การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง บิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb)

DEVELOPING PERSPECTIVES ON THE NATURE OF SCIENCE FOR JUNIOR HIGH SCHOOL STUDENTS THROUGH INNOVATIVE EARNING OF OPTICAL PROPERTIES OF ANTIMONY (Sb) – DOPED BISMUTH TELLURIDE (Bi_2Te_3) THIN FILMS

ศรัณย์ แก้วจา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb)

ผู้วิจัย ศรัณย์ แก้วจา

สาขาวิชา การสอนวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพัฒน์ ชัยวร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร.ชเนษฎ์ วิชาศิลป์

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อัฐสิษฐ์ ทับทิมแท้)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพัฒน์ ชัยวร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชเนษฎ์ วิชาศิลป์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ โชติกเดชาณรงค์)
วันที่ 8 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2567

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb)

ผู้วิจัย : ศรัณย์ แก้วจา

สาขาวิชา : การสอนวิทยาศาสตร์

กลุ่มวิชา : วิทยาศาสตร์ทั่วไป

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพัฒน์ ชัยวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

: อาจารย์ ดร.ชเนษฎ์ วิชาศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยใช้ด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 3 จำนวน 15 คน ซึ่งทำการเก็บข้อมูลจากแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการเรียนรู้ ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางร่วมกันระหว่างบิสมัทเทลลูไรด์และแอนติโมนีไตรคลอไรด์โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) และประเมินก่อนและหลังเรียนโดยใช้แบบวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของการใช้นวัตกรรมการเรียนรู้พบว่า นักเรียนมีมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แต่ละประเด็น อยู่ในเกณฑ์มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์มากที่สุด คือ ด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (ร้อยละ 60) นักเรียนส่วนใหญ่ให้ความเห็นในเชิงว่า การได้มาซึ่งองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีการทดลองเท่านั้น ด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (ร้อยละ 40) และด้านอิทธิพลของสังคมและวัฒนธรรมที่มีต่อวิทยาศาสตร์ (ร้อยละ 40) ตามลำดับ และประเด็นที่นักเรียนมีความเข้าใจสอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์มากที่สุด คือ ด้านความคิดสร้างสรรค์และจิตนาการในวิทยาศาสตร์ (ร้อยละ 73.33) นอกจากนี้นักเรียนยังมีผล การพัฒนาการเรียนรู้ของการใช้ชุดกิจกรรมหลังเรียนสูงกว่า ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้น จากผลการวิจัย

จึงแนะนำให้ครูทำการจัดการเรียนการสอนโดย บูรณาการเข้ากับมุมมอง ธรรมชาติวิทยาศาสตร์ เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ต่อไป

คำสำคัญ : มุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์, นวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง, การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

The Title : Developing Perspectives on the Nature of Science for Junior High School Students Through Innovative Learning of Optical Properties of Antimony (Sb) – doped Bismuth telluride (Bi_2Te_3) Thin Films

The Author : Sarun Kaewja

Program : Science Teaching

Study Field : General Science

Thesis Advisors

: Assistant Professor Dr. Panupat Chaiworn Advisor

: Dr. Chanade Wichasilp Co – advisor

ABSTRACT

This research aimed to develop a perspective on the nature of science by using an innovative learning set on the optical properties of Antimony (Sb) – doped Bismuth telluride (Bi_2Te_3) Thin Films. The study sample was made up of elementary school students. 15 Mathayom 3 students collected data from the nature of science and innovation perspective test. Learning a set of optical properties of thin films shared between bismuth telluride and antimony trichloride using a process. Organizing inquiry-based learning (5Es) and evaluating before and after learning using the perspective scale on the nature of science. of using learning innovations found that students had different perspectives on the nature of science. Among the criteria for views that were most inconsistent with the consensus of the scientific community is the myth of the scientific method (60%). Most students gave their opinions in the sense that the acquisition of scientific knowledge requires only experimentation. The aspect of being influenced by scientific knowledge and theories (40%) and the aspect of the influence of society and culture on science (40%), respectively, and the issues that students understand were most consistent with the consensus of the scientific community. namely creativity and imagination in science (73.33%). In addition, students also had the learning development of using activity sets after class was higher than

before class, with statistical significance at the .0 5 level. Therefore, based on the results of the research, it was recommended that teachers organize teaching and learning by integrating their perspectives. natural science to further develop scientific learning

Keywords : Perspectives on the Nature of Science, Innovative Learning of Optical Properties, Inquiry-Based Learning (5Es)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพัฒน์ ชัยวร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.ชเนษฎ์ วิชาศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ข้อคิดเห็นในการทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อัฐสิษฐ์ ทับทิมแท้ ประธานกรรมการสอบและเป็นที่ปรึกษาในการทำวิจัยร่วมด้วยจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และให้ความอนุเคราะห์ในการยืมอุปกรณ์ตลอดจนสำเร็จ ลุล่วง ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่คือห้องปฏิบัติการทางด้านฟิสิกส์ ห้องปฏิบัติการทางด้านเคมี เพื่อใช้ในการทดลอง โรงเรียนบ้านแม่ตูบ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ทดลองงานวิจัยกับห้องเรียน กลุ่มทดลองและกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอน และขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

การศึกษาครั้งนี้จะสำเร็จไม่ได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุนและกำลังใจอันดีจากครอบครัวผู้วิจัย ตลอดจนผู้เขียนหนังสือและบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

ศรัณย์ แก้วจา

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		**ข**
ABSTRACT		**ง**
กิตติกรรมประกาศ		**ฉ**
สารบัญ		**ช**
สารบัญตาราง		**ฌ**
สารบัญภาพ		**ญ**
บทที่		
1	**บทนำ**	**1**
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ	4
	กรอบแนวคิดการวิจัย	5
2	**การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง**	**7**
	ฟิล์มบาง	8
	การศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบาง	13
	ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์	22
	มุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์	28
	การวัดความเข้าใจมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์	31
	การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)	33
	คลื่นและแสง	50
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	55
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	**60**
	รูปแบบการวิจัย	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	62
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	61
การเก็บรวบรวมข้อมูล	70
การวิเคราะห์ข้อมูล	71
สถิติที่ใช้ในการวิจัย	71
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	**75**
ตอนที่ 1 ผลการสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb	75
ตอนที่ 2 ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb	80
ตอนที่ 3 ผลการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb	85
5 สรุป อภิปรายผล ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ	**89**
สรุปผลการวิจัย	89
อภิปรายผล	90
ข้อจำกัด	93
ข้อเสนอแนะ	93
บรรณานุกรม	**94**
ภาคผนวก	**97**
ภาคผนวก ก แบบวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์	98
ภาคผนวก ข ตารางวิเคราะห์แบบวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์	101
ประวัติผู้วิจัย	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es).....	43
2.2	บรรยากาศในการจัดการเรียนเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es).....	47
2.3	ตารางตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางที่เกี่ยวกับคลื่นและแสง ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น.....	52
3.1	รูปแบบการวิจัยแบบ The One-Group Pretest-Posttest Design.....	60
3.2	จำนวนโรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่.....	61
4.1	ผลการวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3……..	85
4.2	ผลการวิเคราะห์การทำแบบทดสอบก่อนและหลังการใช้ชุดกิจกรรม เรื่อง คุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง (คะแนนเต็ม 15 คะแนน).....	88
5.1	ตารางเปรียบเทียบผลการวิจัย.....	91

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดการวิจัยระยะที่ 1 และ 2	5
1.2	กรอบแนวคิดการวิจัยระยะที่ 3	6
2.1	อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ.....	11
2.2	ระบบเคลือบแบบ ดีซี สปัตเตอริง.....	12
2.3	ผลของความดันในระบบที่มีผลต่ออัตราเคลือบ ค่ายีลด์และกระแสไฟฟ้าในระบบสปัตเตอริง ของนิเกิลที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 โวลต์ ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดที่วางห่างกัน 4.5 เซนติเมตร…….....	12
2.4	แสดงหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่อง UV-Visible spectrophotometer.....	14
2.5	องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Electron Microscope.....	16
2.6	การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอะตอมตัวอย่าง.....	16
2.7	การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่างที่ระดับชั้นความลึกต่าง ๆ	17
2.8	การลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้นต่าง ๆ มายังชั้น K ซึ่งเส้นทึบเป็นไปตามกฎการเลือกและเส้นประไม่เป็นไปตามกฎการเลือก.....	19
2.9	เงื่อนไขการเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตามสมการของแบรกก์.....	21
2.10	วิธี Theta-2Theta ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ การจัดวางตัวอย่างเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์และอุปกรณ์ตรวจวัด.....	22
2.11	แสดงการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es).....	39
3.1	แสดงขั้นตอนการทำความสะอาดกระจกสไลด์.....	64
3.2	ขั้นตอนการเตรียม ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb…….....	65
3.3	การเคลือบด้วยวิธีการตกสะสมเชิงเคมี.....	66
4.1	ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน…….....	75
4.2	ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวด้านบนของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน……..……..	76
4.3	ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวด้านข้างของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน……..……..	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.4	กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิครังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDX or EDS) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน……	78
4.5	กราฟแสดงโครงสร้างวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction : XRD) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้น Sb ต่างกัน…….	79
4.6	กราฟแสดงค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน……..	80
4.7	กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสง (Absorptance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน……..	81
4.8	กราฟแสดงค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน……..	82
4.9	ภาพแสดงค่าช่องว่างพลังงาน (Energy gap ; E_g) ของการสะท้อนแสง (Reflectance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้น Sb ต่างกัน	84

