้นจะต้องมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ในช่วง 0.67 -1.00 แต่ถ้าแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ต่ำกว่า 0.67 ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงหรือแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ คือ ข้อที่ 7 ปรับเปลี่ยนจาก $CuSO_4$ เป็น Cu^{2+} และใช้โมลแทนปริมาณสาร ข้อ 8 และข้อ 13 เพิ่มข้อความที่กำหนดสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งแสดงในภาคผนวก ง

2.2.2 การหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

ในการวิจัยนำแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน ที่เคยได้รับการจัดการเรียนรู้เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อตรวจสอบการคิดอย่างเป็นระบบ รวมทั้งความเข้าใจทางด้านภาษาและคำถามแต่ละข้อ ตลอดจนระยะเวลาที่เหมาะสมในการทดสอบ ซึ่งแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบเป็นชนิดเลือกตอบ จำนวน 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อจากนั้นนำผลคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) (บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์, 2545)

$$p = \frac{P_H + P_L}{2n}$$

$$r = \frac{P_H - P_L}{2n}$$

เมื่อ p หมายถึง ค่าความยากง่าย

r หมายถึง ค่าอำนาจจำแนก

P_H หมายถึง จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มสูงฃ

P_L หมายถึง จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

n หมายถึง จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

จากการวิเคราะห์แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบรายข้อ จำนวน 15 ข้อ พบว่าแบบทดสอบที่มีค่าความยากง่ายมีค่า 0.47-0.80 และค่าอำนาจจำแนกอยู่มีค่า 0.20-0.73 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

นอกจากนั้นแล้วผู้วิจัยได้หาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์ ครอนบาคแอลฟา (Cronbach's alpha (α) reliability coefficient) จากสูตร (อารยา องค์เอี่ยม และ พงศ์ธารา วิจิตเวชไพศาล, 2561)

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left(1-\frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_t^2}\right)$$

เมื่อ α หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือวัด

K หมายถึง จำนวนข้อคำถามทั้งหมด

σ_i^2 หมายถึง ความแปรปรวนของข้อคำถามแต่ละข้อ

σ_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนรวม

จากการหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ พบว่ามีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบทั้งฉบับเท่ากับ 0.769 ดังแสดงในภาคผนวก ง แสดงว่าแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้ต่อไป

2.3 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ในการวิจัยได้ออกแบบแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยผู้วิจัยได้ใช้การวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มตามแนวทางการจัดกลุ่มแนวคิดตาม Westbrook และ Marek (1992) ซึ่งแบบวัด

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เป็นแบบวัดชนิดเลือกถูก-ผิด และอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบที่ได้เลือกตอบ จำนวน 45 ข้อ โดยใช้เกณฑ์ให้คะแนน ดังนี้ ซึ่งแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการเลือกตอบถูก-ผิด ซึ่งถ้าตอบได้ถูกต้องกำหนดให้ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบผิดกำหนดให้ 0 คะแนน และส่วนที่ 2 การอธิบายเหตุผลประกอบ ซึ่งใช้เกณฑ์ให้คะแนน ดังนี้ ระดับ 1 แนวคิดถูกต้อง (Complete Understanding: CU or Scientific Conception: SC) กำหนดให้ 3 คะแนน ระดับ 2 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding: PC or partial scientific conception: PC) กำหนดให้ 2 คะแนน ระดับ 3 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial scientific conception with misconception: PC/MC) กำหนดให้ 1 คะแนน ระดับ 4 แนวคิดคลาดเคลื่อนหรือแนวคิดไม่ถูกต้อง (Non scientific understanding: SU,misconception: MC) กำหนดให้ 0 คะแนน และระดับ 5 ไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (No understanding or without answer: NU, no conception: NC) กำหนดให้ 0 คะแนน แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีจำนวน 15 ข้อ รวมเป็น 60 คะแนน ในเนื้อหาเรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 การหาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ในการวิจัยมีผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเคมี จำนวน 1 ท่าน โดยใช้มาตรประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ และไม่สอดคล้อง และนำผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญเป็นคะแนน ดังนี้

สอดคล้อง	ให้น้ำหนักคะแนน	+1
ไม่แน่ใจ	ให้น้ำหนักคะแนน	0
ไม่สอดคล้อง	ให้น้ำหนักคะแนน	-1

ทำการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2543)

สูตรที่ 1 การคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ แทน ผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะต้องมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ในช่วง 0.67 -1.00 แต่ถ้าแบบประเมินการคิดอย่างเป็นระบบมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ต่ำกว่า 0.67 ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงหรือแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ข้อ 22 สีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นข้อคำถามมีสีเดียวกัน ให้ปรับเปลี่ยนโลหะแทรนซิชันเป็นชนิดอื่น และข้อ 31, 35, 42, และ 44 ปรับเฉลยให้ถูกต้อง ซึ่งแสดงในภาคผนวก จ

2.3.2 การหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ในการวิจัยนำแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน และได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อตรวจสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน รวมทั้งความเข้าใจทางด้านภาษาและคำถามแต่ละข้อ ตลอดจนระยะเวลาที่เหมาะสมในการวัด ซึ่งแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็นชนิดเลือกถูก-ผิด และอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบที่ได้เลือกตอบจำนวน 45 ข้อ จากนั้นนำผลคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) (บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์, 2545)

$$p = \frac{P_H + P_L}{2n}$$

$$r = \frac{P_H - P_L}{2n}$$

เมื่อ p หมายถึง ค่าความยากง่าย

r หมายถึง ค่าอำนาจจำแนก

P_H หมายถึง จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มสูง

P_L หมายถึง จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

n หมายถึง จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

จากการวิเคราะห์แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบรายข้อ จำนวน 15 ข้อ พบว่าแบบทดสอบที่มีค่าความยากง่ายมีค่า 0.28-0.80 และค่าอำนาจจำแนกมีค่า 0.41-0.81 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ)

นอกจากนั้นแล้วผู้วิจัยได้หาความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันทั้งฉบับ โดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์ครอนบาคแอลฟา (Cronbach's alpha (α) reliability coefficient) จากสูตร (อารยา องค์เอี่ยม และ พงศ์ธารา วิจิตเวชไพศาล, 2561)

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left(1-\frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_t^2}\right)$$

เมื่อ α หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือวัด

K หมายถึง จำนวนข้อคำถามทั้งหมด

σ_i^2 หมายถึง ความแปรปรวนของข้อคำถามแต่ละข้อ

σ_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนรวม

จากการหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน พบว่ามีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.935 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน มีคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้ต่อไป

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 แบบแผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Research) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 1 ห้องเรียน ทั้งหมด 36 คน ได้จากการเลือกแบบเจาะจง โดยผู้วิจัยได้ทำการวิจัยตามแบบแผนการทดลอง One-Group Pretest-Posttest Design(วรัทยา มณีรัตน์, 2560) ทำการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบ

เชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันก่อนเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองโดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จากนั้นทำการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 แสดงแบบแผนการทดลองแบบ One-Group Pretest-Posttest Design

สอบก่อนเรียน	การทดลอง	สอบหลังเรียน
T_1	X	T_2

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการอธิบายแบบแผนการการวิจัย

T_1 หมายถึง การทดสอบก่อนเรียน

T_2 หมายถึง การทดสอบหลังเรียน

X หมายถึง การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

3.2 การนำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ไปใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากการนำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ไปใช้กับเรียนกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 36 คน โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน

การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบซึ่งเป็นแบบทดสอบชนิดตัวเลือก 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อ และแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ

โลหะแทรนซิชัน เป็นแบบวัดชนิดเลือกถูก-ผิด และอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบที่ได้เลือกตอบ จำนวน 15 ข้อ ดังภาพประกอบที่ 12

ภาพประกอบ 12 ทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน

3.2.2 การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรม ดังนี้

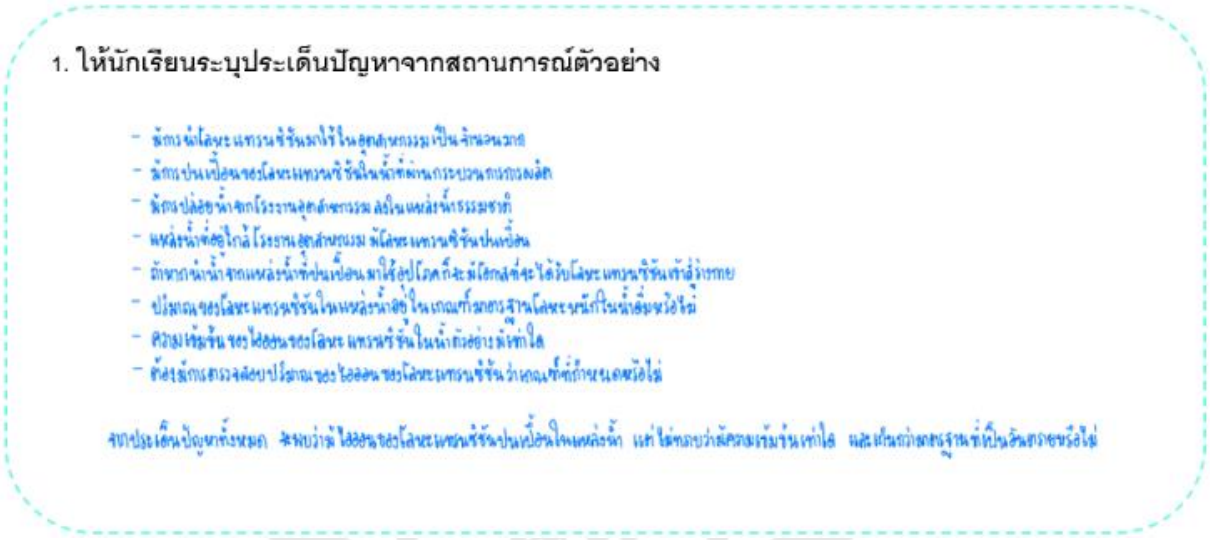
1) กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง

2) กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง

3) กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง

ซึ่งชุดกิจกรรมการเรียนรู้นี้ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนตามแนวคิดของ Richmond (1997) ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การระบุปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่าง โดยผู้วิจัยได้ยกสถานการณ์ตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการนำโลหะแทรนซิชันมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จากนั้นจึงกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ว่ามีประเด็นปัญหากี่ประเด็น และเรียงลำดับประเด็นปัญหาเพื่อหาความเชื่อมโยงของประเด็นปัญหาเข้าด้วยกัน จากนั้นกระตุ้นให้นักเรียนวิเคราะห์สาเหตุของประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้น ดังภาพประกอบ 13

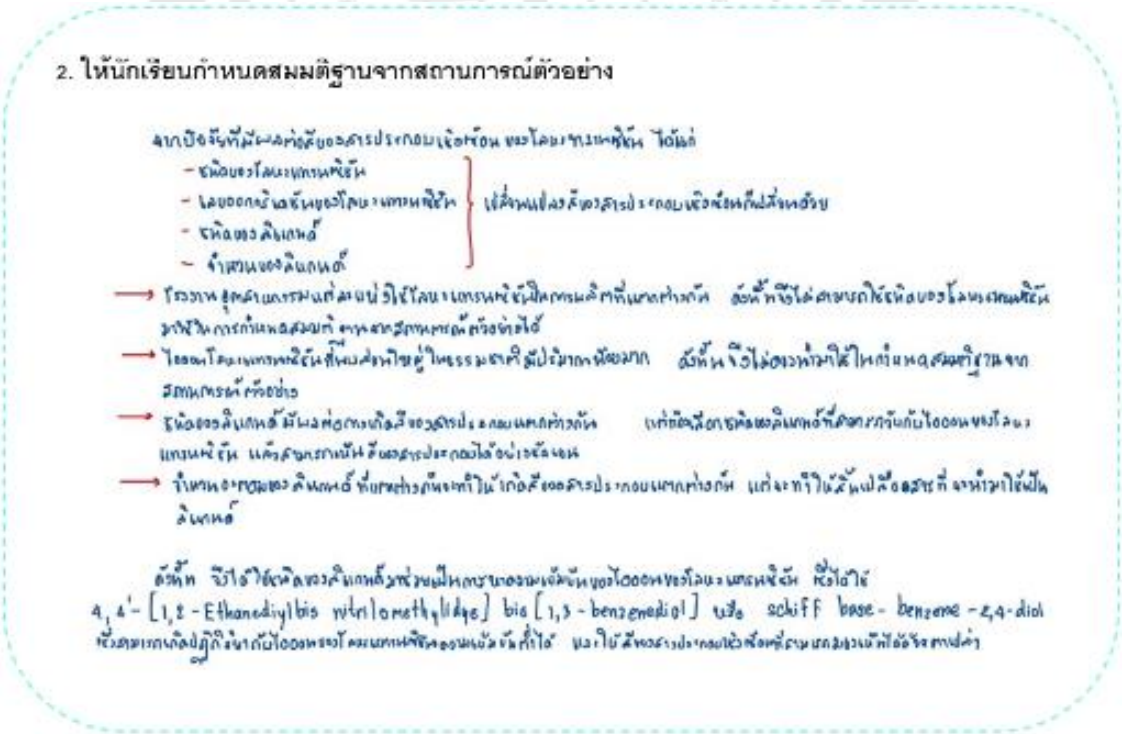


ภาพประกอบ 13 การระบุปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่าง

จากการทำกิจกรรมโดยระบุประเด็นปัญหาให้มีความชัดเจนจากสถานการณ์ตัวอย่าง พบว่านักเรียนในแต่ละกลุ่มสามารถระบุปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่างได้ จากนั้นผู้วิจัยให้นักเรียนเลือกประเด็นปัญหาที่สนใจ ซึ่งได้แก่ ไอออนของโลหะแทรนซิชันปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ความเข้มข้นของไอออนของโลหะแทรนซิชันในแหล่งน้ำ และปริมาณของโลหะแทรนซิชันในแหล่งน้ำเกินกว่ามาตรฐานหรือไม่ จากประเด็นปัญหาพบว่านักเรียนยังหาความสัมพันธ์กันระหว่างประเด็นปัญหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ซักถามนักเรียนเกี่ยวกับประเด็นปัญหาเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนสามารถเห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างประเด็นปัญหาได้ โดยนักเรียนได้เลือกการหาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง ซึ่งจะสามารถระบุได้ว่าในน้ำตัวอย่าง

มีโลหะแทรนซิชันและยังสามารถหานำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำได้

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง จากสถานการณ์ที่ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างจากขั้นตอนที่ 1 นักเรียนจะได้ประเด็นปัญหาคือ การหาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทบทวนสมบัติของโลหะแทรนซิชันให้กับนักเรียน ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 การกำหนดสมมติฐาน

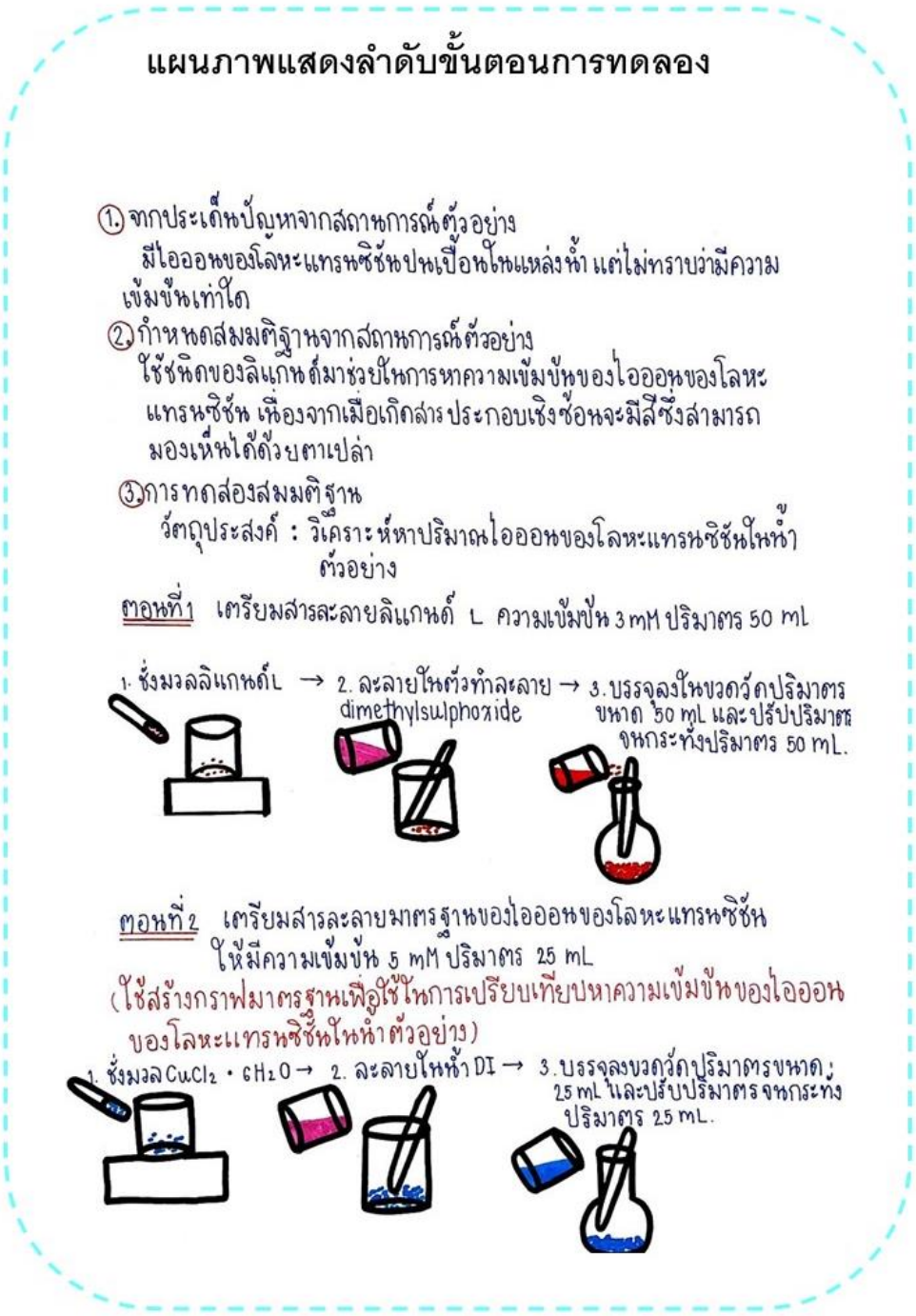
จากการทบทวนสมบัติของโลหะแทรนซิชันให้กับนักเรียน พบว่านักเรียนสามารถตอบข้อซักถามของผู้วิจัยได้ในหัวข้อชนิดของโลหะแทรนซิชันและเลขออกซิเดชันของโลหะแทรนซิชันมีผลต่อสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ส่วนในหัวข้อชนิดของลิแกนด์และจำนวนของลิแกนด์นักเรียนยังมีความเข้าใจที่น้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้อธิบายเพิ่มเติมพร้อมทั้งยกตัวอย่างของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีชนิดของลิแกนด์แตกต่างกัน และสารประกอบเชิงซ้อนที่มีลิแกนด์ชนิดเดียวกันแต่มีจำนวนที่แตกต่างกันเพื่อให้นักเรียนได้มีความเข้าใจมากขึ้น

จากนั้นผู้วิจัยได้แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน โดยผู้วิจัยได้กระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันหาแนวทางในการหาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง โดยการร่วมกันตั้งสมมติฐานจากประเด็นปัญหาที่ได้จากสถานการณ์ตัวอย่างโดยอาศัยปัจจัยที่มีผลต่อสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งได้แก่ ชนิดของโลหะแทรนซิชัน เลขออกซิเดชันของโลหะแทรนซิชัน ชนิดของลิแกนด์ และจำนวนของลิแกนด์ และยังเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้นรวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนสามารถลงข้อสรุปในการเลือกสมมติฐานที่จะนำมาใช้ในการออกแบบขั้นตอนการทดลองเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 15

ภาพประกอบ 15 การออกแบบการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชัน พบว่านักเรียนบางส่วนสามารถออกแบบการทดลองโดยมีขั้นตอนที่ชัดเจนได้ และบางส่วนสามารถออกแบบการทดลองได้แต่ยังมีรายละเอียดบางส่วนที่บกพร่อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่ได้ออกแบบเพื่อนำไปปรับปรุงในส่วนที่บกพร่อง

จากนั้นให้นักเรียนนำเสนอขั้นตอนการทดลองของแต่ละกลุ่ม และร่วมกันเพิ่มเติมในส่วนที่ยังมีรายละเอียดที่ไม่ชัดเจน จนได้ขั้นตอนการทดลองที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 16



แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง

④ นำสารละลายที่ได้มาเตรียมความเข้มข้น 1 mM, 2 mM, 3 mM และ 4 mM

ปริมาตร 10 mL

ตอนที่ 3 การสร้างกราฟมาตรฐานจากสารละลายในตอนที่ 2

③ นำสารละลายที่ได้มาบันทึกภาพโดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix

ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม PhotoMetrix

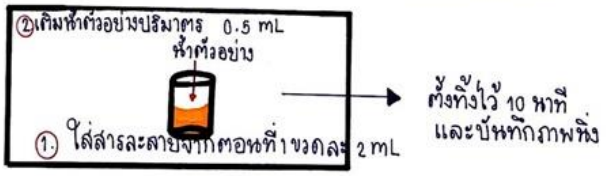
① Univariate Analysis → ② Calibration → ③ Sample / ROI (ใส่ตัวเลขตามความเข้มข้น)

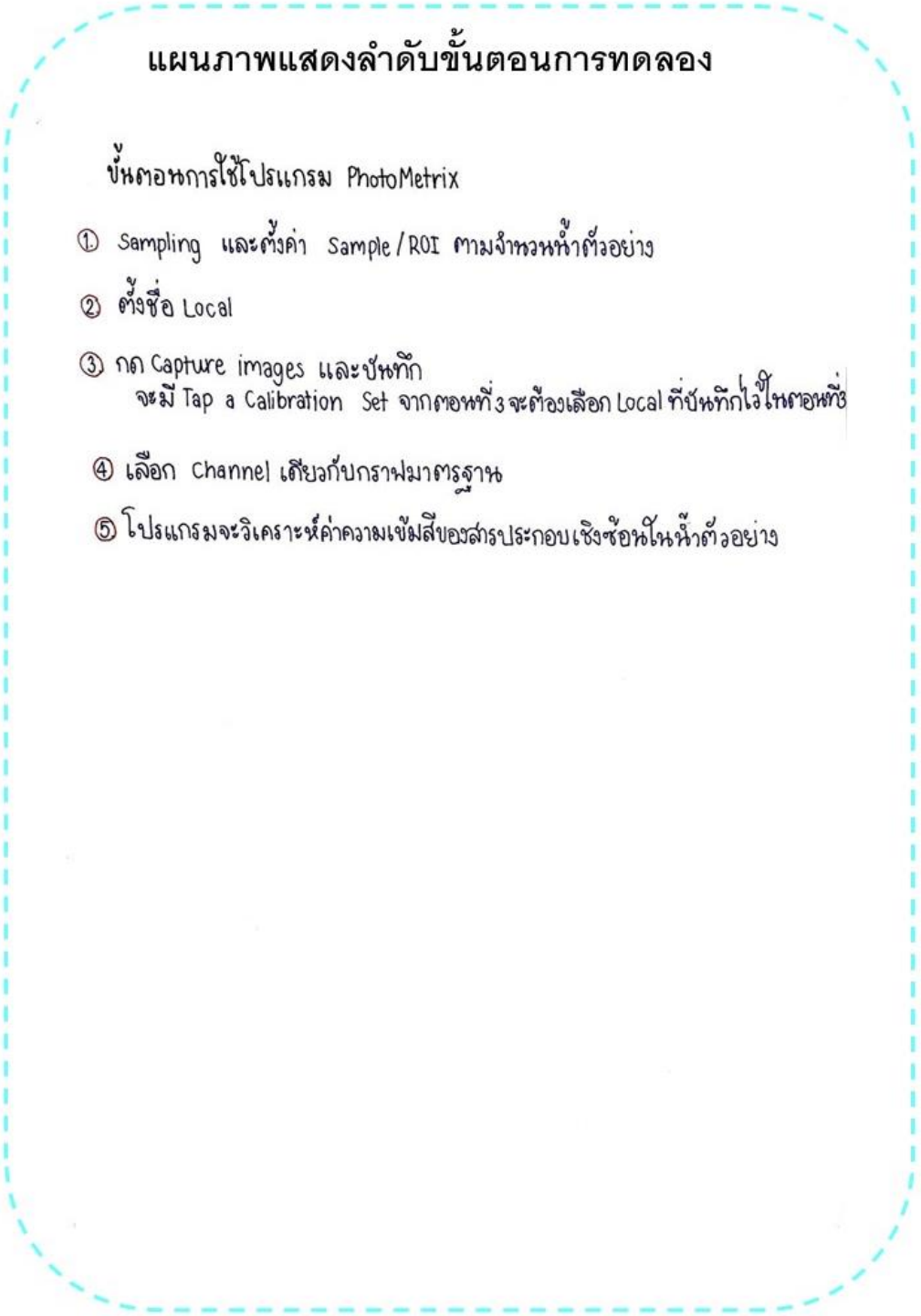
④ ตั้งชื่อ Local → ⑤ Capture images → ⑥ ตั้งค่าความเข้มข้นในช่อง Conc. → ⑦ Capture