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วัสดุชาโคจีไนด์ เป็นชื่อเรียกของสารประกอบของธาตุในกลุ่มคาลโคเจนส์ (Chalcogens) อันประกอบด้วยกำมะถัน (S) ซีลีเนียม (Se) และเทลลูเรียม (Te) ที่รวมกับธาตุอื่น ๆ เช่น เจอร์เมเนียม (Ge) และสารหนู (As) ได้รับความสนใจอย่างมาก โดยมีการใช้งานที่หลากหลาย เช่น เครื่องตรวจจับแสง เซลล์โฟโตอิเล็กโทรเคมี และการใช้งานในด้านออปโตอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ (Elahi, Taghizadeh, Hadizadeh, & Dejam, 2014) ชาโคจีไนด์ที่ได้จากบิสมัท (Bi) เช่น บิสมัสเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างระหว่างแถบพลังงานต่ำ มีโครงสร้างไม่สมมาตร (Adam et al., 2021) จากการทดลองคุณสมบัติเชิงแสงแสดงให้เห็นว่าบิสมัสเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เป็นวัสดุที่มีลักษณะพื้นผิวเหมือนโลหะและยังมีความสำคัญทางเทคโนโลยี เป็นวัสดุที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานออปโตอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต มีแนวโน้มสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควอนตัมและเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ฟิล์มบาง (Lawal, Shaari, Ahmed, & Jarkoni, 2017)

งานวิจัยนี้จะอธิบายถึงการสังเคราะห์และการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb) โดยตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสง เช่น การวิเคราะห์ X-ray diffraction (XRD) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS-NIR) เป็นต้น ในการสังเคราะห์และการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสงนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับคลื่นและแสงได้

ในธรรมชาติของการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ช่วยให้นักเรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ผ่านการทดลอง เพื่ออธิบาย ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน จากการแสวงหาความรู้ได้ด้วยตนเอง สำหรับประเทศไทยได้ให้ความสำคัญธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ซึ่งปรากฏในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) โดยกำหนดให้เป็นเป้าหมายของวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เข้าใจขอบเขตของธรรมชาติของวิชาวิทยาศาสตร์และข้อจำกัดในการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

จากผลการประเมินของ PISA พบว่าเด็กไทยมีทักษะทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐาน จากข้อมูลพบว่าสาเหตุที่ระดับการรู้วิทยาศาสตร์ของเด็กไทยอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานนั้นสาเหตุหนึ่งมาจากสภาพการจัดการเรียนรู้ที่ไม่ส่งเสริมต่อความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2564) เพื่อเป็นการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพ ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในตัวผู้เรียนให้มากยิ่งขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb แล้วนำองค์ความรู้ที่ได้มาพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยการจัดการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับคลื่นและแสง และจัดทำแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงมาจากแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Views of Nature of Science Questionnaire Form C ,VNOS–C) ของเลเดอร์แมนและคณะ (Lederman, Khalick, Bell, & Schwartz, 2002 อ้างถึงใน กรวรรณ จินาเดช, 2562) โดยการทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้ และหลังการจัดการเรียนรู้ จากแบบสอบถามและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าร้อยละจำแนกตามมุมมอง 4 ด้าน คือ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ และมุมมองที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb
2. เพื่อวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb
2. ได้ทราบถึงคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb
3. ได้นวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb สำหรับพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงใหม่ เขต 5 จำนวน 6 โรงเรียน เป็นนักเรียนชาย จำนวน 41 คน เป็นนักเรียนหญิง จำนวน 62 คน รวมจำนวนทั้งหมด 103 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนบ้านแม่ตูบ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา เชียงใหม่ เขต 5 เป็นนักเรียนชาย จำนวน 6 คน เป็นนักเรียนหญิง จำนวน 9 คน รวมจำนวนทั้งหมด 15 คน ที่ได้มาโดยการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้โรงเรียนเป็นหน่วยสุ่ม

ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิจัย เรื่องการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ครั้งนี้ เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย การสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb เช่น การวิเคราะห์ X-ray diffraction (XRD) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS-NIR) เป็นต้น การวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และเนื้อหาสำหรับการจัดการเรียนการสอน เรื่อง คลื่นและแสง รายวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

ขอบเขตด้านเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 60 นาที

ขอบเขตด้านสถานที่

1. โรงเรียนบ้านแม่ตูบ อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่
2. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ขอบเขตด้านตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น (Independent Variable) ได้แก่ มุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยใช้องค์ความรู้จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ทั้ง 8 ด้าน ได้แก่ ด้านหลักฐานเชิงประจักษ์ด้านการสังเกตและการลงความเห็น

ด้านกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ด้านความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการในวิทยาศาสตร์ ด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ด้านอิทธิพลของสังคมและวัฒนธรรมที่มีต่อวิทยาศาสตร์ ด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ และด้านความเป็นพลวัตของความรู้ทางวิทยาศาสตร์

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่ มุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยใช้องค์ความรู้จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ทั้ง 4 มุมมอง ได้แก่ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ และมุมมองที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ หมายถึง การพัฒนาความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และความคิดเห็นของนักเรียน ในการอธิบายสิ่งที่เกี่ยวข้องกับประเด็นของวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การสังเกตและการลงข้อสรุป ซึ่งสามารถวัดได้จากแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

2. แบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ หมายถึง เครื่องมือที่วัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาปรับปรุงมาจาก VNOS – C ของเลเดอร์แมน และคณะ (Lederman, Khalick, Bell, & Schwartz, 2002 อ้างถึงใน กรวรรณ จินาเดช, 2562) โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยนมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ และมุมมองที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น หมายถึง นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา เชียงใหม่ เขต 5

4. คุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb หมายถึง การวิเคราะห์ X-ray diffraction (XRD) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS-NIR) เป็นต้น

กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัย เรื่องการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้วางแผนการดำเนินงานและแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ระยะดังนี้

ระยะที่ 1 การสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ระยะที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

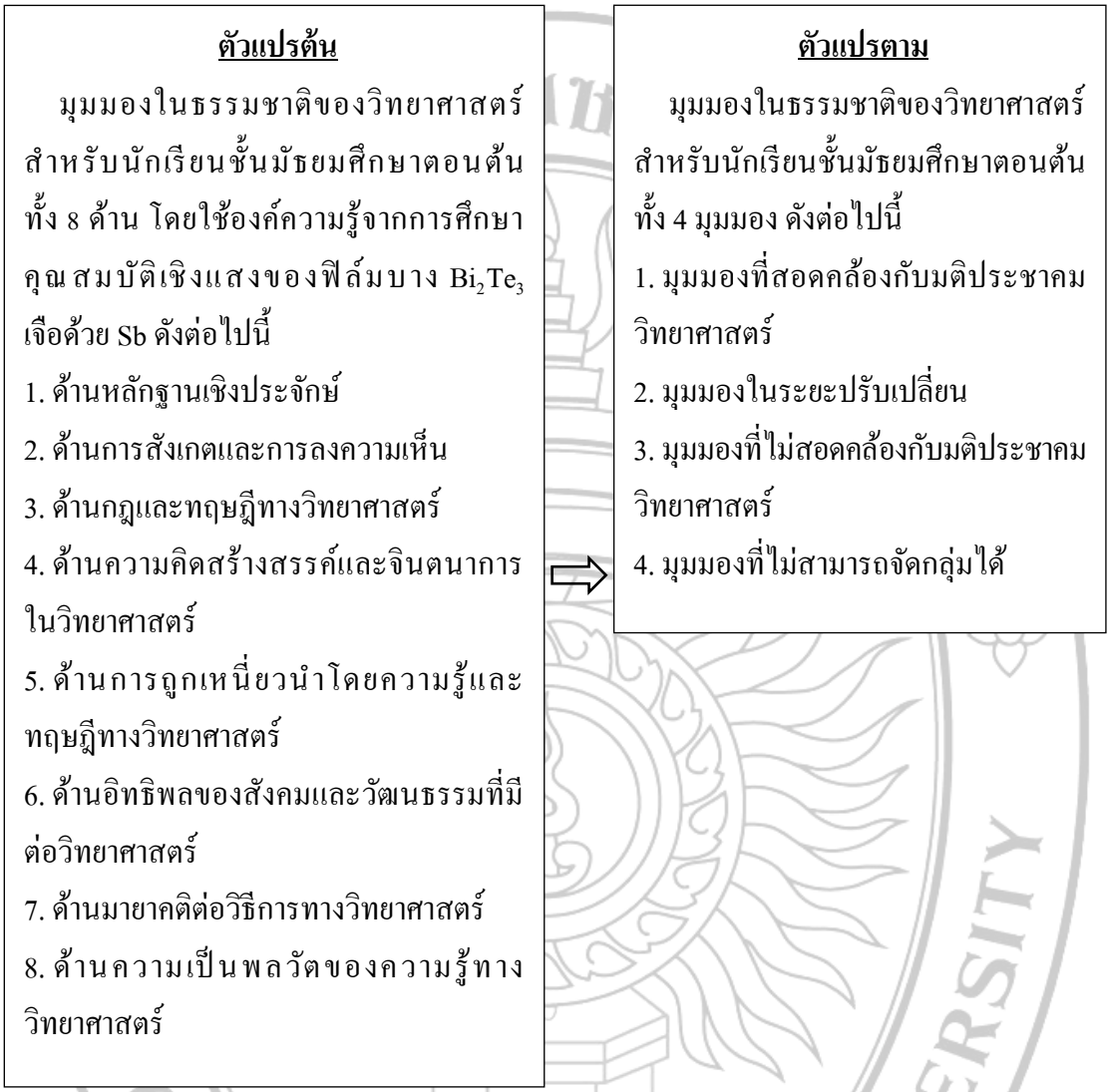
ระยะที่ 3 การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ซึ่งมีกรอบแนวคิดการวิจัย ดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 และ **ระยะที่ 2** การสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการวิจัยระยะที่ 1 และ 2

ระยะที่ 3 การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb



ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดในการวิจัยระยะที่ 3

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb) ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อนำแนวคิดทฤษฎีมาสนับสนุนการวิจัยสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ ดังนี้

1. ฟิล์มบาง
   1.1 นิยามของฟิล์มบาง
   1.2 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง
   1.3 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริง
   1.4 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธี ดีซี สปัตเตอริง
   1.5 การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีตกสะสมเชิงเคมี
2. การศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบาง
   2.1 การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงตามทฤษฎี UV-Visible Spectrophotometer
   2.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)
   2.3 การศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิครังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDX or EDS)
   2.4 การศึกษาโครงสร้างวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)
3. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์
   3.1 ความหมายธรรมชาติของวิทยาศาสตร์
   3.2 ขอบเขตธรรมชาติของวิทยาศาสตร์
   3.3 บทบาทและลักษณะทางวิทยาศาสตร์ของวิทยาศาสตร์ศึกษา
4. มุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์
   4.1 มุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบดั้งเดิม

4.2 มุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบร่วมสมัย

5. การวัดความเข้าใจมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

5.1 มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม A (Views of Nature of Science Questionnaire Form A: VNOS – Form A)

5.2 มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม B (Views of Nature of Science Questionnaire Form B: VNOS – Form B)

5.3 มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม C (Views of Nature of Science Questionnaire Form C: VNOS – Form C)

5.4 มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม D (Views of Nature of Science Questionnaire Form D: VNOS – Form D)

5.5 มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม E (Views of Nature of Science Questionnaire Form E: VNOS – Form E)

6. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

6.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

6.2 รูปแบบของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

6.3 จิตวิทยาที่เป็นพื้นฐานในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

6.4 ขั้นตอนและบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

6.5 ข้อดีและประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

7. คลื่นและแสง

7.1 มาตรฐานและตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและแสงตามหลักสูตร แกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

8.1 งานวิจัยในประเทศ

8.2 งานวิจัยต่างประเทศ

ฟิล์มบาง

1. นิยามของฟิล์มบาง

การเคลือบฟิล์มบาง (Thin Film) ในสุญญากาศครั้งแรกทำโดย Bunsen และ Grove ในปี ค.ศ. 1852 โดยพื้นฐานแล้วแนวคิดเกี่ยวกับการเคลือบในสุญญากาศหรือการเคลือบฟิล์มบาง คือ การเรียงตัวโดยการตกเคลือบของสารเคลือบในลักษณะอะตอมเดี่ยวบนวัสดุรองรับจนเกิดเป็น

ชั้นฟิล์มที่บาง ในระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร จึงอาจกล่าวได้ว่า “ฟิล์มบาง (Thin Film) คือ ชั้นของอะตอมหรือกลุ่ม ของอะตอมที่จับรวมตัวกันเป็นชั้นบาง ๆ” การระบุว่าฟิล์มใดเป็น “ฟิล์มบาง” นั้นอาจพิจารณาได้จากลักษณะการใช้งานว่าใช้สมบัติด้านใดของฟิล์ม กล่าวคือ ถ้าเป็นการใช้สมบัติเชิงผิว (Surface Properties) เรียกว่า “ฟิล์มบาง” แต่ถ้าเป็นการใช้สมบัติเชิงปริมาตร (Bulk Properties) จะเรียกว่า “ฟิล์มหนา” จะเห็นว่า ฟิล์มเดียวกันนั้นอาจเป็นทั้ง “ฟิล์มบาง” หรือ “ฟิล์มหนา” ก็ได้ขึ้นกับลักษณะการใช้งานเป็นสำคัญ (Bunshah, 1994)

2. กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง

การเคลือบฟิล์มบางเป็นกระบวนการที่ทำให้สารเคลือบตกเคลือบลงบนผิววัสดุรองรับที่ต้องการ ซึ่งสามารถทำได้ทั้งกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางฟิสิกส์ โดยพื้นฐานแล้วกระบวนการเคลือบฟิล์มบางมีขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน (Smith, 1995) ดังนี้ คือ

2.1 การสร้างสารเคลือบ (Source) โดยทั่วไปแล้วสารเคลือบอาจอยู่ในรูปของของแข็ง ของเหลว ไอหรือแก๊สก็ได้ แต่สารเคลือบขณะทำการเคลือบนั้นจำเป็นต้องอยู่ในรูปของไอระเหย เท่านั้น ซึ่งวิธีการที่ทำให้สารเคลือบกลายเป็นไอระเหยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การให้ความร้อน หรือการระดมยิงด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง เป็นต้น

2.2 การเคลื่อนย้ายสารเคลือบมายังวัสดุรองรับ (Transport) ในภาวะสุญญากาศ ไอระเหยของ สารเคลือบอาจจะมีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ไปยังวัสดุรองรับหรืออาจจะเคลื่อนที่ไปในลักษณะของไหล ซึ่งจะทำให้ไอระเหยของสารเคลือบมีการชนกับอนุภาคอื่นภายในภาชนะสุญญากาศ นอกจากนี้ไอระเหยอาจจะเคลื่อนที่ไปยังวัสดุรองรับในลักษณะของพลาสมาก็ได้

2.3 การควบแน่น (Deposition) เป็นการพอกพูนและโตขึ้นจนกลายเป็นชั้นฟิล์มบางบนวัสดุ รองรับส่วนของการควบแน่นและพอกพูนของชั้นฟิล์มบางนั้น จะขึ้นกับเงื่อนไขของวัสดุรองรับหรือ การทำปฏิกิริยาของสารเคลือบกับวัสดุรองรับ ความสะอาดของผิววัสดุรองรับตลอดจนพลังงานที่ใช้ ในการเคลือบ

3. การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริง

การเคลือบด้วยวิธีสปัตเตอริง เป็นกระบวนการพอกพูนของชั้นฟิล์มบางที่เกิดจากสารเคลือบที่ได้จากกระบวนการสปัตเตอร์ การเคลือบด้วยวิธีนี้เกิดขึ้นเมื่ออะตอมของสารเคลือบที่ได้จากกระบวนการสปัตเตอร์วิ่งเข้าชนวัสดุรองรับและมีการพอกพูนเกิดเป็นฟิล์มบางในที่สุด กระบวนการสปัตเตอริงคือการทำให้อะตอมหลุดจากผิวของวัสดุโดยการชนของอนุภาคพลังงานสูง แล้วมีการแลกเปลี่ยนพลังงานและโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมที่ผิวสารเคลือบ โดยอนุภาคที่วิ่งเข้าชนอาจเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือมีประจุก็ได้ (Chapman & Vossen, 1981) สำหรับ

แนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการสปัตเตอริงของอันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ เมื่อวิ่งชนผิวหน้าวัสดุจะเกิดปรากฏการณ์ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ดังนี้

3.1 การสะท้อนที่ผิวหน้าของไอออน (Reflected Ion and Neutral) ไอออนอาจสะท้อนกลับจากผิวหน้าซึ่งส่วนใหญ่จะสะท้อนออกมาในรูปของอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้าอันเกิดจากการรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ผิวเป้าสารเคลือบ

3.2 การปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สอง (Secondary Electron Emission) จากการชนของไอออนอาจทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สองจากเป้าสารเคลือบถ้าไอออนนั้นมีพลังงานสูงพอ

3.3 การฝังตัวของไอออน (Ion Implantation) ไอออนที่วิ่งชนเป้าสารเคลือบนั้นอาจฝังตัวลงในสารเคลือบโดยความลึกของการฝังตัวจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานไอออน ซึ่งมีค่า 10 อังสตรอมต่อพลังงานไอออน 1 keV สำหรับไอออนของแก๊สอาร์กอนที่ฝังตัวในทองแดง

3.4 การเปลี่ยนโครงสร้างของผิวสารเคลือบ (Target Material Structural Rearrangements) การชนของไอออนบนผิวสารเคลือบทำให้เกิดการเรียงตัวของอะตอมที่ผิวสารเคลือบใหม่และเกิดความบกพร่องของผลึก (Lattice Defect) โดยเรียกการจัดตัวใหม่ของโครงสร้างผิวหน้านี้ว่า Altered Surface Layer

3.5 การสปัตเตอร์ (Sputter) การชนของไอออนอาจทำให้เกิดกระบวนการชนกันแบบต่อเนื่องระหว่างอะตอมของเป้าอันทำให้เกิดการปลดปล่อยอะตอมจากเป้าสารเคลือบซึ่งเรียกว่า กระบวนการสปัตเตอริง

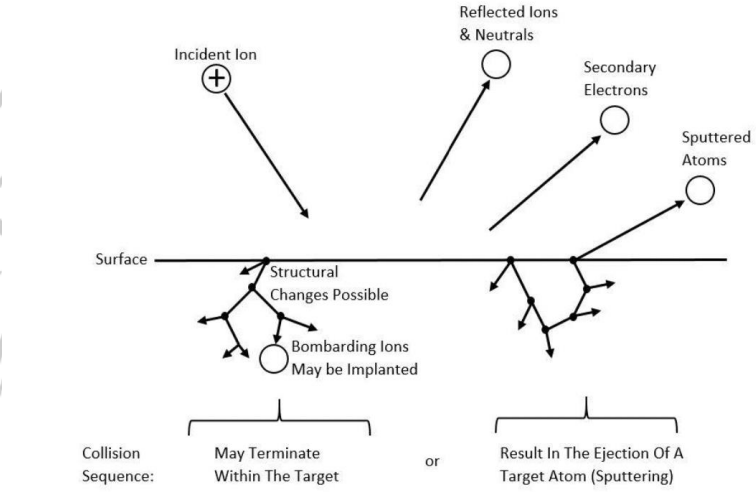
กระบวนการสปัตเตอริง เป็นกระบวนการที่อะตอมผิวหน้าของวัสดุถูกทำให้หลุดออกมาด้วยการชนของอนุภาคพลังงานสูง โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงานและโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมที่ผิววัสดุดังกล่าว กระบวนการนี้อนุภาคที่วิ่งเข้าชนอาจเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือมีประจุก็ได้ ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นในกระบวนการสปัตเตอริง คือ

1) เป้าสารเคลือบ ทำหน้าที่เป็นเป้าให้อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนจนมีการปลดปล่อยอะตอมของสารเคลือบลงเคลือบบนวัสดุรองรับ