กดบันทึก → เลือกชื่อ Local ที่ตั้งไว้ → เลือก chanel ที่มีความสัมพันธ์กับสีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น (ทำครบทั้ง 5 ขวด)

(ได้กราฟมาตรฐาน)

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง





ภาพประกอบ 16 ขั้นตอนออกแบบการทดลองที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชัน

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบสมมติฐาน/การทดลองจากขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองในแต่ละกิจกรรมในชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น โดยใช้ขั้นตอนการทดลองที่ได้ออกแบบดัง

ภาพประกอบ 16 ในการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างซึ่งเป็นประเด็นปัญหาจากขั้นตอนที่ 1 ดังภาพประกอบ 17

ภาพประกอบ 17 การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง

จากการทดลองหาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้เตรียมขึ้น พบว่านักเรียนสนใจและร่วมมือในการทำกิจกรรมในชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อพัฒนาแนวคิดอย่างเป็นระบบสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เป็นอย่างดี นักเรียนสามารถเตรียมสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันความเข้มข้นมาตรฐานเพื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L ได้ รวมทั้งสร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix ได้ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้โดยใช้กราฟมาตรฐานในโปรแกรม PhotoMetrix ในการวิเคราะห์ได้

ขั้นตอนที่ 4 การสรุปผลปฏิบัติการและสื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจ ผู้วิจัยและนักเรียนร่วมกันสรุปผลการทดลอง เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซันใน

น้ำตัวอย่าง จากนั้นนำปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักในน้ำ นอกจากนั้นยังมีการตั้งคำถามเพื่อซักถามเกี่ยวกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยให้นักเรียนอธิบายพร้อมทั้งยกเหตุผลประกอบ ดังภาพประกอบ 18

ภาพประกอบ 18 การสรุปผลปฏิบัติการและสื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

จากการตั้งคำถามเพื่อซักถามเกี่ยวกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน พบว่านักเรียนสามารถอธิบายสมบัติของโลหะแทรนซิชันที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้ รวมทั้งยังสามารถอธิบายสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L นักเรียนยังสามารถอธิบายสีของ

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่ได้ในแต่ละกิจกรรมที่แตกต่างกันเนื่องจากชนิดของโลหะแทรนซิชันที่ปนเปื้อนในน้ำตัวอย่างแตกต่างกัน

3.2.3 **การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน**

การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนของนักเรียน โดยใช้แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบซึ่งเป็นแบบทดสอบชนิดตัวเลือก 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อ และแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นแบบวัดชนิดถูก-ผิด และให้เหตุผลประกอบ จำนวน 15 ข้อ ดังภาพประกอบที่ 19

ภาพประกอบ 19 การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการเก็บรวบรวมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยอาศัยสถิติพื้นฐานและสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

4.1 สถิติพื้นฐาน

ผู้วิจัยได้ใช้สถิติฐานในการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียน ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สูตรที่ 1 ค่าเฉลี่ย คำนวณจากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2553)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{x}$ หมายถึง คะแนนเฉลี่ย

$\sum x$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N หมายถึง จำนวนนักเรียนของกลุ่มตัวอย่าง

สูตรที่ 2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คำนวณจากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2553)

$$s=\sqrt{\frac{n\sum x^2-(\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ s หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum x$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

$(\sum x)^2$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

N หมายถึง จำนวนนักเรียนของกลุ่มตัวอย่าง

4.2 สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

ผู้วิจัยได้ใช้สถิติที่ในการทดสอบสมมติฐาน คือ t-test for dependent sample เพื่อทดสอบความแตกต่างของคะแนนหลังเรียนกับคะแนนก่อนเรียนที่ได้จากแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05

สูตรที่ 1 t-test for dependent sample

$$t=\frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2-(\sum D)^2}{n-1}}}$$

เมื่อ t หมายถึง ค่าที่ใช้พิจารณาการแจกแจงแบบที

D หมายถึง ความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่

$\sum D$ หมายถึง ผลรวมของความต่างระหว่างคะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนและหลังเรียน

$\sum D^2$ หมายถึง ผลรวมของความต่างระหว่างคะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนและหลังเรียนยกกำลังสอง

N หมายถึง จำนวนคู่ของคะแนนจากการสอบก่อนและหลังเรียน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลของข้อมูล ผู้วิจัยได้ลำดับผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานข้อที่ 1 การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สมมติฐานข้อที่ 2 การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สมมติฐานข้อที่ 1 การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบก่อนเรียน จากนั้นการจัดการเรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง และกิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง โดยในแต่ละกิจกรรมผู้วิจัยได้ออกแบบให้ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน ซึ่งประกอบด้วย การระบุปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่าง การกำหนดสมมติฐาน/ออกแบบการทดลอง การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง

และการสรุปผลปฏิบัติการและสื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจ หลังจากการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนโดยใช้แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยเป็นแบบทดสอบชนิดเลือกตอบจำนวน 15 ข้อ รวม 15 คะแนน โดยใช้แบบทดสอบฉบับเดียวกันทำการทดสอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียน โดยนำคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนมาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent sample จะได้ผลดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 การเปรียบเทียบคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบ ก่อนเรียนกับหลังเรียนซึ่งจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ	n	คะแนนเต็ม	Mean	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	36	15	7.03	2.184	-5.979	35	.000
หลังเรียน	36	15	9.75	1.663			

จากการวิเคราะห์คะแนนการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนที่เรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนด้วยสถิติ t-test for dependent sample พบว่าคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า .05 แสดงว่านักเรียนที่เรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

ทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบในด้านพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งประกอบด้วย ระบุประเด็นปัญหา กำหนดสมมติฐาน ทดสอบสมมติฐาน และสรุปผลปฏิบัติการ ทั้งก่อนเรียนกับหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยเป็นแบบทดสอบชนิดเลือกตอบจำนวน 15 ข้อ รวม 15 คะแนน ซึ่งใช้แบบทดสอบฉบับเดียวกัน

ทำการทดสอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน นำคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบก่อนเรียนกับหลังเรียนมาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent sample จะได้ผลดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 การเปรียบเทียบคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบในรายพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนก่อนเรียนกับหลังเรียนซึ่งจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

การทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ	n	คะแนนเต็ม	Mean		S.D.		t	p
			ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระบุประเด็นปัญหา	36	3	0.81	2.50	0.749	0.507	-11.048	.000
กำหนดสมมติฐาน	36	5	3.03	3.72	1.298	0.849	-2.834	.008
ทดสอบสมมติฐาน	36	3	1.25	1.00	0.841	0.956	1.158	.255
สรุปผลปฏิบัติการ	36	4	1.94	2.53	1.013	0.810	-2.573	.014

จากการวิเคราะห์คะแนนการคิดอย่างเป็นระบบในรายพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งก่อนเรียนกับหลังเรียนซึ่งเรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน พบว่าคะแนนในด้านระบุประเด็นปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 คะแนน ในด้านกำหนดสมมติฐานหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .008 และคะแนนในด้านสรุปผลปฏิบัติการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.14 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า .05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่านักเรียนที่เรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันเพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีคะแนนในด้านระบุประเด็นปัญหา ด้านกำหนดสมมติฐาน และด้านสรุปผลปฏิบัติการหลังเรียนสูงกว่าก่อน

เรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนคะแนนในด้านทดสอบสมมติฐาน พบว่าหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .255 โดยมีค่ามากกว่า .05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่านักเรียนที่เรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันเพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีคะแนนในด้านทดสอบสมมติฐานหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สมมติฐานข้อที่ 2 การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ก่อนเรียนกับหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง และกิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง โดยผู้วิจัยได้ออกแบบลักษณะกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เครื่องมือที่ใช้ในการวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คือ แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จำนวน 15 ข้อ รวม 60 คะแนน ซึ่งเป็นแบบทดสอบชนิดถูก-ผิด และให้เหตุผลประกอบ โดยมีการใช้แบบวัดชุดเดียวกันทำการวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน นำคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent sample จะได้ผลดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 การเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ก่อนกับหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

การวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	n	คะแนนเต็ม	Mean	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	36	60	15.69	5.864	-18.097	35	.000
หลังเรียน	36	60	44.86	9.932			

จากการวิเคราะห์คะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ของนักเรียนที่เรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน มาทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติ t-test for dependent sample พบว่านักเรียนมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า .05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Research ซึ่งทำการทดลองตามแบบแผนการทดลอง One-Group Pretest-Posttest Design โดยผู้วิจัยได้พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปสาระสำคัญของงานวิจัยได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีความมุ่งหมายของงานวิจัย ดังนี้

1. พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. เปรียบเทียบการคิดอย่างเป็นระบบ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรซิชัน ในการจัดการเรียนรู้

3. เปรียบเทียบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรซิชัน ในการจัดการเรียนรู้

สมมติฐานการวิจัย

1. การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

วิธีการดำเนินวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. การกำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนที่ 1 การกำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มประชากร

นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษในจังหวัดรุงเทพมหานคร จำนวน 5 ห้องเรียน รวมทั้งหมด 197 คน

กลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยเลือกมาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 36 คน

ส่วนที่ 2 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในกาวิวัยครั้งนี้ ได้แก่

1. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน
2. แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ
3. แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

1. ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ในการวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

2.1.1 ศึกษาหลักสูตรเพื่อวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อกำหนดเนื้อหาในการสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ จากนั้นศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบตามแนวคิดของ Richmond (1997) รวมทั้งเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และการออกแบบชุดกิจกรรมการเรียนรู้

2.1.2 ออกแบบการทดลองในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์

หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง และกิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง ในการทำกิจกรรมจะมีขั้นตอนที่ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ ได้แก่ ระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ตัวอย่าง การตั้งสมมติฐานและออกแบบการทดลอง การทดสอบสมมติฐานฝการทดลอง และสรุปผลปฏิบัติการและสื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

2.1.3 ประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบและความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน จากการวิเคราะห์ผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมีความเหมาะสมมาก และผลการประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12 ซึ่งสามารถแปลความหมายได้ว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมีความเหมาะสมมาก

2.1.4 หาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งได้นำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่ได้เป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 จำนวน 3 คน กลุ่มที่ 2 จำนวน 9 คน และกลุ่มที่ 3 จำนวน 30 คน จากนั้นหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์การหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ คือ นักเรียนจำนวนร้อยละ 60 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 จากการวิเคราะห์คะแนนการคิดอย่างเป็นระบบ พบว่าหลังเรียนมีนักเรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

2. แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

2.1 ศึกษาผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2.2 ศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบตามแนวคิดของ Richmond (1997) โดยแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบเป็นชนิดเลือกตอบจำนวน 4 ตัวเลือก มีจำนวนทั้งหมด 15 ข้อ

2.3 หาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่าแบบทดสอบรายข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไปนำไปใช้ได้ แต่ต่ำกว่า 0.67 ผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

2.4 หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ จากการนำแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบไปใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน พบว่าแบบทดสอบที่มีค่าความยากง่ายอยู่มีค่า 0.47-0.80 ค่าอำนาจจำแนกอยู่มีค่า 0.20-0.73 และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.769

3. แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 ศึกษาผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศึกษาวิธีการออกแบบแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยผู้วิจัยได้ใช้การวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่มตามแนวทางการจัดกลุ่มแนวคิดตาม Westbrook และ Marek (1992) ซึ่งแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นการเลือกตอบถูก-ผิด ซึ่งถ้าตอบได้ถูกต้องกำหนดให้ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบผิดกำหนดให้ 0 คะแนน และส่วนที่ 2 การอธิบายเหตุผลประกอบซึ่งใช้เกณฑ์ให้คะแนน ดังนี้ ระดับ 1 แนวคิดถูกต้อง (Complete Understanding: CU or Scientific Conception: SC) กำหนดให้ 3 คะแนน ระดับ 2 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding: PC or partial scientific conception: PC) กำหนดให้ 2 คะแนน ระดับ 3 แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนหรือแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial scientific conception with misconception: PC/MC) กำหนดให้ 1 คะแนน ระดับ 4 แนวคิดคลาดเคลื่อนหรือแนวคิดไม่ถูกต้อง (Non scientific understanding: SU,misconception: MC) กำหนดให้ 0 คะแนน และระดับ 5 ไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (No understanding or without answer: NU, no conception: NC) กำหนดให้ 0 คะแนน แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีจำนวน 15 ข้อ รวมเป็น 60 คะแนน ในเนื้อหาเรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน มีจำนวน 15 ข้อ