2) อนุภาคพลังงานสูง ซึ่งวิ่งชนเป้าสารเคลือบแล้วทำให้อะตอมของเป้าสารเคลือบหลุดออกมา ปกติอนุภาคพลังงานสูงนี้อาจเป็นกลางทางไฟฟ้า เช่น นิวตรอนหรืออะตอมของธาตุต่าง ๆ วิธีการหนึ่งที่นิยมคือการเร่งอนุภาคประจุภายใต้สนามไฟฟ้า ทำให้อัตราการปลดปล่อยเป้าสารเคลือบสูงเพียงพอกับความต้องการ

3) การผลิตอนุภาคพลังงานสูง อนุภาคพลังงานสูงในระบบสปัตเตอริงนี้จะต้องถูกผลิตขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการเคลือบสารเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องจนได้ความหนา

ของฟิล์มบางตามต้องการ ทั้งนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ลำอนุภาคจากปืนไอออนที่มีปริมาณการผลิตไอออนในอัตราสูงหรือผลิตจากกระบวนการโกลว์ดิสชาร์จ เนื่องจากปืนไอออนมีราคาค่อนข้างสูงและให้ไอออนในพื้นที่แคบ ทำให้กระบวนการสปัตเตอริงทั่วไปในระดับอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้กระบวนการโกลว์ดิสชาร์จในการผลิตอนุภาคพลังงานสูง



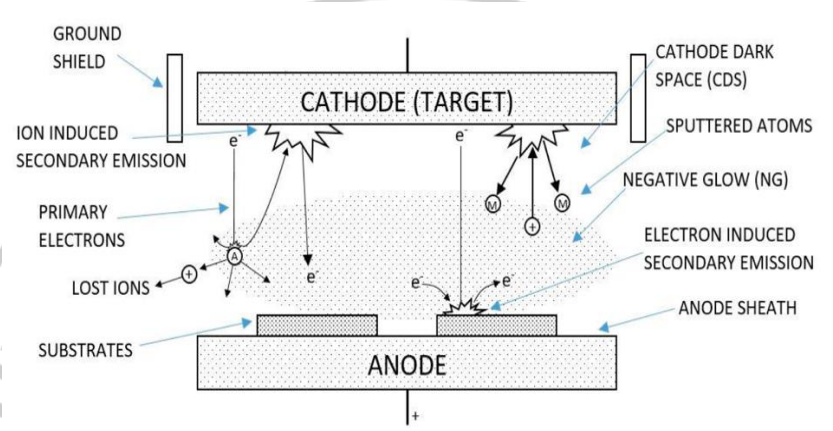
ภาพที่ 2.1 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ

(Chapman & Vossen, 1981)

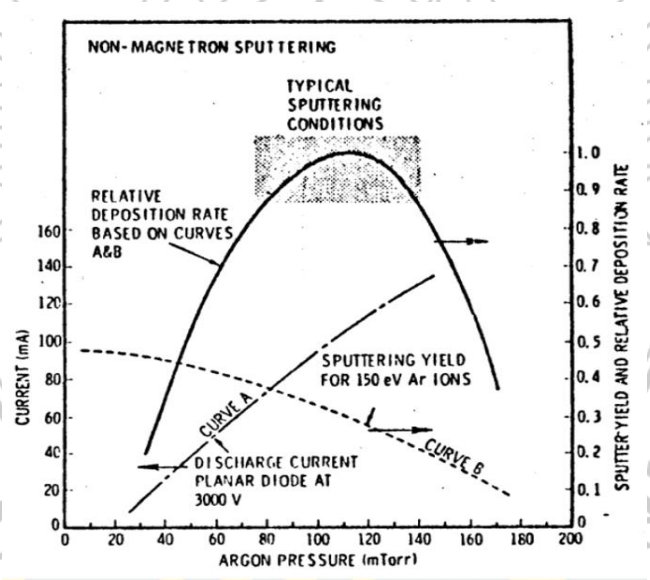
4. การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธี ดีซี สปัตเตอริง

ภาพที่ 2.2 แสดงระบบเคลือบแบบ ดีซี สปัตเตอริง อย่างง่ายที่สุดประกอบด้วยขั้วคาโทด คือ แผ่นเป้าสารเคลือบและขั้วอาโนด คือที่วางวัสดุรองรับหรือชิ้นงานที่ต้องการเคลือบ ปกติระยะระหว่าง คาโทดและวัสดุจะอยู่ระหว่าง 4 - 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการสูญเสียอะตอมสารเคลือบที่ผนังของภาชนะสุญญากาศ โดยทั่วไประยะดาร์คสเปซ อยู่ระหว่าง 1 - 4 เซนติเมตร โดยอาโนดจะอยู่บริเวณเนกาทีฟโกลว์ ส่วนอุปกรณ์ทำงานจะอยู่ในช่วงแอบนอร์มอลโกลว์ดิสชาร์จ แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สเฉื่อยซึ่งให้ ยีลด์สูงและไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคลือบ (ปกติใช้แก๊สอาร์กอน) ขณะเกิดโกลว์ดิสชาร์จที่ความดันค่าหนึ่ง กระบวนการไอออไนเซชั่นจะรักษาสภาพโกลว์ดิสชาร์จไว้ตราบที่ระยะดาร์คสเปซไม่มากกว่าระยะระหว่างคาโทดและอาโนด เมื่อความดันลดลงหรือแรงดันไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดสูงขึ้นระยะปลอดการชนของอิเล็กตรอนจะสูงขึ้น ทำให้ระยะดาร์คสเปซขยายตัวออกและแหล่งผลิตไอออนในระบบมีปริมาตรน้อย กระแสไฟฟ้าลดลง และอะตอมที่ถูกสปัตเตอร์มีปริมาณลดลงตามปริมาณของ ไอออนและกระแสไฟฟ้าในระบบ ที่ความดันต่ำกว่า 10^{-2} mbar ระยะดาร์คสเปซจะยาวกว่าระยะระหว่างอิเล็กโตรดและกระแสไฟฟ้า

ลดลงสู่ศูนย์ทำให้กระบวนการผลิตไอออนสิ้นสุดลงและไม่มีอะตอมหลุดออกจากเป้าสารเคลือบเนื่องจากการสปัตเตอร์อีก (Bunshah, 1994; Smith, 1995)



ภาพที่ 2.2 ระบบเคลือบแบบ ดีซี สปัตเตอริง (Bunshah, 1994)



ภาพที่ 2.3 ผลของความดันในระบบที่มีผลต่ออัตราเคลือบ ค่ายีลด์และกระแสไฟฟ้าในระบบสปัตเตอริงของนิเกิลที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 โวลต์ ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดที่วางห่างกัน 4.5 เซนติเมตร (Kern & Vossen, 1978)

ขณะที่ความดันสูงขึ้นระยะดาร์คสเปซจะหดสั้นลงบริเวณการผลิตไอออนมีปริมาตรสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเพิ่มขึ้นและกระบวนการสปัตเตอริงเกิดขึ้นในอัตราสูงตามความดัน ดังภาพที่ 3 เส้นกราฟ A ขณะที่ความดันภายในระบบสูงขึ้นระยะปลอดการชนระหว่างโมเลกุลของแก๊สมีค่าลดลง อะตอมสารเคลือบที่หลุดออกจากเป้าจะส่งผ่านไปเคลือบบนวัสดุรองรับได้ยาก จากการชนกับโมเลกุลของแก๊สและสะท้อนกลับสู่เป้าสารเคลือบหรือสูญเสียสู่ผนังภาชนะสุญญากาศทำให้ค่าของยีลด์จากการสปัตเตอร์มีค่าลดลง แต่เมื่อความดันสูงขึ้น ดังภาพที่ 3 เส้นกราฟ B ผลรวมระหว่างยีลด์และกระแสไอออนจะทำให้อัตราการเคลือบมีค่าสูงสุดที่ความดันค่าหนึ่งทั้งนี้พบว่าการสปัตเตอร์นิเกิลเมื่อใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 V ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดที่วางห่างกัน 4.5 cm ในแก๊สอาร์กอน การเคลือบจะหยุดที่ความดันมีค่าต่ำกว่า 2.6×10^{-4} mbar และที่ความดันสูงกว่า 1.6×10^{-5} mbar โดยอัตราเคลือบจะมีค่าสูงสุดและลดลงเมื่อความดันสูงเกินค่านี้ ดังนั้นบริเวณที่เหมาะสมกับกระบวนการ สปัตเตอริงคือบริเวณที่ให้อัตราเคลือบสูงและประสิทธิภาพดีที่สุด จากภาพที่ 2.3 พบว่าความดันที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบคือ 1.0×10^{-5} mbar ความหนาแน่นกระแสประมาณ 1.0 mA/cm^2 ด้วย อัตราเคลือบ 0.036 nm/min ซึ่งเป็นอัตราเคลือบที่ค่อนข้างต่ำในขณะที่ใช้แรงดันไฟฟ้าค่อนข้างสูง (ลิ้มสุวรรณ & รัตนะ, 2547)

5. การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีตกสะสมเชิงเคมี

การเคลือบด้วยวิธีตกสะสมเชิงเคมี (CBD) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันว่าการขยายตัวของสารละลาย การตกตะกอนแบบควบคุมหรือเรียกง่าย ๆ ว่าการสะสมตัวด้วยสารเคมีเป็นวิธีหนึ่งสำหรับการสะสมของฟิล์มบางของโลหะชัลโคเจนไนด์ เป็นการเคลือบฟิล์มด้วยของเหลว ส่วนการสะสมไอเคมีเป็นการเคลือบฟิลม์ด้วยแก๊ส ปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างสารตั้งต้นที่ละลายในสารละลายที่เป็นน้ำที่อุณหภูมิต่ำ (30 – 80°C) (Mane & Lokhande, 2000)

การศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบาง

ลักษณะเฉพาะหรือสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง สามารถหาได้จากวิธีหรือเทคนิคต่าง ๆ หลาย เทคนิค ในงานวิจัยนี้จะศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางด้วยเทคนิคดังต่อไปนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงตามทฤษฎี UV-Visible spectrophotometer

เครื่อง UV-Visible spectrophotometer นั้นเป็นเครื่องมือที่นำเทคนิค UV-Vis spectroscopy ไปใช้งาน สำหรับใช้วัดค่าความเข้มของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนจากชิ้นงานตัวอย่าง จากนั้นจึงเปรียบเทียบความเข้มของแสงระหว่างก่อนผ่านตัวอย่างและหลังผ่านตัวอย่างไปตรวจสอบ โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องมือแสดงดังภาพที่ 2.4 ประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ตัวจับชิ้นงาน (Sample Holder) และอุปกรณ์สำหรับแยกคลื่นแสงหรือเกรตติง

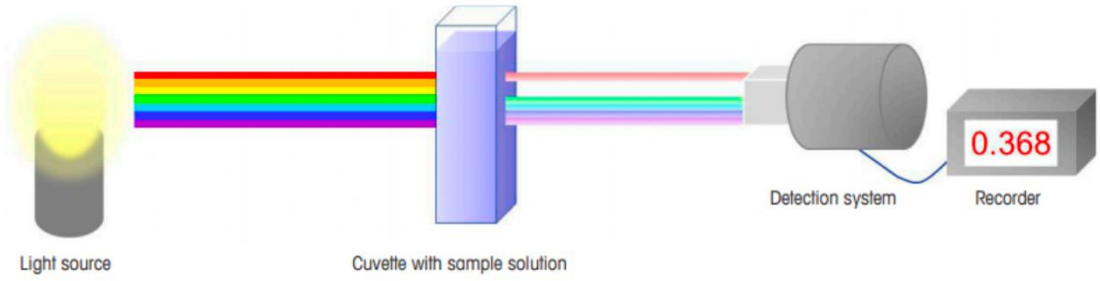
(เช่น Monochromator) และเครื่องตรวจวัด (Detector) ซึ่งการดูดกลืนแสงหรือรังสีจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเลตไปจนถึงแสงที่ตามองเห็น มีความยาวคลื่นโดยประมาณ 185 ถึง 900 นาโนเมตร โดยแสงที่สร้างจากแหล่งกำเนิดต้องมีความคงที่อย่างต่อเนื่อง ส่วนมากจะนิยมใช้ หลอดไฮโดรเจนหรือหลอดดิวทีเรียมซึ่งให้กำเนิดแสงในช่วง 160 ถึง 375 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวี แต่เนื่องจากแสงที่ได้นั้นมีความยาวคลื่นต่าง ๆ จึงต้องกระจายแสงออกโดยใช้เกรตติ้งหรือโมโนโครเมเตอร์เพื่อให้แสงที่ส่งไปยังชิ้นงานตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียว หลังจากนั้นแสงที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวแล้วจะผ่านชิ้นงานตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ ซึ่งมีรูปร่างต่างกันออกไป โดยส่วนมากจะมีรูปแบบเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง 1 เซนติเมตร ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าระยะทางของแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างตามกฎของ Beer-Lambert จากนั้นแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านชิ้นงานตัวอย่างไปยังเครื่องตรวจวัด และเครื่องตรวจวัดจะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ซึ่งผลของสเปกตรัมที่ได้จะแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน การส่งผ่านหรือการสะท้อนของแสงกับค่าความยาวคลื่น โดยสามารถนำผลค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงที่วัดได้ในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเลต แสงตามองเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรด มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน/การส่งผ่านเฉลี่ยได้ด้วยสมการที่ (2.1) ("Basic Statistics,")

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{N} \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\bar{R}$ คือ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การสะท้อน/การส่งผ่านแสง

$\sum R$ คือ ผลรวมของค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อน/การส่งผ่านแสง

N คือ จำนวนความยาวคลื่น



ภาพที่ 2.4 แสดงหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่อง UV-Visible spectrophotometer (METTLER TOLEDO)

2. การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา (2543) ได้อธิบายหลักการทำงานของเครื่องไว้ดังนี้ เทคนิค Scanning Electron Microscope สัญญาณภาพที่ได้เกิดจากการใช้ตัวตรวจวัดอิเล็กตรอน ทุติยภูมิ (Secondary Electron detector: SE detector) มาจับสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดขึ้นหรือใช้ตัวตรวจวัดอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscatter Electron detector; BSE detector) มาจับสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.5

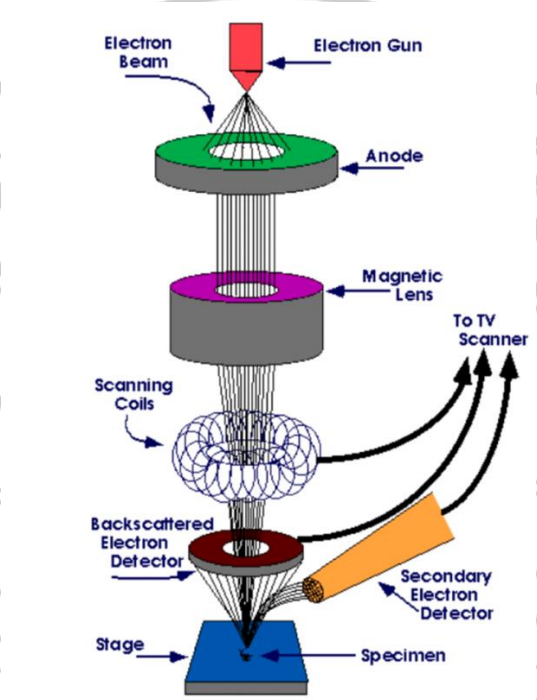
อิเล็กตรอนทุติยภูมิจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูงที่สามารถปรับค่าได้จากนั้นจึงถูกดึงดูดลงสู่เบื้องล่างโดยแผ่นแอโนดภายใต้ภาวะความดันสุญญากาศ 10^{-5} ถึง 10^{-7} torr และมีชุดคอนเดนเซอร์เลนส์ที่จะปรับลำอิเล็กตรอนให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มของลำอิเล็กตรอนจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะวิ่งลงสู่เบื้องล่างผ่านเลนส์วัตถุซึ่งทำหน้าที่ในการปรับลำอิเล็กตรอนทุติยภูมิให้มีจุดโฟกัสบนผิวตัวอย่างพอดีและลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบผิววัสดุหรือตัวอย่าง จะมีขนาดในช่วง 5 ถึง 200 nm โดยมีชุดลวดควบคุมการส่องกราดของลำอิเล็กตรอนทำหน้าที่ ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนบนพื้นผิวตัวอย่างขณะที่ลำอิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่างจะเกิดอันตรกริยาระหว่างอิเล็กตรอนทุติยภูมิกับอะตอมของธาตุในวัตถุหรือตัวอย่างและเกิดการถ่ายโอนพลังงานที่ชั้นความลึกจากพื้นผิวที่ระดับต่าง ๆ ทำให้เกิดการปลดปล่อยสัญญาณ อิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ ออกมา (ภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7) สัญญาณภาพที่ได้จากสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ ที่เกิด คือ

2.1 สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Image: SEI) หรือเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ 3 ถึง 5 eV เกิดที่พื้นผิวระดับไม่ลึกโดยเกิดกับธาตุที่มีแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ผิวต่ำ

2.2 สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscattered Electron Image: BEI) หรือเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานเป็นบางส่วนและกระเจิงกลับออกมา

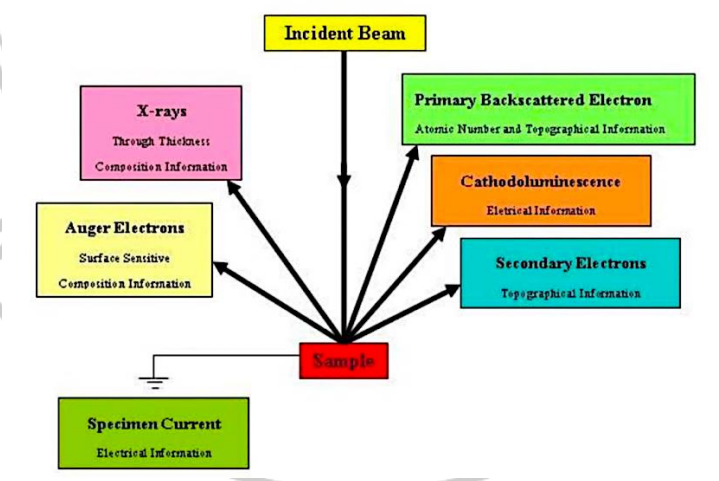
2.3 สัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์ (X-ray Electron Image: XRI) ชนิดที่เป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่าง ๆ (K, L, M,...) ถูกกระตุ้นหรือได้รับ พลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรออกมา ทำให้อะตอมต้องรักษาสมดุลของโครงสร้างรวม ภายในอะตอมโดยการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปมาแทนที่และต้องลดระดับพลังงานภายใน เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ถูกดึงมาแทนที่ระดับพลังงานสูงกว่าโดยการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อทำให้ตัวเองมีพลังงานเท่ากับวงโคจร

ที่ไปแทนที่ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละธาตุจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ



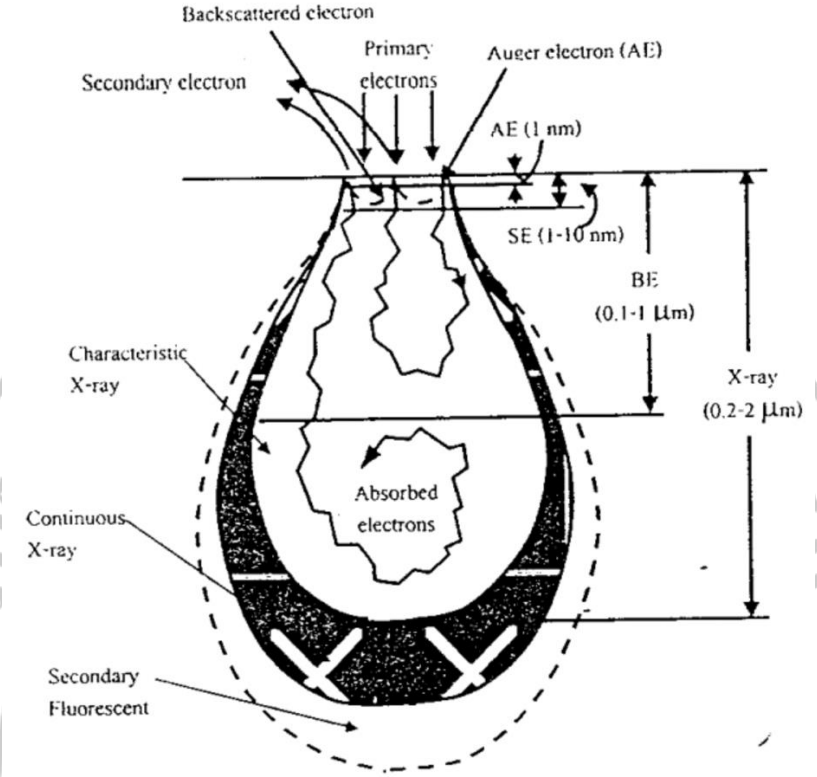
ภาพที่ 2.5 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Electron Microscope