3.2 หาความสอดคล้องของเนื้อหาของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่าแบบทดสอบรายข้อที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไปนำไปใช้ได้ แต่ต่ำกว่า 0.67 ผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

3.3 หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จากการนำแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ไปใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน พบว่าแบบวัดที่มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.27-0.80 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.41-0.81 และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน มีค่าเท่ากับ 0.935

ส่วนที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลโดยนำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 36 คน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ จำนวน 15 ข้อ และแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 15 ข้อ

2. จัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง กิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะโคบอลต์ (Co^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง และกิจกรรมการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะนิกเกิล (Ni^{2+}) ในน้ำตัวอย่าง ซึ่งในการจัดการเรียนรู้มีขั้นตอนการส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ ได้แก่ ระบุปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่าง กำหนดสมมติฐาน/ออกแบบการทดลอง ทดสอบสมมติฐาน/ทดลอง และสรุปผลปฏิบัติการและสื่อสารเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

3. ทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบและแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนของนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ จำนวน 15 ข้อ และแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 15 ข้อ

ส่วนที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลจากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน คือ t-test for dependent sample

สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นกลุ่มตัวอย่างได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นกลุ่มตัวอย่างได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งสามารถอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. การคิดอย่างเป็นระบบ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 เนื่องจาก

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้พัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบโดยอาศัยข้อมูลและหลักการทางวิทยาศาสตร์รวมทั้งผลการทดลองที่ได้จากการทดลองที่มีขั้นตอนชัดเจน นอกจากนั้นแล้วผู้วิจัยได้ออกแบบชุดกิจกรรมเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยได้ศึกษาตัวชี้วัดและผลการเรียนรู้ ในรายวิชาเคมี มีลักษณะเชิงนามธรรม โดยการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีควรจะส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดการลงมือทำด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบจากขั้นตอนในการลงมือทำและส่งผลให้มีความเข้าใจในเนื้อหารายวิชาเคมีได้ดียิ่งขึ้นรวมทั้งสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือทำจริงเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบลักษณะของกิจกรรมให้สอดคล้องกับขั้นตอนการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบโดยมี 4 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย การระบุประเด็นปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่าง การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง และการสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาเป็นชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดได้ โดยชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่พัฒนาขึ้นได้รับการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบและความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมี จำนวน 2 ท่าน จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ทั้งในด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบและความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น จากนั้นผู้วิจัยได้นำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งประกอบด้วย นักเรียนกลุ่มที่ 1 จำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบข้อความและการเรียบเรียงประโยค

นำมาทดลองกับนักเรียนกลุ่มที่ 2 จำนวน 9 คน เพื่อหาข้อบกพร่องของชุดกิจกรรมการเรียนรู้และนำไปปรับปรุงแก้ไขให้มีความเหมาะสม จากนั้นนำมาทดลองกับนักเรียนกลุ่มที่ 3 จำนวน 30 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามเกณฑ์ที่กำหนด พบว่านักเรียนร้อยละ 66.67 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบหลังเรียน จึงทำให้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ นักเรียนร้อยละ 60 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมดมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนทั้งหมดที่ได้จากการวัดโดยใช้แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พงศกร พรมทา (2560) และณัฐฐริกานต์ ค้ำชู (2561) ที่พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยได้ทดลองกับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อดูความเหมาะสมและข้อบกพร่องของกิจกรรมการเรียนรู้ก่อนนำไปทดลองในกลุ่มตัวอย่าง พบว่ากิจกรรมการเรียนรู้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

นำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ได้พัฒนาขึ้นไปจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 36 คน โดยได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนการส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ ดังนี้ ขั้นตอนการระบุประเด็นปัญหา โดยผู้วิจัยได้กำหนดสถานการณ์ตัวอย่างมาให้นักเรียนพิจารณาและร่วมกันระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ตัวอย่าง พร้อมทั้งร่วมกันลำดับความสัมพันธ์ของปัญหาและหาความเชื่อมโยงของปัญหา ขั้นตอนการตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยทบทวนสมบัติของโลหะแทรนซิชันให้กับนักเรียน จากนั้นผู้วิจัยมีการกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับปัญหาที่ได้จากขั้นตอนการระบุประเด็นปัญหาให้ชัดเจน ผู้วิจัยให้นักเรียนจับกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน เพื่อระดมความคิดในการออกแบบการทดลองเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐานที่ได้กำหนดขึ้น จากนั้นให้นักเรียนในแต่ละกลุ่มนำเสนอแบบการทดลองและร่วมกันอภิปรายข้อบกพร่องและเติมเต็มส่วนที่ขาดหายไป ซึ่งในขั้นตอนนี้จะได้ออกแบบทดลองที่ใช้ในการตรวจสมมติฐานที่ได้กำหนด ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง นักเรียนได้

ลงมือปฏิบัติการทดลองในแต่ละกิจกรรมในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม PhotoMetrix (Helfer, 2017) เนื่องจากมีความสะดวกในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง (สุธิตา ประดับ, 2561) และนักเรียนสามารถลงมือปฏิบัติได้ด้วยตนเองเพราะใช้โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ในการวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว (Yuanyuan Wu 2015) และขั้นตอนการสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ ผู้วิจัยและนักเรียนร่วมกันสรุปผลการทดลอง เรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งร่วมกันอภิปรายผลการการทดลองและร่วมกันลงสรุป จากนั้นนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของโลหะหนักในน้ำ (ปารมี ศรีบุญทิพย์, 2560) จากนั้นผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์ใกล้เคียงกับที่นักเรียนได้เรียนรู้ในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่องการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จากนั้นผู้วิจัยได้ซักถามเกี่ยวกับปัญหาที่พบ จากนั้นให้นักเรียนกำหนดสมมติฐานและออกแบบการทดลองแบบคร่าวๆ โดยให้นักเรียนอธิบายสมบัติของโลหะแทรนซิชันที่นำมาออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน ซึ่งนักเรียนจะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่พบกับองค์ความรู้ที่นักเรียนมีทำให้นักเรียนเกิดความท้าทายในการตั้งสมมติฐาน นอกจากนั้นแล้วนักเรียนยังได้ฝึกทักษะการคิดเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีต่างๆได้ด้วยตนเอง (สโรชิน รัถยาธาร, 2550)

จากขั้นตอนในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถระบุประเด็นปัญหาโดยพิจารณาจากการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบในด้านระบุประเด็นปัญหา ซึ่งนำคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนมาทำการวิเคราะห์พบว่านักเรียนมีคะแนนระบุประเด็นปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากนักเรียนได้รับการส่งเสริมให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับสถานการณ์ตัวอย่าง จากนั้นเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ระบุประเด็นปัญหาและส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการอภิปรายกับสมาชิกภายในกลุ่มและชั้นเรียนทำให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์กันระหว่างประเด็นปัญหารวมทั้งเชื่อมโยงประเด็นปัญหาเข้าด้วยกันได้ ส่วนในด้านการตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลองโดยผู้วิจัยได้นำคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนจากการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบในด้านการตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์พบว่านักเรียนมีคะแนนตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลองหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากนักเรียนได้รับ

การส่งเสริมเกี่ยวกับการตั้งสมมติฐานจากประเด็นปัญหาในสถานการณ์ตัวอย่าง จากนั้นยังเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับสมมติฐานที่ตั้งขึ้นรวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการอภิปรายและลงข้อสรุปในการเลือกสมมติฐานที่นำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง ในขณะที่นักเรียนร่วมกันออกแบบการทดลองภายในกลุ่ม ผู้วิจัยได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สอบถามเกี่ยวกับข้อสงสัยรวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการอภิปรายภายกับสมาชิกภายในกลุ่ม จากนั้นจะมีการนำเสนอขั้นตอนการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองของแต่ละกลุ่มและเปิดโอกาสให้นักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองรวมทั้งสะท้อนผลการออกแบบในส่วนของข้อบกพร่องเพื่อให้นักเรียนสามารถนำไปใช้ปรับปรุงขั้นตอนการทดลองให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งในขั้นตอนการตั้งสมมติฐานและการออกแบบการทดลองพบว่านักเรียนสามารถทำงานเป็นทีมได้ และยังส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความท้าทายในการตั้งสมมติฐานและการออกแบบการทดลองซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jun (2017) นอกจากนั้นแล้วนักเรียนยังเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันกับสมาชิกภายในกลุ่ม (พรพรรณ ธาราแดน, 2556) ทำให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิดและการถ่ายทอดความรู้ ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง ผู้วิจัยได้นำคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนนำคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียนจากการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบในด้านทดสอบสมมติฐาน/การทดลองมาทำการวิเคราะห์พบว่านักเรียนมีคะแนนการทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่านักเรียนมีคะแนนในด้านการทดสอบสมมติฐาน/การทดลองหลังเรียนต่ำกว่าก่อนเรียน เนื่องจากขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน/การทดลองมีความซับซ้อน และต้องมีประยุกต์ความรู้ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การนำความรู้เรื่องการเตรียมสารละลายมาใช้ในการเตรียมสารละลายของไอออนของโลหะแทรนซิชัน นักเรียนต้องคำนวณหาปริมาณของสารที่ใช้ในการเตรียมสารละลายซึ่งนักเรียนจะต้องมีความเข้าใจและสามารถคำนวณหาปริมาณของสารโดยมีการนำความรู้ เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ มาใช้ประกอบ จากนั้นนักเรียนจะต้องชั่งมวลของสารและทำการเตรียมสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชัน ซึ่งจะต้องใช้ความรู้ในเรื่องการใช้เครื่องมือในการวัดปริมาตรของสารละลาย เช่น การใช้ปิเปต การใช้ขวดวัดปริมาตร โดยนักเรียนจะต้องมีทักษะในการใช้เครื่องมือ นอกจากนั้นในขณะทำการทดสอบสมมติฐาน/การทดลองนักเรียนจะต้องใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยนักเรียนจะต้องมีการสังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของสาร การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง ดังนั้นในขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน/การทดลองมีรายละเอียดที่ซับซ้อนและจะต้องใช้ความรู้ในด้านต่าง ๆ มาประยุกต์ในขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน/การทดลองจึงทำให้นักเรียนมีการคิดอย่างเป็นระบบ

ที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นก่อนการจัดการเรียนรู้ควรมีการสรุปขั้นตอนที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน /การทดลองเพื่อให้นักเรียนเข้าใจตรงกัน และในขณะจัดการเรียนรู้ควรจะส่งเสริมให้นักเรียนทุกคนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองทั้งในด้านการคำนวณเพื่อหาปริมาณสาร การเตรียมสารละลาย รวมทั้งการสังเกตและบันทึกผลการทดลอง ซึ่งทำให้นักเรียนจะได้ฝึกทักษะการคิดคำนวณ ทักษะการใช้เครื่องมือการวัดปริมาตรและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนั้นแล้วควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ซักถามหรือแสดงความคิดเห็นในระหว่างการทดสอบสมมติฐาน/การทดลองเพื่อให้นักเรียนได้ลำดับขั้นตอนการทดลองได้ดียิ่งขึ้นซึ่งจะส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบที่ดียิ่งขึ้น และในด้านการสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจจากการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบในด้านการสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจมาทำการวิเคราะห์พบว่านักเรียนมีคะแนนสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากแต่ละกิจกรรมในชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีคำถามท้ายการทดลองเพื่อใช้สำหรับการประเมินความรู้ของนักเรียนที่ได้จากการทำแต่ละกิจกรรม และการมีร่วมกันอภิปรายและลงข้อสรุปหลังการทดลอง นอกจากนั้นแล้วผู้วิจัยได้ยกสถานการณ์จำลองที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสถานการณ์ในชุดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อใช้กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการแสวงหาความรู้ เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เสาวลักษณ์ สุวรรณรงค์ (2558) การพัฒนาชุดการสอนเพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

จากการวิเคราะห์คะแนนการคิดอย่างเป็นระบบก่อนเรียนกับหลังเรียน พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันมีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้ออกแบบให้มีขั้นตอนที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งประกอบด้วย การระบุประเด็นปัญหา การตั้งสมมติฐาน/การออกแบบการทดลอง การทดสอบสมมติฐาน/การทดลอง และการสรุปผลปฏิบัติการเพื่อสื่อความเข้าใจ นอกจากนั้นในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ยังมีกิจกรรมที่ได้ออกแบบให้นักเรียนได้การลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและใช้ปัญหาเป็นฐานในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจและเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้คะแนนการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียนที่เรียนรู้จากชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิด

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีคะแนนการคิดอย่างเป็นระบบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นกลุ่มทดลองได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ได้ดำเนินการสร้างให้มีเนื้อหาครอบคลุมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวชี้วัดและผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และจัดวางลำดับของเนื้อหาให้สอดคล้องการหนังสือรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 1 เรื่อง สมบัติของธาตุแทรนซิชัน และได้พัฒนากิจกรรมการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง ซึ่งเป็นกิจกรรมภายในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการทดลองของผู้วิจัย และนำมาพัฒนาเป็นชุดกิจกรรรมการเรียนรู้ซึ่งมีขั้นตอนที่ชัดเจน ง่ายต่อการลงมือปฏิบัติ

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ได้ถูกออกแบบให้มีกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดการลงมือทำด้วยตนเองและเกิดกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ โดยออกแบบกิจกรรมให้มีความสอดคล้องกับธรรมชาติของรายวิชาเคมี ในขณะที่ได้ลงมือปฏิบัติในแต่ละกิจกรรม นักเรียนสามารถสังเกตการเปลี่ยนทางเคมีใน 3 ระดับ คือ ระดับมหภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งในแต่ละกิจกรรมเมื่อสารละลายไอออนของโลหะแทรนซิชันทำปฏิกิริยากับสารละลายลิแกนด์ L เนื่องจากลิแกนด์เป็นลิแกนด์ประเภท Schiff base ซึ่งมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยากับไอออนของโลหะแทรนซิชัน นักเรียนจะสามารถสังเกตสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่า แต่ในระดับจุลภาคเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถสังเกตด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้น

ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันโดยอาศัยโปรแกรม PhotoMetrix ในโทรศัพท์มือถือ ซึ่งจะมีความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการใช้งานสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการวิเคราะห์ความเข้มของสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นและนำมาใช้การวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้ และระดับสัญลักษณ์ได้ออกแบบให้นักเรียนใช้โปรแกรม PhotoMetrix ในโทรศัพท์มือถือ (สุธิตา ประดับ, 2561) สร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้

จากการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ในการจัดการเรียนรู้ให้ให้แก่นักเรียนกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 36 คน ในชุดกิจกรรมการเรียนรู้ได้มีการส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยในชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีขั้นตอนให้นักเรียนได้ร่วมกันระบุประเด็นปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่าง จากนั้นตั้งสมมติฐานจากประเด็นปัญหาและออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างภายในกลุ่มของตนเอง ซึ่งทำให้นักเรียนเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับสมาชิกภายในกลุ่ม จากนั้นทดสอบสมมติฐาน/ทดลองซึ่งเป็นขั้นตอนที่เน้นให้นักเรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและในระหว่างการทดลองนักเรียนจะสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนของสารใน 3 ระดับ (Johnstone, 1993) ได้แก่ คือ ระดับมหภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่า แต่ในระดับจุลภาคเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถสังเกตด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันโดยอาศัยโปรแกรม PhotoMetrix ในโทรศัพท์มือถือ ซึ่งจะวิเคราะห์ความเข้มของสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นและนำมาใช้การวิเคราะห์ปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้ และระดับสัญลักษณ์ได้ออกแบบให้นักเรียนใช้โปรแกรม PhotoMetrix ในโทรศัพท์มือถือ (สุธิตา ประดับ, 2561) สร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างได้ ดังนั้นจึงทำให้นักเรียนได้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันได้ดียิ่งขึ้น หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสรุปผลปฏิบัติการเพื่อความเข้าใจ พบว่านักเรียนสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่างและนำปริมาณของโลหะแทรนซิชันมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของโลหะหนักในน้ำได้ นอกจากนั้นแล้วนักเรียนสามารถตอบข้อซักถามที่เกี่ยวของกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ

โลหะแทรนซิชัน เช่น สมบัติของโลหะแทรนซิชันที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันในน้ำตัวอย่าง ความเข้มของสีของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายไอออนของ และสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมที่แตกต่างกันเนื่องจากชนิดของโลหะแทรนซิชันที่แตกต่างกัน จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงทำให้นักเรียนมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับ ทวิช มณีพนา (2563) เรื่อง การพัฒนาชุดการทดลองวิทยาศาสตร์ เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ทางวิทยาศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่านักเรียนมีความความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เสียงมีพัฒนาการทางการเรียน อยู่ในระดับปานกลาง และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนั้นแล้วนักเรียนได้เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ระดับ ทำให้นักเรียนไม่เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐฐา พวงไพโรจน์ (2560) เรื่อง การพัฒนาชุดกิจกรรมสำหรับกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเนื้อหา เรื่อง สมดุลเคมี เพื่องส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน ได้ช่วยพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน จึงทำให้คะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางการนำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวไปใช้หรือทำการศึกษาวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 การสังเคราะห์ลิแกนด์ L อาจจะต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

1.2 การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูผู้สอนควรมีกลวิธีในการใช้โปรแกรมที่ต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกฝน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ในการพัฒนาบทปฏิบัติการสามารถใช้ลิแกนด์ L ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะแทรนซิชันชนิดอื่น เช่น Cr, Pb เป็นต้น

2.2 สามารถใช้โปรแกรม PhotoMetrix ในการตรวจวัดสีของปฏิกิริยาที่เกิดสารที่มีสี

บรรณานุกรม

Ashri, O. M. (2014). system thinking : Principles and Practiice. Retrieved from https://leadingchange21.wordpress.com/

Brickhouse, N. W., Dagher, Z. R., Letts Iv, W. J., และ Shipman, H. L. (2000). Diversity of Students' Views about Evidence, Theory, and the Interface between Science and Religion in an Astronomy Course. *Journal of research in science teaching,* 37(4), 340-362.

Celestina, J. J., Tharmaraj, P., Jeevika, A., และ Sheela, C. D. (2020). Fabrication of triazine based colorimetric and electrochemical sensor for the quantification of Co2+ ion. *Microchemical Journal,* 155, 104692.

Dalapati Sasanka. (2011). Highly Selective and Sensitive Fluorescence Reporter for Toxic Hg(II) Ion by a Synthetic Symmetrical Azine Derivative. *Sensors and actuators B,* 157, 615-620.

Good, M., และ Karash, R. (1995). Six Steps to Thinking Systemically Retrieved from https://thesystemsthinker.com/six-steps-to-thinking-systemically/

Helfer, G. A. (2017). PhotoMetrix: An Application for Univariate Calibration and Principal Components Analysis Using Colorimetry on Mobile Devices. Retrieved from https://www.scielo.br/j/jbchs/a/ffHbpmCZ3LBtrkBRjwQwfcs/?lang=en

Houston, W. R. (1972). *Developing Instructional Modules: A Modular System for Writing Modules*. Houston: University of Houston.

Johnstone, A. H. (1993). The development of Chemistry Teaching: A Changing Response Demand. *Journal of Chemistry Education,* 70(9), 701-705. สืบค้นจาก https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed070p701

Jun, S., Han, S., & Kim, S. (2017). Effect of design-based learning on improving computational thinking. *Behaviour & Information Technology,* 36(1), 43-53.

Kaur, N., และ Kumar, S. (2011). Colorimetric metal ion sensors. *Tetrahedron,* 67(48), 9233-9264.

Nelson, L. W., และ Lorbeer, G. C. (1975). *Science activities for elementary children* (5th

ed..). Iowa: Wm.C.Broom Company Phblishers.

Noh, T., และ Scharmann, L. C. (1997). Instructional Influence of a Molecular-Level Pictorial Presentation of Matter on Students' Conceptions and Problem-Solving Ability. *Journal of research in science teaching,* 34(2), 199.

Richmond, B. (1997). The “thinking” in systems thinking: how can we make it easier to master. *The Systems Thinker,* 8(2), 1-5.

Senge, P. M. (1994). The Fifth Discipline Field book: Strategies and Tools for Building a Learning Organization. Retrieved from https://www.worldcat.org/title/fifth-discipline-fieldbook-strategies-and-tools-for-building-a-learning-organization/oclc/29595286

Westbrook, S. L., และ Marek, E. A. (1992). A cross-age study of student understanding of the concept of homeostasis. *Journal of research in science teaching,* 29(1), 51-61.

Yuanyuan Wu , A. B., Neal Sleszynski , Myra Koesdjojo , Chadd Armstrong , Shay Bracha , Vincent T Remcho (2015). Clinical chemistry measurements with commercially available test slides on a smartphone platform: Colorimetric determination of glucose and urea. Retrieved from https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26102280/

กนกพร สุพงษ์. (2555). การกำจัดทองแดงจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการโดยใช้เคมีไฟฟ้า.

กรมทรัพยากรธรณี. (2550). นิกเกิล. สืบค้นจาก http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=577&filename=min5

กรองกาญจน์ อรุณรัตน์. (2536). กระบวนการเขียนบทเรียนโปรแกรม. เชียงใหม่ ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กัณฒพร ลักษณา. (2555). ผลของโคบอลต์คลอไรด์ต่อความเป็นเซลล์ต้นกำเนิดของเซลล์เนื้อเยื่อในฟันแท้ของมนุษย์. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

กาญจนา คังคะประดิษฐ์. (2547). การสอนให้เกิดแนวคิด เรื่อง พันธะเคมี ตามแนวคิดคอนสตรัคติวิซึม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน. (2551). โลหะกับการพัฒนาประเทศ บทที่ 6 : ทองแดง. สืบค้นมาจาก http://www1.dpim.go.th/ppr/paper.php?gpcode=08&pageid=2

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์. (2544). การคิดเชิงวิพากษ์ = *Critical thinking*. กรุงเทพฯ ซัคเซส มีเดีย.

ขวัญฤทัย เที่ยงจันทราทิพย์. (2559). การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้แบบ *HI-ER* เพื่อส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. ปริญญานิพนธ์ (กศ.ด. (วิทยาศาสตรศึกษา)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2559. http://thesis.swu.ac.th/swudis/Sci_Ed/Khuanruethai_T.pdf

http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000413755&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA

คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. (2563). ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน สำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. กรุงเทพฯ: สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ ทบวงมหาวิทยาลัย. (2525). ชุดเสริมประสบการณ์สำหรับครูวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ทบวงมหาวิทยาลัย.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2545). เอกสารการสอนชุดวิชาสื่อการสอนระดับประถามศึกษาหน่วยที่ 8-15 (พิมพ์ครั้งที่ 20). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. Cobalt (Co) โคบอลต์ สืบค้นมจาก http://oho.ipst.ac.th/bookroom/snet5/topic2/Co.html (สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2563)

ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2553). เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ฐานบัณฑิต.

โชคชัย ยะชูศรี. (2536). พิษรองเฉียบพลันของแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อไรน้ำแดง (*Moina macrocopa Straus*). (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ณัฐฐริกานต์ ค้ำชู. (2561). การพัฒนากิจกรรมและสะเต็มศึกษา เรื่อง สารละลาย : เจลพลังงานสูงเพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญานิพนธ์ (กศ.ม. (เคมี))). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2561., กรุงเทพฯ.

ณัฐฐา พวงไพโรจน์. (2560). การพัฒนาชุดกิจกรรมสำหรับกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเนื้อหา เรื่องสมดุลเคมี เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญานิพนธ์ (กศ.ม. (เคมี))). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.

ทวิช มณีพนา. (2563). การพัฒนาชุดการทดลองวิทยาศาสตร์ เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความเข้าใจ

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญานิพนธ์ (กศ.ด. (วิทยาศาสตรศึกษา))). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.

ธนภัทร เกิดก๊ก. (2562). การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่ถูกดัดแปลงพื้นผิวสำหรับการตรวจวัดเหล็ก (*III*). (ปริญญานิพนธ์ (วท.ม. (เคมี))). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.