ที่มา : Walock, 2012



ภาพที่ 2.6 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอะตอมตัวอย่าง

ที่มา : วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543



ภาพที่ 2.7 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่างที่ระดับชั้นความลึกต่าง ๆ

ที่มา : วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2543

3. การศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิครังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDX or EDS)

การศึกษาลักษณะเฉพาะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของฟิล์มบางคือองค์ประกอบธาตุที่มีในเนื้อฟิล์มที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิค EDX ซึ่งมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้ คือเมื่ออะตอมถูกไอออไนซ์โดยการระดมยิงด้วยอิเล็กตรอนเข้าไปในวงโคจรของอิเล็กตรอนชั้น K ทำให้อิเล็กตรอนในชั้น K หลุดออกทำให้เกิดช่องว่างจากนั้นอะตอมจะเกิดความไม่เสถียรและอิเล็กตรอนวงนอกจะเข้ามาแทนที่ การที่อิเล็กตรอนวงนอกจะเข้ามาแทนที่ได้นั้นจะต้องมีพลังงานเท่ากันอิเล็กตรอนวงนอกนั้นมีพลังงานสูงกว่าจึงต้องปลดปล่อยพลังงานออกมาและพลังงานที่ปล่อยออกมานั้นอยู่ในรูปรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานเฉพาะตัว (Characteristic X-ray) (ภาพที่ 2.12) หากอิเล็กตรอนที่เข้ามาแทนที่นั้น มาจากชั้น L จะเรียกรังสีเอกซ์ที่ได้นั้นว่ารังสีเอกซ์ $K\alpha$ ถ้าหากอิเล็กตรอนที่เข้ามาแทนที่นั้นมาจากชั้น M ก็จะได้รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานอีกค่าหนึ่ง เราเรียกรังสีเอกซ์

ที่ได้นั้นว่า รังสีเอกซ์ Kβ สำหรับการเกิดไอออไนซ์ที่ชั้น L แล้วอิเล็กตรอนที่อยู่ในวง M หรือ N เข้ามาแทนที่จะปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่เรียกว่ารังสีเอกซ์ Lα หรือ Lβ ตามลำดับ แต่ถ้าหากรังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยออกมานั้นมีพลังงานที่จะสามารถไปกระตุ้นให้ อิเล็กตรอนในอะตอมหลุดออกมาจากอะตอมอีกเราจะเรียกอิเล็กตรอนตัวที่หลุดออกมานั้นว่า โอเจร์ อิเล็กตรอน (Auger Electron) อิเล็กตรอนวงนอกอื่น ๆ ยังสามารถเข้ามาแทนที่ช่องว่างที่อิเล็กตรอนวงในนั้นหลุดออกได้แม้จะไม่ทั้งหมดซึ่งต้องเป็นไปตามกฎการเลือก (Selection Rules) ในวิชากลศาสตร์ควอนตัม

$\Delta n > 0$ เช่น L - > K, M - > K ห้าม L_3 - > L_2 (2.4)

$\Delta l = \pm 1$ และ $\Delta j = -1, 0, +1$ (2.5)

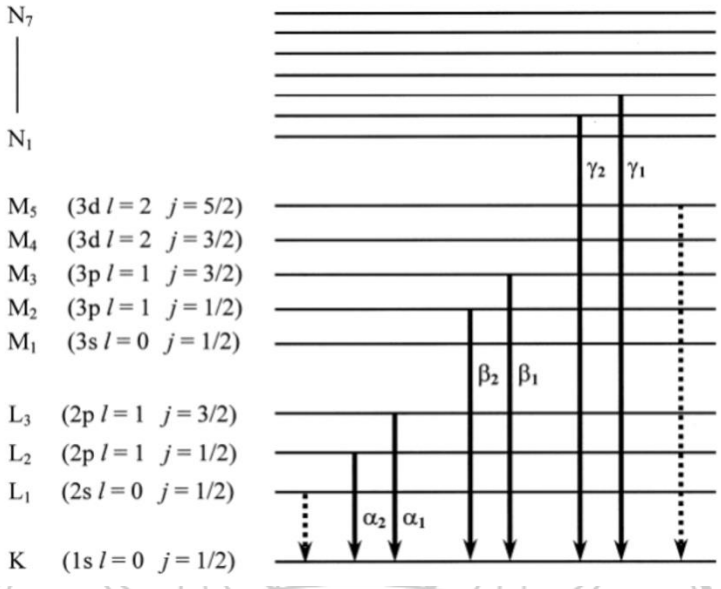
เมื่อ n คือ เลขควอนตัมหลัก (Principle quantum number)

L คือ เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum quantum no.)

j คือ เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุมรวม (Total angular momentum quantum no.)

$j = l \pm s$ (2.6)

เช่น การรวมกันของโมเมนตัมออร์บิทัลและสปิน ซึ่งเรียกว่า กฎการเลือกขั้วคู่ที่ช่วยให้การคาดการณ์ของการเปลี่ยนวงโคจรที่เป็นไปได้ทั้งหมดระหว่างระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและพลังงานของรังสีเอกซ์ แสดงได้ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งเป็นการลดระดับลงมาที่ชั้น K ที่เส้นทึบจะได้พลังงาน ออกมาในรูปรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานเฉพาะค่าและเส้นประนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้เพราะไม่เป็นไปตามกฎการเลือก ในระบบการวิเคราะห์ในปัจจุบันนิยมใช้หัววัดรังสีแบบ Si (Li) ซึ่งเหมาะสำหรับการวัด รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่มีพลังงานในช่วง 1-30 keV หรือหัววัดชนิดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (High Purity)



ภาพที่ 2.8 การลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้นต่าง ๆ มายังชั้น K ซึ่งเส้นทึบเป็นไปตามกฎการเลือกและเส้นประไม่เป็นไปตามกฎการเลือก

ที่มา : Bubert & Jenett, 2003

4. การศึกษาโครงสร้างวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)

ลักษณะที่สำคัญของฟิล์มบางอย่างหนึ่งคือการศึกษาโครงสร้างผลึก ซึ่งสามารถใช้เทคนิคเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในการวิเคราะห์โดยอาศัยการเปรียบเทียบรูปแบบมาตรฐาน JCPDS (Joint Committee on Power Diffraction Standard) ของสารนั้น ๆ สุธรรม ศรีหล่มสัก (2554) ได้อธิบายไว้ว่าในอดีตนั้น การศึกษาโครงสร้างผลึกทำได้แต่ดูลักษณะภายนอกของผลึกที่ ปรากฏตามธรรมชาติเท่านั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 1912 นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ Max von Laue เป็นคนแรกที่มีแนวคิดว่าการจัดตัวของอะตอมภายในผลึกน่าจะจัดเป็นระเบียบเหมือนกับรูปร่างภายนอก ที่ปรากฏให้เห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้นจริง ผลึกน่าจะสามารถทำให้เกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) ของแสงได้โดยเฉพาะแสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับระยะระหว่างอะตอมในผลึก เขาจึงจัดการทดลองขึ้นโดยฉายรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic X-ray) ผ่านไปยังผลึกของ Copper sulfate ($CuSO_4$) แล้วพบว่าผลึก Copper sulfate ($CuSO_4$) สามารถทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตามที่คาดไว้จริง ๆ ต่อมานักฟิสิกส์พ่อลูก W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดว่าเราสามารถมองผลึกว่าประกอบด้วยชั้น (Layer) หรือระนาบ (Plane) ของอะตอม ซึ่งสามารถสะท้อนคลื่นที่ตกกระทบ โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ โดยลำคลื่นที่สะท้อนออกไปจะมีความเข้มสูงหากผลต่างทางเดิน (Path Difference) ของคลื่นที่สะท้อนจากระนาบที่อยู่

ข้างเคียง กันมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นที่ตกกระทบ และได้ใช้สมการคณิตศาสตร์อย่างง่าย ๆ มา อธิบายผลการทดลองของ Laue และนำไปคำนวณหาโครงสร้างผลึก NaCl ได้ผลสำเร็จเป็นครั้งแรก

ภาพที่ 2.9 แสดงการเกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นเริ่มจากลำรังสีเอกซ์ AX และ BY ตกกระทบที่ ผลึกระนาบ P,Q ตามลำดับ มุมตกกระทบเท่ากับ θ ตามทฤษฎีการสะท้อนแสง มุมตกกระทบเท่ากับ มุมสะท้อน ดังนั้นมุมสะท้อนเท่ากับ θ ด้วย เมื่อสะท้อนได้ลำแสงสะท้อน XD และ YE ออกมา เนื่องจากระนาบ Q อยู่ลึกกว่า ระนาบ P ดังนั้นลำแสง BYE จะยาวกว่า AXD อยู่ GY + YH ตาม ทฤษฎีเรขาคณิตมุม GX$\hat{Y}$ และมุม YX$\hat{H}$ เท่ากับ θ ด้วย ดังนั้น GY และ YH = d $\sin\theta$ เพราะฉะนั้นระยะทางที่ BYE เดินทางยาวกว่า AXD = d $\sin\theta$ เมื่อ d คือระยะระหว่างระนาบ (Interplanar spacing)

เนื่องจากการเลี้ยวเบนคือการที่แสงเกิดการสะท้อนแบบเสริมกัน ดังนั้น การเลี้ยวเบนจะเกิด ต่อเมื่อเฟส (Phase) ของคลื่นที่สะท้อนออกมาซ้อนตรงกันพอดี กรณีดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อ

$$n\lambda = 2d_{hkl}sin\theta \qquad (2.7)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

n คือ ลำดับการเลี้ยวเบน โดยเท่ากับ 1,2,3,4,5, ...