ธนาภรณ์ โกราษฎร์. (2544, ตุลาคม-ธันวาคม). เหรียญกษาปณ์ไทยทำจากอะไร. *MTEC,* 6(25), 22-24.

ธีรยุทธ ลิ่วพรเจริญวงศ์. (2558). เคมอนินทรีย์ อะตอม พันธะ และสารประกอบ. กรุงเทพฯ: จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด.

นรรฏธวรรณ ถกลเกียรติกุล. (2555). การเตรียมโคบอลต์บนเส้นใยนาโนซิลิกา-อะลูมินาโดนอิเล็กโทรสปินนิงสำหรับการสังเคราะห์ฟิสเชอร์-ทรอปช์. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

นันธิดา รัตน์พิทักษ์. (2556). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ในโรงเรียนสังกัดสำนักการศึกษา กรุงเทพมหานคร โดยใช้การวิเคราะห์พหุระดับ. ปริญญานิพนธ์ (กศ.ม. (การวิจัยและสถิติทางการศึกษา)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2556. http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Ed_Re_Sta/Nanthida_R.pdf

http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000367615&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA

บุญเกื้อ ควรหาเวช. (2542). นวัตกรรมการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 4..). กรุงเทพฯ ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

บุญชม ศรีสะอาด. (2538). วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 2..). กรุงเทพฯ ชมรมเด็ก ผู้จัดจำหน่าย.

บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์. (2545). การวัดประเมินการเรียนรู้. กรุงเทพฯ:

ปวีณา ชาลีเครือ. (2553). การศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์บูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ปารมี ศรีบุญทิพย์. (2560). การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงระบบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยของรัฐ. ปริญญานิพนธ์ (ปร.ด. (การวิจัยและพัฒนาศักยภาพมนุษย์)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2560. http://thesis.swu.ac.th/swudis/Res_Hum/Paramee_S.pdf

http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000420263&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA

ปิยนาถ ประยูร. (2548). วิธีคิดกระบวนระบบ = *System thinking*. กรุงเทพฯ โครงการเสริมสร้างการเรียนรู้เพื่อชุมชนเป็นสุข สรส.

พงศกร พรมทา. (2561). การพัฒนากิจกรรมสตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปริญญานิพนธ์ (กศ.ม.(เคมี)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2561. http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/486/1/gs601110144.pdf

พรพรรณ ธาราแดน. (2556, พฤษภาคม-สิงหาคม). ตัวแปรที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคอมพิวเตอร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนอัสสัมชัญธนบุรี. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม, 12(2).

พรพรรณ ภูมิภู. (2551). การคิดเชิงระบบ Systems Thinking. สืบค้นจาก http://kmcenter.rid.go.th/kcffd/information/Dr%20Pornpan%20Present/Systems%20Thinking%201.doc

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2543). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้จัดจำหน่าย.

พักตร์วิภา ตะเพียนทอง. (2549). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการคิดอย่างมีเหตุผลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่เรียนโดยใช้ชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามแนวปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ไพโรจน์ เติมเตชาติพงศ์, และ พัชราภรณ์ บัวระบัดทอง. (2016). ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่องพันธุกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อใช้วิธีการสอน แบบเปรียบเทียบร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนา. *Journal of Education Khon Kaen University (Graduate Studies Research)*.

ภพ เลาหไพบูลย์. (2540). แนวการสอนวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเพทฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

มกราพันธุ์ จูฑะรสก. (2556). การคิดอย่างเป็นระบบ : การประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอน = *Systems thinkg : teaching application*. นนทบุรี โครงการสวัสดิการวิชาการ สถาบันพระบรมราชชนก.

ยศกิต เรืองทวีป, ณัฐพล ปิ่นเวา, เพ็ญผกา ธัญญเจริญ, ศุภมาส จันทร์หอม, สุชาดา เข็มเงิน, และ จักรพงษ์ แก้วขาว. (2559). การศึกษาผลของ CoO ต่อสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วในระบบ B_2O_3 : Al_2O_3 : CaO : Na_2O. สืบค้นจาก https://publication.npru.ac.th/jspui/handle/123456789/213

ลัดดาวัลย์ บูรณะ, และ จรรยา ดาสา. (2017). แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารละลาย ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย High School Students' Understanding of Solution Concepts. วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์.

วรภัทร์ ภู่เจริญ. (2550). การบริหารนวัตกรรมอย่างยั่งยืนและพอเพียง = *Innovation*. กรุงเทพฯ อริยชน.

วรรณทิพา รอดแรงค้า, และ พิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2542). การพัฒนาการคิดของครูด้วยกิจกรรมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 2..). กรุงเทพฯ สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ พว.

วรัทยา มณีรัตน์. (2560). การพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์. (ปริญญานิพนธ์ (กศ.ม. (เคมี))). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2560., กรุงเทพมหานคร.

วราภรณ์ แย้มจินดา. (2547). แนวคิดเรื่องการเปลี่ยนสถานะของสารของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วัฒนาพร ระงับทุกข์. (2542). แผนการสอนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง (พิมพ์ครั้งที่ 3..). กรุงเทพฯ วัฒนาพานิช.

วันดี มณีขวัญ, และ ดวงรัตน์ ทองคำ. (2018). ประสิทธิภาพการดูดซับเซนเซอร์สีของดินเหนียว K-10 มอนต์โมริลโลไนต์เพื่อใช้ตรวจจับไอออนทองแดง. *Journal of Science Ladkrabang*.

วิชัย วงษ์ใหญ่. (2525). พัฒนาหลักสูตรและการสอนแนวใหม่. กรุงเทพฯ: รุ่งเรือง.

วิไลภรณ์ ผุยพรม. (2550). การศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อนในวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง ธาตุ สารประกอบ และปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนมารีวิทยา จังหวัดศรีสะเกษ. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

วิศิษฎ์ ตันติสัตยารักษ์. (2538). การวิเคราะห์ปริมาณโคบอลต์ในหางแร่ดีบุก. สืบค้นจาก https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20359603

ศรินดา จามรมาน. (2556). รูปแบบการจัดสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์บนเครือข่ายด้วยกระบวนการสืบสอบเพื่อพัฒนาการคิดเชิงระบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนของนักศึกษาปริญญาตรี. (ปริญญานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. สืบค้นจาก http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/42760

ศรีสุดา จริยากุล. (2543). "นวัตกรรมการเรียนการสอน" [เอกสารการสอนชุดวิชาระบบการเรียนการสอนหน่วยที่ 8-15]. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ศิริรัตน์ ราชยอด. (2558). ผลของการใช้ชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์แบบบูรณาการ เรื่อง ระบบร่างกายมนุษย์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Ed_SLM/Sirirat_R.pdf

http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000399720&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA

ศุภชัย รัตนมณีฉัตร. (2534). มลพิษสิ่งแวดล้อมน้ำและอากาศ. กรุงเทพฯ: หน่วยเวชศาสตร์ป้องกัน คณะแพทย์ศาสตร์ศิริราช.

ศุภมาส ด่านวิทยากุล. (2557). ชุดทดสอบอย่างง่ายสำหรับการตรวจวัดไอออนนิกเกิล(Test Kit for Nickel(II) Determination). สืบค้นจาก https://www.nstda.or.th/tlo/view_tech.php?id=N5j0qd995vte7AaOJZPn6A==

ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ. (2557). ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทูน่าบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90^{o} *E*. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2544). เกราะป้องกันชีวิต 1. กรุงเทพฯ: สหมิตรพริ้นติ้ง.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. สืบค้นจาก http://www.scimath.org/e-books/8417/flippingbook/index.html

สโนชิน รัถยาธาร. (2550). Systems thinking. Retrieved form http://learners.in.th/blog /rsarochin

สมพร ประมวลศิลป์ชัย. (2543). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและค่านิยมต่อภูมิปัญญาไทยของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เรียนวิชาสังคมศึกษาโดยการใช้ชุดการเรียนภูมิปัญญาไทยกับการใช้ประบวนการกลุ่มสัมพันธ์. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพ.

สริดา เนาว์รุ่งโรจน์. (2560). เซนเซอร์เชิงสีสำหรับการตรวจวัดปริมาณน้ำในน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานโดยอาศัยปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อนโคบอลต์คลอไรด์ [เอกสารประกอบการสอนในโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สวริน รักบัว. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบปฏิกิริยาการทดสอบภูมิแพ้นิกเกิลและปริมาณนิกเกิลในปัสสาวะระหว่างผู้ป่วยผื่นแพ้สัมผัสสารนิกเกิลที่รับประทานคีเลต ซิงค์และยาหลอก. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

สาโรช พันธุ์แพ, และ อภิชาติ ธรรมวิทย์กุล. (2526). การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สุคนธ์ สินธพานนท์. (2552). พัฒนาทักษะการคิด--พิชิตการสอน (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธิตา ประดับ. (2561). เทคนิคทางโฟโตเมทรีด้วยสมาร์ทโฟน สำหรับรายวิชาเคมีระดับปริญญาตรี SMART PHONE PHOTOMETRY FOR UNDERGRADUATE CHEMISTRY COURSES. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 20(2).

สุพิน บุญชูวงศ์. (2538). หลักการสอน (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน สถาบันราชภัฏสวนดุสิต.

สุภาวดี หุ่นสวัสดิ์. (2539). ปริมาณสังกะสีและทองแดงในอาหาร สำหรับผู้ป่วยในโรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช พอ. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุวิทย์ มูลคำ, และ อรทัย มูลคำ. (2546). 19 วิธีจัดการเรียนรู้ : เพื่อพัฒนาความรู้และทักษะ. กรุงเทพฯ ภาพพิมพ์.

เสาวลักษณ์ สุวรรณรงค์. (2558, กันยายน - ธันวาคม). การพัฒนาชุดการสอนเพื่อเสริมสร้างการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและใช้ปัญหาเป็นฐาน ชั้นมัธยศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี). วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม, (3), 77-84. สืบค้นจาก https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JIE/issue/view/10041

อรวรรณ จันทร์ฟู. (2554). การศึกษาแนวคิดเรื่องพันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรักติวิซึม. In ศ. เอกรัตน์ (Ed.): มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉรีรัตน์ ศิริ, ประนอม แซ่จึง, และ กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา. (2558, กรกฎาคม-ธันวาคม). การสำรวจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารโคเวเลนต์และไอออนิกโดยใช้เทคนิคแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ร่วมกับบัตรแสดงพันธะเคมี. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 6(2), 198-208.

อาภาพร นรารักษ์. (2561). ผลของการเติมเรเนียมและโคบอลต์ในโลหะผสมพิเศษเนื้อนิกเกิลเกรด *MGA* 1400 ที่เตรียมด้วยวิธีการหลอมด้วยอาร์กต่อโครงสร้างจุลภาคและความเสถียรของเฟส. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อารยา องค์เอี่ยม, และ พงศ์ธารา วิจิตเวชไพศาล. (2561). การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย. วิสัญญีสาร, 44(1), 36-42. http://anesthai.org/public/rcat/Documents/journal/1522139804-07-Araya.pdf

อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกูล. (2555). การวัดประเมินทางการศึกษา [เอกสารประกอบการสอนและแบบฝึกปฏิบัติการ]. กรุงเทพฯ: ภาควิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

MF-04-version-2.0
วันที่ 18 ต.ค. 61

หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและใบยินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย SWUEC-G- 104/2564E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการฯ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง: การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไลทะแทรนซิชันเพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อผู้วิจัยหลัก: นางสาว นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร

สังกัด: คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารที่รับรอง:
1. แบบเสนอโครงการวิจัย
2. โครงการวิจัย
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาทบทวน

1. แบบเสนอโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 11 มีนาคม 2564
2. โครงร่างการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 11 มีนาคม 2564
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 11 มีนาคม 2564
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 11 มีนาคม 2564

(ลงชื่อ).....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิรกุล)
กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....
(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E/G-104/2564
วันที่ให้การรับรอง : 11/03/2564
วันหมดอายุใบรับรอง : 11/03/2565

ที่ อว 8718/

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

12 มีนาคม 2564

เรื่อง ขอแจ้งผลการพิจารณาโครงการวิจัยเลขที่ SWUEC-G- 104/2564E

เรียน นางสาว นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร

สิ่งที่ส่งมาด้วย ใบรับรองโครงการวิจัย SWUEC/E/G-104/2564

ตามที่ท่านได้ส่งโครงร่างการวิจัยเรื่อง การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันเพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โครงการวิจัยเลขที่ SWUEC-G 104/2564E เพื่อรับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ นั้น

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยดังกล่าว บัดนี้ คณะกรรมการฯ ให้การรับรองโครงการวิจัยดังกล่าวแล้วเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2564 รายละเอียดดังนี้

Certificate Number	SWUEC/E/G-104/2564
Date of Approval	11 มีนาคม2564 (อายุใบรับรองโครงการวิจัย 12 เดือน)
Date of Expiration	11 มีนาคม 2565
Continuing Review	ทุก 12 เดือน (ครบกำหนดส่งรายงานครั้งแรก วันที่ 11 มีนาคม 2565)

ในการนี้ คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ใคร่ขอความกรุณาให้ผู้วิจัยส่งรายงานความก้าวหน้าของการวิจัยและต่ออายุการรับรองก่อนกำหนดวันหมดอายุ 30 วัน เพื่อให้เป็นไปตามวิธีดำเนินการมาตรฐาน (SOPs version 2.0) ของคณะกรรมการฯ ทั้งนี้รายละเอียดของเอกสารที่ให้การรับรองตามที่ปรากฏใน Certificate of Approval (Certificate Number SWUEC/E/G-104/2564) ที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและดำเนินการต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์ 0-2649-5000 ต่อ 12430
โทรสาร 0-2259-1822

MF-04-1-version-2.0
วันที่ 18 ต.ค. 61

ข้อปฏิบัติสำหรับผู้วิจัยที่ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอแจ้งให้ทราบเกี่ยวกับหน้าที่ และความรับผิดชอบของผู้วิจัยหลังจากโครงการวิจัย ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์แล้ว ขอความกรุณาดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยจะต้องดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่างๆ ที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยโดยเคร่งครัด โดยใช้เอกสารชี้แจงอาสาสมัคร (Information Sheet) หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (Informed Consent Form) ป้ายประชาสัมพันธ์ รวมถึงเอกสารอื่น ที่ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการฯ แล้วเท่านั้น
2. ผู้วิจัยมีหน้าที่รายงานต่อคณะกรรมการฯ เมื่อ
   2.1 มีการดำเนินงานวิจัยครบระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะต้องมีการรายงานความก้าวหน้าของการวิจัยตามระยะเวลาที่คณะกรรมการฯ กำหนดในเอกสารใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (แบบเอกสารที่ MF 04) หรือเมื่อครบหนึ่งปีจากวันที่ระบุไว้ในเอกสารใบรับรองของโครงการวิจัย โดยใช้แบบรายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 13-1)
   2.2 สำหรับโครงการวิจัยที่ยังไม่เสร็จสิ้นแต่เอกสารใบรับรองฯ หมดอายุ ผู้วิจัยจะต้องส่งหนังสือบันทึกข้อความเพื่อขอต่ออายุใบรับรองฯ ภายใน 30 วัน ก่อนวันหมดอายุตามที่กำหนดไว้ในเอกสารใบรับรองฯ พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าของการวิจัย มิฉะนั้น คณะกรรมการฯ จะไม่รับรองการทำวิจัย หรือ การเก็บข้อมูลในระยะเวลาหลังจากเอกสารใบรับรองหมดอายุ
   2.3 หากผู้วิจัยมีความจำเป็นในการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย (Protocol Amendment) หรือมีการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าโครงการวิจัย/เพิ่มเติมผู้ร่วมวิจัย ฯลฯ ผู้วิจัยจะต้องเสนอการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม โดยใช้แบบรายงานส่วนแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 07-1) โดยผู้วิจัยจะต้องระบุให้ชัดเจนว่า มีการเปลี่ยนแปลงอะไร อย่างไร และเหตุผลที่ต้องการเปลี่ยนแปลง ทั้งในในกรณีการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าโครงการวิจัย หรือเพิ่มเติมผู้ร่วมวิจัยคนใหม่ ให้แนบแบบประวัติผู้วิจัย (แบบเอกสารที่ MF 09-1) และใบประกาศนียบัตรการอบรม (ถ้ามี)
   2.4 หากมีเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในอาสาสมัคร จากการดำเนินโครงการวิจัย (Serious Adverse Events) เกิดขึ้นแก่อาสาสมัครของโครงการวิจัยในสถาบัน ผู้วิจัยจะต้องทำเอกสารแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 7 วัน และหากเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงนั้น เป็นเหตุให้อาสาสมัครถึงแก่ชีวิต ผู้วิจัยจะต้องทำเอกสารแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 24 ชั่วโมง (โดยทางหนังสือบันทึกข้อความ จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือ โทรสาร) หลังจากผู้วิจัยทราบเหตุการณ์ โดยใช้แบบรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ สำหรับอาสาสมัครในสถาบันให้ใช้แบบเอกสารที่ MF 19 แบบรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่เกิดแก่อาสาสมัครนอกสถาบันให้ใช้แบบเอกสารที่ MF 18 และ/หรือ CIOMS Form แบบเอกสารที่ MF 19-2

2.5 หากมีการไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนด (Non-Compliance/Protocol deviation) ผู้วิจัยจะต้องรายงานให้คณะกรรมการฯ รับทราบ ภายใน 7 วัน นับจากที่ตรวจพบ โดยใช้แบบรายงานการไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนด (แบบเอกสารที่ MF 21)

2.6 โครงการวิจัยที่ยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด ให้ผู้วิจัยส่งหนังสือแจ้งปิดโครงการวิจัยนั้น พร้อมเหตุผลในการยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด โดยใช้แบบรายงานเพื่อยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด (แบบเอกสารที่ MF 14-1) และการดูแลอาสาสมัครหลังจากยุติโครงการวิจัยแก่คณะกรรมการฯ

2.7 โครงการวิจัยที่เสร็จสิ้นแล้ว ให้ผู้วิจัยส่งรายงานสรุปผลการวิจัย โดยใช้แบบรายงานสรุปผลการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 15-1)

คณะกรรมการฯ อาจมีการสุ่มเข้าตรวจเยี่ยมโครงการวิจัย (Site Monitoring Visit) เพื่อดูความเรียบร้อยของการดำเนินงาน รับฟัง และให้คำปรึกษาข้อปัญหาที่อาจมีในระหว่างการดำเนินงานโครงการวิจัย โดยสำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย จะมีหนังสือแจ้งให้ผู้วิจัยได้ทราบล่วงหน้า เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ผลการตรวจเยี่ยมโครงการวิจัยจะแจ้งเพื่อทราบในที่ประชุมคณะกรรมการฯ และจะแจ้งผลการพิจารณาให้ผู้วิจัยได้ทราบ และอาจมีข้อเสนอแนะนำไปปฏิบัติต่อไป

ผู้วิจัยสามารถ download เอกสารต่างๆ ได้ที่ http://research.swu.ac.th/index.php?option=dowload6 งานมาตรฐานจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย หากมีข้อสงสัยสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมในวิธีดำเนินการมาตรฐาน (SOPs) หรือสอบถามเจ้าหน้าที่สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมฯ ได้ที่หมายเลขโทรศัพท์ 0-2649-5000 ต่อ 11019, 11014 หมายเลขโทรสาร 0-2259-1822

ที่ อว 8718/663

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

19 มีนาคม 2564

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า

เนื่องด้วย นางสาวนันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ นิสิตขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล โดยใช้ 1) แบบทดสอบ เรื่อง แบบประเมินทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ 2) แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และ 3) การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ชั้นปีที่ 4 จำนวน 45 คน เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย และขอใช้สถานที่โรงเรียนของท่าน ระหว่างเดือนมีนาคม 2564 ถึงเดือนเมษายน 2564 ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขอความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0 2649 5064
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 082-3565453

ที่ อว 8718/238

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

3 กุมภาพันธ์ 2564

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสารวิทยา

เนื่องด้วย นางสาวนันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ นิสิตขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล โดยใช้ 1) แบบทดสอบ เรื่อง แบบประเมินทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ และ 2) การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันกับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ชั้นปีที่ 4 จำนวน 36 คน เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย และขอใช้สถานที่หน่วยงานของท่าน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2564 ถึงเดือนเมษายน 2564 ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขอความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0 2649 5064
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 082 356 5453

ภาคผนวก ข

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการวิจัย

ด้านเคมี 2 ท่าน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แพน ทองเรือง	อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาจารย์ ดร. ชัชฎาภรณ์ พิณทอง	อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ด้านเนื้อหา 1 ท่าน

นายธนากฤช ครุเจนธรรม	ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ชำนาญการพิเศษ โรงเรียนไตรมิตรวิทยาลัย

บันทึกข้อความ

ส่วนงาน งานบริหารและธุรการ บัณฑิตวิทยาลัย โทร. 15644

ที่ อว 8718.1/236 **วันที่** 3 กุมภาพันธ์ 2564

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นางสาวนันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย" โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แพน ทองเรือง และอาจารย์ ดร.ชัชฎาภรณ์ พิณทอง เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ 1) ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 2) แบบประเมินการคิดอย่างเป็นระบบ และ 3) แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป และสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ โทร. 082 356 5453

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวนันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ฉัตรชัย เ.

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ อว 8718/237

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

3 กุมภาพันธ์ 2564

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนไตรมิตรวิทยาลัย

เนื่องด้วย นางสาวนันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิราภร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อพัฒนาการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายธนากฤช ครุเจนธรรม เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ 1) ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 2) แบบประเมินการคิดอย่างเป็นระบบ และ 3) แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวนันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิราภร และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
โทร. 0 2649 5064
หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 082 356 5453

ภาคผนวก ค

ผลประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

การแปลความหมายโดยใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักคะแนน ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 แสดงว่า มีความเหมาะสมมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ตาราง 1 ผลประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน

ประเด็นการประเมิน	ผลการประเมิน			ค่าเฉลี่ย	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3		
1. สถานการณ์ตัวอย่างในชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4	3	3	3.33	มีความเหมาะสมปานกลาง
2. หลักการของชุดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถนำมาใช้ได้จริง	4	3	5	4.00	มีความเหมาะสมมาก
3. เป้าหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับวัยของนักเรียน	5	4	5	4.67	มีความเหมาะสมมากที่สุด
4. เป้าหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความสอดคล้องกับเนื้อหา	5	4	4	4.33	มีความเหมาะสมมาก
5. เป้าหมายของชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีประโยชน์ต่อนักเรียน	5	4	5	4.67	มีความเหมาะสมมากที่สุด
6. จุดประสงค์ของกิจกรรมมีความชัดเจนและเป็นไปได้	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
7. จุดประสงค์ของกิจกรรมมีความเหมาะสมกับวัยของนักเรียน	5	4	4	4.33	มีความเหมาะสมมาก

ตาราง 1(ต่อ)

ประเด็นการประเมิน	ผลการประเมิน			ค่าเฉลี่ย	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3		
8. จุดประสงค์ของกิจกรรมมีประโยชน์ต่อนักเรียน	5	4	5	4.67	มีความเหมาะสมมากที่สุด
9. เนื้อหาของชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับวัยของนักเรียน	5	4	4	4.33	มีความเหมาะสมมาก
10. เนื้อหาของชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีประโยชน์กับนักเรียน	5	4	5	4.67	มีความเหมาะสมมากที่สุด
11. เนื้อหาของชุดกิจกรรมมีการเรียงลำดับที่เหมาะสม	4	3	4	3.67	มีความเหมาะสมมาก
12.ระยะเวลาที่ใช้จัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสม	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
13. กิจกรรมมีขั้นตอนที่เข้าใจง่ายและไม่ซับซ้อน	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
14. ความถูกต้องของภาษา	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
15. การใช้สีสัน ขนาดตัวอักษร และภาพที่เหมาะสม	5	4	4	4.33	มีความเหมาะสมมาก
ค่าความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมการเรียนรู้				4.20	มีความเหมาะสมมาก

ผลประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

การแปลความหมายโดยใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักคะแนน ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 แสดงว่า มีความเหมาะสมมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 แสดงว่า มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ตาราง 2 ผลประเมินความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน

ประเด็นการประเมิน	ผลการประเมิน			ค่าเฉลี่ย	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3		
ด้านจุดประสงค์					
1. สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
2. สอดคล้องกับผลการเรียนรู้	4	3	3	3.33	มีความเหมาะสมปานกลาง
3. สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
4. สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
5. สอดคล้องกับเนื้อหา	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
ด้านเนื้อหา					
6. เนื้อหามีความถูกต้องครบถ้วน	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
7. เนื้อหามีความต่อเนื่องสอดคล้องกัน	5	4	4	4.33	มีความเหมาะสมมาก
8. เนื้อหามีความเหมาะสมกับระยะเวลาที่กำหนด	5	4	4	4.33	มีความเหมาะสมมาก

ตาราง 2 (ต่อ)

ประเด็นการประเมิน	ผลการประเมิน			ค่าเฉลี่ย	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3		
ด้านจุดประสงค์					
9. เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	5	4	3	4.00	มีความเหมาะสมมาก
10. เนื้อหามีความกระชับเหมาะสมกับกิจกรรม	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
11. เนื้อหามีความเหมาะสมกับนักเรียน	4	4	5	4.33	มีความเหมาะสมมาก
12. เนื้อหามีความน่าสนใจ	5	3	5	4.33	มีความเหมาะสมมาก
ด้านการใช้ภาษา					
13. ใช้ภาษาที่สื่อสารได้เข้าใจง่าย	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
14. ความถูกต้องในการใช้ภาษา	4	4	5	4.33	มีความเหมาะสมมาก
15. ภาษาเหมาะสมกับระดับของนักเรียน	4	4	5	4.33	มีความเหมาะสมมาก
ด้านกิจกรรมที่ส่งเสริมทักษะปฏิบัติการเคมี					
16. สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	4	4	4.00	มีความเหมาะสมมาก
17. สอดคล้องเหมาะสมกับเนื้อหา	4	3	4	3.67	มีความเหมาะสมมาก
18. ความยากง่ายเหมาะสมกับระดับของนักเรียน	4	4	5	4.33	มีความเหมาะสมมาก
19. กิจกรรมมีความเหมาะสมกับระยะเวลา	5	4	4	4.33	มีความเหมาะสมมาก
20. การเรียงลำดับของกิจกรรมมีความเหมาะสม	5	4	5	4.67	มีความเหมาะสมมากที่สุด
ค่าความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้กับชุดกิจกรรมการเรียนรู้				4.12	มีความเหมาะสมมาก

การหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ตาราง 3 ค่าประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

นักเรียนคนที่	คะแนนก่อนเรียนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ผลการประเมิน (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็มทั้งหมด)	คะแนนหลังเรียนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ผลการประเมิน (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็มทั้งหมด)
1	28	ไม่ผ่าน	58	ผ่าน
2	33	ไม่ผ่าน	55	ผ่าน
3	26	ไม่ผ่าน	59	ไม่ผ่าน
4	33	ไม่ผ่าน	60	ผ่าน
5	32	ไม่ผ่าน	59	ผ่าน
6	33	ไม่ผ่าน	35	ผ่าน
7	29	ไม่ผ่าน	21	ผ่าน
8	29	ไม่ผ่าน	22	ผ่าน
9	33	ไม่ผ่าน	32	ผ่าน
10	34	ไม่ผ่าน	34	ผ่าน
11	29	ไม่ผ่าน	20	ผ่าน
12	24	ไม่ผ่าน	25	ผ่าน
13	29	ไม่ผ่าน	28	ผ่าน
14	29	ไม่ผ่าน	32	ผ่าน
15	28	ไม่ผ่าน	14	ผ่าน
16	26	ไม่ผ่าน	14	ผ่าน
17	25	ไม่ผ่าน	58	ผ่าน
18	29	ผ่าน	28	ผ่าน
19	21	ไม่ผ่าน	25	ผ่าน

ตาราง 3 (ต่อ)

นักเรียนคนที่	คะแนนก่อนเรียนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ผลการประเมิน (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็มทั้งหมด)	คะแนนก่อนเรียนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	ผลการประเมิน (ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็มทั้งหมด)
20	24	ไม่ผ่าน	30	ผ่าน
21	22	ไม่ผ่าน	25	ไม่ผ่าน
22	28	ไม่ผ่าน	58	ผ่าน
23	27	ผ่าน	59	ผ่าน
24	22	ไม่ผ่าน	58	ผ่าน
25	23	ไม่ผ่าน	59	ผ่าน
26	26	ไม่ผ่าน	58	ผ่าน
27	28	ไม่ผ่าน	59	ไม่ผ่าน
28	24	ผ่าน	59	ผ่าน
29	27	ไม่ผ่าน	56	ผ่าน
30	25	ไม่ผ่าน	58	ผ่าน
ค่าเฉลี่ย	27.53		41.93	
S.D.	3.61		17.19	
จำนวนนักเรียนที่สอบผ่านเกณฑ์	10		20	
ร้อยละของนักเรียนที่สอบผ่านเกณฑ์	33.33		66.67	

ภาคผนวก ง

ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินการคิดอย่างเป็นระบบ

ตาราง 4 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน

ข้อที่	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา	ข้อเสนอแนะ
	1	2	3				
1	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	
2	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
3	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	
4	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	
5	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	
6	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
7	0	0	+1	1	0.33	ปรับปรุง	- ควรใช้ Cu^{2+} แทน $CuSO_4$ - เนื่องจากมีการเล่นคำจากจำนวนโมลเป็นปริมาณ ดังนั้นจึงควรใช้คำว่า “โมล” แทนปริมาณ
8	+1	0	0	1	0.33	ปรับปรุง	ต้องปรับเปลี่ยนข้อความคำถามโดยให้เปรียบเทียบกับสารละลายก่อนเกิดเหตุการณ์นี้ เพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายได้
9	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	
10	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	
11	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	

ตาราง 4 (ต่อ)

ข้อที่	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา	ข้อเสนอแนะ
	1	2	3				
12	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้	
13	+1	0	0		0.33	ปรับปรุง	ลักษณะของข้อคำถามเป็นแบบประยุกต์หากจัดอยู่ในขั้นตอนการคิดอย่างเป็นระบบก็สามารถใช้ข้อคำถามนี้ได้
14	+1	+1	+1		1	ใช้ได้	
15	+1	+1	+1		1	ใช้ได้	

การหาค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

การแปลความหมายความยากง่าย สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ค่าความยากง่าย 0.81-1.00 หมายถึง ง่ายมาก

ค่าความยากง่าย 0.61-0.80 หมายถึง ค่อนข้างง่าย

ค่าความยากง่าย 0.40-0.60 หมายถึง ยากง่ายปานกลาง

ค่าความยากง่าย 0.20-0.39 หมายถึง ค่อนข้างยาก

ค่าความยากง่าย 0.00-0.19 หมายถึง ยากมาก

ตาราง 5 ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนก ของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ

ข้อที่	p	r	การพิจารณา
1	0.80	0.40	ง่ายมาก จำแนกได้
2	0.57	0.20	ยากง่ายปานกลางจำแนกได้
3	0.77	0.73	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
4	0.73	0.40	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
5	0.77	0.40	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
6	0.80	0.33	ง่ายมาก จำแนกได้
7	0.70	0.33	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
8	0.70	0.53	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
9	0.73	0.40	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
10	0.77	0.40	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
11	0.73	0.40	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
12	0.80	0.47	ง่ายมาก จำแนกได้
13	0.73	0.33	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
14	0.73	0.47	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้
15	0.47	0.47	ยากง่ายปานกลางจำแนกได้

จากการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSSS Statistics 26

จากการนำคะแนนหลังเรียนจากการทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบของนักเรียน จำนวน 30 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบมาทำการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ จำนวน 15 ข้อ ได้ดังนี้

Reliability

Scale: ALL VARIABLES

Case Processing Summary

		N	%
Cases	Valid	30	100.0
	Excluded[a]	0	.0
	Total	30	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.769	15

ภาพประกอบ 1 การวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSSS Statistics 26

ภาคผนวก จ

ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ตาราง 6 ผลการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน

ข้อที่	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
1	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
7	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
11	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้
12	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
18	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้

ตาราง 6 (ต่อ)

ข้อที่	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
19	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
21	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
22	-1	+1	+1	1	0.33	ปรับปรุง
23	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
24	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
25	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
26	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
27	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
28	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
29	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้
30	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
31	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
32	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
34	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
35	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
36	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
37	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
38	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
39	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้

ตาราง 6 (ต่อ)

ข้อที่	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
40	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
41	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
42	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
43	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
44	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
45	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้

การหาค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

การแปลความหมายความยากง่าย สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ค่าความยากง่าย 0.81-1.00 หมายถึง ง่ายมาก

ค่าความยากง่าย 0.61-0.80 หมายถึง ค่อนข้างง่าย

ค่าความยากง่าย 0.40-0.60 หมายถึง ยากง่ายปานกลาง

ค่าความยากง่าย 0.20-0.39 หมายถึง ค่อนข้างยาก

ค่าความยากง่าย 0.00-0.19 หมายถึง ยากมาก

ตาราง 7 ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนก ของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน

ข้อที่	p	r	การพิจารณา	ข้อที่เลือกใช้
1	0.53	-.44	ยากง่ายปานกลาง จำแนกไม่ได้	
2	0.78	.44	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
3	0.77	.34	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	
4	0.67	.34	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	
5	0.73	.47	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
6	0.77	.22	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	
7	0.72	.50	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
8	0.59	.81	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	√
9	0.70	.47	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
10	0.75	.50	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
11	0.78	.44	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
12	0.72	.31	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	
13	0.77	.41	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
14	0.80	.41	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√

ตาราง 7 (ต่อ)

ข้อที่	p	r	การพิจารณา	ข้อที่เลือกใช้
15	0.50	.81	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	√
16	0.73	.53	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	√
17	0.63	.31	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	
18	0.45	.16	ยากง่ายปานกลาง จำแนกไม่ได้	
19	0.36	.53	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
20	0.44	.63	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	√
21	0.17	-.22	ยากมาก จำแนกไม่ได้	
22	0.58	.28	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	
23	0.31	.31	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
24	0.38	.25	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
25	0.30	.16	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
26	0.33	.22	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
27	0.31	.38	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
28	0.14	.16	ยากมาก จำแนกไม่ได้	
29	0.22	.13	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
30	0.53	.38	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	
31	0.61	.03	ค่อนข้างง่าย จำแนกไม่ได้	
32	0.23	.03	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
33	0.50	.63	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	√
34	0.27	.53	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	√
35	0.36	.53	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
36	0.45	.66	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	

ตาราง 7 (ต่อ)

ข้อที่	p	r	การพิจารณา	ข้อที่เลือกใช้
37	0.61	.47	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	
38	0.39	.53	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
39	0.30	.09	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
40	0.67	.28	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	
41	0.22	.25	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
42	0.27	.09	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
43	0.50	.50	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	
44	0.28	.25	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	
45	0.48	.53	ยากง่ายปานกลาง จำแนกได้	√

จากการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยใช้โปรแกรม IBM SPSSS Statistics 26

จากการนำคะแนนหลังเรียนจากการวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันของนักเรียน จำนวน 30 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน มาทำการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบการคิดอย่างเป็นระบบ จำนวน 15 ข้อ ได้ดังนี้

Reliability

Scale: ALL VARIABLES

Case Processing Summary

		N	%
Cases	Valid	30	100.0
	Excluded[a]	0	.0
	Total	30	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.935	15

ภาพประกอบ 2 การวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชัน โดยใช้โปรแกรม IBM SPSSS Statistics 26

ภาคผนวก ฉ

การสังเคราะห์ 4,4'-[1,2- Ethanediylbis nitrilomethylidyne)] bis[1,3-benzenediol] **หรือ** Schiff base-benzene-2,4-diol (L) **หรือลิแกนด์** L

1. ชั่ง 2,4-Dihydroxybenzaldehyde จำนวน 0.9991 กรัม ละลายในเอทานอล 50 มิลลิลิตร และบรรจุลงในขวดก้นกลมพร้อมทั้งใส่ Magnetic Stirrer Bar

2. เปิดเครื่อง Magnetic Stirrer ให้ทำงาน จากนั้นค่อย ๆ หยดสารละลายที่เตรียมจาก Ethylenediamine จำนวน 0.2172 กรัม มาละลายในเอทานอลปริมาตร 5 ml จนหมด และให้เครื่อง Magnetic Stirrer ให้ทำงานจนครบ 1 ชั่วโมง

3. ในสารละลายจะมีตะกอนสีเหลืองเกิดขึ้น นำสารละลายดังกล่าวมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และล้างตะกอนด้วยเอทานอลเย็นปริมาตร 50 ml และเก็บตะกอนไว้ในโถดูดความชื้น

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นันท์นภัส วิรัตน์ภัทธิรากร
วัน เดือน ปี เกิด	13 เมษายน 2535
สถานที่เกิด	สกลนคร
วุฒิการศึกษา	การศึกษาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์-เคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