เรียกสมการข้างต้นว่า สมการของแบรกก์ถ้าฉายรังสีเอกซ์ไปยังผลึกเชิงเดี่ยว (Single Crystal) ซึ่งประกอบด้วยระนาบต่าง ๆ หลายผลึก โดยหมุนผลึกไปรอบ ๆ จะมีบางมุมที่ระนาบบางระนาบในผลึกสามารถเกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตามสมการของแบรกก์พอดีที่มุม θ นั้นก็จะเกิดจุด บนฟิล์มที่เอาไปติดไว้ที่รอบ ๆ ผลึกถ้าวัดมุม θ แล้วแทนค่า θ นั้นไปตามสมการของแบรกก์ก็จะคำนวณหา d ของระนาบที่เกิดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ได้ นำค่า d ของหลาย ๆ ระนาบไปคำนวณหา ค่า a,b,c ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างระนาบกับค่าคงที่แลตทิซที่เลี้ยวเบนในแต่ละ ระนาบและมุม α,β,γ ซึ่งเป็นยูนิตเซลล์ของพารามิเตอร์บนผลึกได้และเมื่อคำนวณหาค่ายูนิตเซลล์ พารามิเตอร์ได้ก็จะบอกโครงสร้างของผลึกได้อีกทั้งยังสามารถคำนวณหา

ขนาดของผลึกจากความกว้างของพีคที่เกิดจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ได้จากสมการของเชอร์เรอร์ (Scherrer's Equation) ซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{2.8}$$

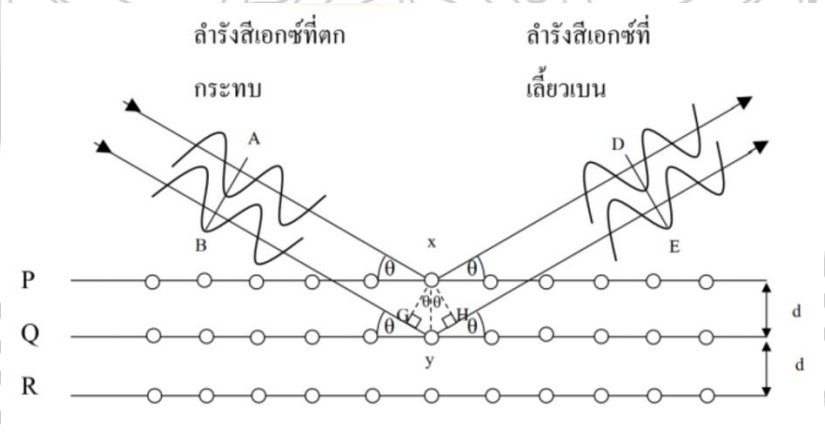
เมื่อ L คือ ขนาดผลึก

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

k คือ ค่าคงที่ของเชอร์เรอร์ที่ขึ้นกับรูปร่างของผลึก (Shape Factor)

β คือ ความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของพีค (Full Width at Half Maximum ; FWHM) ซึ่งอยู่ในหน่วยเรเดียน

θ คือ ครึ่งของมุมที่ศูนย์กลางพีค

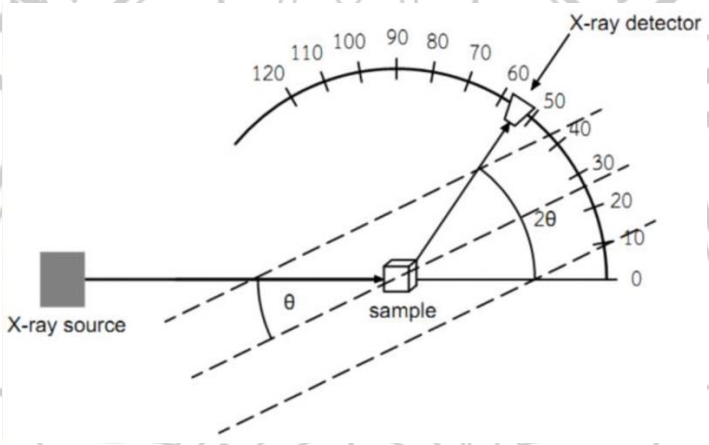


ภาพที่ 2.9 เงื่อนไขการเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตามสมการของแบรกก์

ในการทดสอบบางครั้งมุมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์อาจมีการเลื่อนไปในตำแหน่งมุมที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ในผิวของสารเคลือบ ส่วนความเข้ม (Intensity) ของสัญญาณที่ได้นั้นอาจจะไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน JCPDS เพราะเกิดการจัดเรียงตัวในทิศทางที่ชอบ (Prefer Orientation) ต่างกันของอะตอมในชั้นเคลือบ นอกจากนี้เทคนิคการเลี้ยวเบน

รังสีเอกซ์ยังสามารถให้ข้อมูลที่บ่งบอกถึงส่วนผสมทางเคมีของเฟส (Phase composition) และค่าแลตทิซ (Lattice) อีกด้วย

ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้วิธี θ - 2θ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (θ - 2θ Diffractometer Method) เทคนิคนี้ ตัวอย่างจะหมุนไปเป็นมุม θ ในขณะที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณของรังสีเอกซ์ (X-ray detector) จะเคลื่อนที่ไปเป็นมุม 2θ เพื่อให้การเลี้ยวเบนสอดคล้องกับกฎของแบรกก์ (ธนบุญสมบัติ, 2544) ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 วิธี Theta-2Theta ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ การจัดวางตัวอย่างเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์และอุปกรณ์ตรวจวัด

ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

1. ความหมายธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นกลุ่มวิชาหนึ่งในการศึกษาขั้นพื้นฐานที่มีมาตรฐานการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์การสืบเสาะแสวงหาความรู้และการแก้ไขปัญหา มีความเข้าใจที่ถูกต้องต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545) ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากศาสตร์อื่น ๆ มีการอธิบายที่มาที่ไปของกฎต่าง ๆ มีการทดลอง ผสมผสานระหว่างปรัชญาการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

นักวิทยาศาสตร์ได้ให้ความหมายธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย เช่น

เอ็มซี โคแมส (McComas, 2000) ให้ความหมายว่า ธรรมชาติวิทยาศาสตร์ คือ การผสมผสาน ทางการศึกษา ทางสังคมวิทยาศาสตร์ในหลายด้าน เช่น สังคมวิทยาศาสตร์ ประวัติศาสตร์

วิทยาศาสตร์ ปรัชญาทางวิทยาศาสตร์ เพื่ออธิบายว่าใคร ทำอะไร ที่ไหน อย่างไร มีกระบวนการทำงานอย่างไร สังคมมีปฏิสัมพันธ์อย่างไรในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์

จอนตันและซาวเทอแลนด์ (Johnston and Southerland, 2002)ให้ความหมายว่า ธรรมชาติวิทยาศาสตร์คือการศึกษาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์มีการศึกษาค้นหา ซึ่งได้มาจาก การทำงานหรือสังคมทางวิทยาศาสตร์และคุณค่าวิทยาศาสตร์ต่อสังคมความรู้ที่ได้มา ซึ่งคำตอบ ใช้ทักษะการสืบเสาะหาความรู้ และความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เลเดอร์แมน แอ็ดอิวคาร์ลิค เบลล์และซวาท์ (Lederman, Abd – El – Khalick, Bell and Schwartz, 2002) ให้ความหมายว่า ธรรมชาติทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ เป็นการปลูกฝังทางสังคมและวิทยาศาสตร์เป็นแนวทางการค้นคว้าหาความรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2551) ให้ความหมายของธรรมชาติทางวิทยาศาสตร์ว่าธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มีลักษณะเฉพาะตัว มีคำอธิบายบอกว่าวิทยาศาสตร์คืออะไร มีการทำงานอย่างไร วิทยาศาสตร์มีการทำงานร่วมกับสังคมอย่างไร มีการผสมผสานกลมกลืนในความรู้ของวิทยาศาสตร์ในเชิงปรัชญาเกี่ยวกับการกำเนิดธรรมชาติ กำหนดขอบเขตการศึกษา

จากการให้ความหมายจากข้างต้น ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่าธรรมชาติทางวิทยาศาสตร์ เป็นการผสมผสานทางการศึกษา ทั้งสังคมวิทยาศาสตร์ ปรัชญาทางวิทยาศาสตร์ มีการทดลอง หาข้อมูลที่แท้จริงเพื่อการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นแนวทางในการค้นหาความรู้

2. ขอบเขตธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง พบว่า นักวิทยาศาสตร์อธิบายขอบเขตของธรรมชาติซึ่งในที่นี้อาจจัดหมวดหมู่ของแนวคิดเหล่านั้นได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามการจัดของ The American Association for the Advancement of Science (AAAS) (กุศลิน มุสิกุล, 2551) ได้แก่ ด้านที่ 1 โลกในมุมมองแบบวิทยาศาสตร์ (Scientific World View) ด้านที่ 2 การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์(Scientific Inquiry) ด้านที่ 3 องค์กรทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Enterprise) สามารถอธิบายในแต่ละด้านได้ดังต่อไปนี้

ด้านที่ 1 โลกในมุมมองแบบวิทยาศาสตร์

1) โลกคือสิ่งที่สามารถทำความเข้าใจได้วิทยาศาสตร์เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ บนโลก บนดวงดาวหรือจักรวาล มีวิธีการศึกษาผสมผสานการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่ทันสมัย รวบรวมเก็บข้อมูลตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้มนุษย์ได้เข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนโลกและจักรวาลได้

2) แนวคิดทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ วิทยาศาสตร์มีกระบวนการสร้างองค์ความรู้ที่ละเอียดรอบคอบ เพื่อทำความเข้าใจกับปรากฏการณ์นั้น ๆ เกิดความรู้ใหม่ ๆ ซึ่งทำให้ นักวิทยาศาสตร์สามารถปรับปรุงกฎ หรือทฤษฎีใหม่เพื่ออธิบายได้อย่างกว้างขวางและครอบคลุมกว่า ดังนั้นวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงแนวคิดใหม่จากแนวคิดเดิมได้ หากมีข้อมูลที่ชัดเจน และชี้แจงเหตุผลได้ดีกว่า เพื่อให้มนุษย์เข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

3) ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีความคงทน ความรู้ในทางวิทยาศาสตร์นั้นไม่มีทฤษฎีไหนที่สมบูรณ์ได้จริงที่สุด แต่ความรู้ส่วนใหญ่มีความคงทนและเชื่อถือได้เพราะผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องและแม่นยำซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั้นเกิดจากการปรับปรุงและพัฒนาจากทฤษฎีเดิม หรือขยายความรู้จากความรู้เดิม

4) ทฤษฎีและกฎมีความสัมพันธ์กันแต่มีความแตกต่างกัน วิทยาศาสตร์เป็นเรื่องยากที่จะอธิบายแล้วเข้าใจได้ง่าย บางเรื่องสามารถพิสูจน์ได้ บางเรื่องไม่สามารถพิสูจน์ได้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น ไสยศาสตร์ การทำนาย ปาฏิหาริย์ เพราะเรื่องเหล่านี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับจิตใจ ซึ่งทางวิทยาศาสตร์ตรวจวัดได้ยากและไม่สามารถตัดสินได้ ทฤษฎีกับกฎมีความสัมพันธ์กันโดยทฤษฎีนั้นเป็นคำอธิบายมาจากแบบแผนของธรรมชาติที่เป็นไปตามกฎ

ด้านที่ 2 การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

1) วิทยาศาสตร์ต้องการหลักฐานในทางวิทยาศาสตร์นั้นความน่าเชื่อถือทางวิทยาศาสตร์ขึ้นอยู่กับหลักฐานการอ้างอิงจากการสังเกตปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ความคิดทางวิทยาศาสตร์จะต้องมีหลักฐานเพื่อยืนยันความถูกต้อง หลักฐานที่ได้อาจมาจากห้องทดลองหรือได้มาจากการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ มีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ และในการศึกษาโดยวิธีการทดลองนั้นไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความเชื่อถือของหลักฐานจึงต้องมีการพัฒนาเทคนิคและเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้น

2) วิทยาศาสตร์มีการผสมผสานระหว่างตรรกศาสตร์จินตนาการและการคิดสร้างสรรค์ การทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต้องมีการพิสูจน์ด้วยเหตุผลเชิงตรรกะเพียงอย่างเดียวไม่พอ ต้องผสมผสานระหว่างเหตุผลเชิงตรรกะและเชิงความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างสมมติฐานทางทฤษฎี เพื่อทำความเข้าใจกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อนักวิทยาศาสตร์พัฒนาทฤษฎีที่มีอยู่เดิมเพื่อให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้นจะต้องใช้หลักการและเหตุผลในการตรวจสอบหลักฐาน พร้อมกับสร้างจินตนาการนำมาเขียนอธิบายเกิดผลงานอย่างสร้างสรรค์และสามารถตรวจสอบได้

3) วิทยาศาสตร์ให้คำอธิบายและการทำนาย นักวิทยาศาสตร์อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน ซึ่งความน่าเชื่อถือ ของคำอธิบายปรากฏการณ์นั้นมาจากการทำนาย หรือยังไม่มีการค้นพบมาก่อนแล้วสามารถนำมาศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมได้

4) นักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะระบุและหลีกเลี่ยงความลำเอียงในการค้นพบข้อมูลต่าง ๆ หลักฐานมีความสำคัญมากต่อนักวิทยาศาสตร์ ดังนั้นในการรวบรวมข้อมูลทางวิทยาศาสตร์มีความจำเป็นไม่ว่าจะเป็นเชื้อชาติ เพศ อายุ เป็นต้น จะต้องมีความแม่นยำและไม่มีความลำเอียง ดังนั้นจะต้องมีการสังเกต ทดลองหลาย ๆ ครั้ง และทำการศึกษาเรื่องเดียวกัน แต่มีกลุ่มที่ศึกษาหลายกลุ่ม

5) วิทยาศาสตร์ไม่ยอมรับการมีอำนาจเหนือบุคคลอื่น วิทยาศาสตร์ไม่ยอมรับนับถือการมีอำนาจเหนือบุคคลอื่นและเชื่อว่าไม่มีบุคคลไหน ที่มีอำนาจตัดสินความจริงหรือมีสิทธิ มากกว่า เพราะความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบต้องพิสูจน์ได้ด้วยตนเองด้วยความสามารถที่อธิบายปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ โดยหลักฐานเชิงประจักษ์และสามารถพิสูจน์ได้

ด้านที่ 3 องค์กรทางวิทยาศาสตร์

1) วิทยาศาสตร์คือกิจกรรมทางสังคมที่ซับซ้อน วิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับบุคคลจำนวนมากมนุษย์ทุกคนสามารถร่วมกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ได้สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตประจำวันบุคคลเหล่านี้ ได้แก่ นักวิศวกร นักฟิสิกส์ นักวิทยาศาสตร์และอื่น ๆ วิทยาศาสตร์มีบทบาทเข้ามาในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ในทางมหาวิทยาลัย โรงพยาบาล หน่วยงานรัฐบาลและเอกชน เป็นต้น สังคมทางวิทยาศาสตร์ในการเผยแพร่ข้อมูลเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์มีการตีพิมพ์ผลงานทางการวิจัยในเอกสารหรือวารสารเพื่อให้นักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ ได้ทราบแนวคิดและการทำงานนำไปสู่การวิพากษ์วิจารณ์โดยนักวิทยาศาสตร์อื่น ๆ

2) วิทยาศาสตร์แตกแขนงเป็นสาขาต่าง ๆ และมีการดำเนินการในหลายองค์กร วิทยาศาสตร์ คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่หลากหลายในศาสตร์สาขาอื่น ๆ ที่ศึกษาเป้าหมายและเทคนิคการดำเนินงานมีประโยชน์ในการทำงานและการคิดค้น มีการดำเนินการในหลากหลายองค์กรไม่ว่า จะเป็น โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยในภาครัฐบาลและเอกชน เป็นต้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

3) วิทยาศาสตร์มีหลักการทางจริยธรรมในการดำเนินการในการดำเนินกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ต้องมีจริยธรรมความซื่อสัตย์มีน้ำใจในบางครั้งในการค้นพบคนแรก ต้องได้รับการยกย่องที่ค้นพบความรู้ใหม่และความรู้นี้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้หากมีคน

ค้นพบที่น่าเชื่อถือได้ดีกว่า และต้องมีการระวังอันตรายที่เกิดขึ้นจากการศึกษาหรือการนำผลการศึกษาไปใช้

4) นักวิทยาศาสตร์เข้าร่วมกิจกรรมทางสังคมในฐานะผู้เชี่ยวชาญและประชาชนคนหนึ่งในกิจกรรมทางสังคม นักวิทยาศาสตร์เข้าร่วมในฐานะผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ทักษะและประสบการณ์ แต่บางครั้งก็เข้าร่วมในฐานะพลเมืองคนหนึ่งที่นำเอาความรู้ความเข้าใจและทักษะมาวิเคราะห์กับเรื่องที่เป็นประเด็นในสังคม สามารถช่วยเหลือสังคมให้เข้าใจสาเหตุและสถานการณ์เหล่านั้นได้

5) ความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์เน้นในการแสวงหา ความรู้เพื่อการต่อยอดมีการพัฒนาไปกับเทคโนโลยีที่สนองความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิต

จากข้างต้นจึงสรุปได้ว่าธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ คือ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับศาสตร์อื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นปรัชญา สังคม และประวัติศาสตร์ของวิทยาศาสตร์

3. บทบาทและลักษณะทางวิทยาศาสตร์ของวิทยาศาสตร์ศึกษา

ปัจจุบันวิทยาศาสตร์มีความจำเป็นต่อมนุษย์เป็นอย่างมากจากการศึกษาของเอ็มซีโคแมส (Mc Comas, 2002) ศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 บทบาทและลักษณะของธรรมชาติวิทยาศาสตร์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์มีผลกระทบที่แพร่หลาย แต่มักจะบอบบางในเกือบทุกแง่มุมของความทันสมัย ทุกชีวิต ทั้งจากเทคโนโลยีที่ไหลออกมาจากมันและลึกซึ้ง ปรัชญาความหมายที่เกิดขึ้นจากความคิดของตน อย่างไรก็ตามแม้จะมีผลอย่างมากนี้น้อยบุคคลธรรมดายังมีความเข้าใจพื้นฐาน เกี่ยวกับวิสาหกิจทางวิทยาศาสตร์ดำเนินการ การขาดความเข้าใจนี้อาจเป็นอันตรายโดยเฉพาะ อย่างยิ่งในสังคมที่ประชาชนมีสิทธิออกเสียงในการตัดสินใจในการระดมทุนทางวิทยาศาสตร์ การประเมินเรื่องนโยบาย และชั่งน้ำหนักหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ระบุไว้ในการดำเนินการ ทางกฎหมายที่มูลนิธิของการตัดสินใจที่ไร้เหตุผลและตำแหน่งที่ไม่สมเหตุสมผลเป็น ความเข้าใจผิดของลักษณะของวิทยาศาสตร์

“ประวัติศาสตร์และปรัชญาวิทยาศาสตร์” (History and Philosophy of Science: HPS) ถูกนำมาใช้อธิบายการมีส่วนร่วมของสาขาที่แจ้งการศึกษาทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับลักษณะของวิทยาศาสตร์ตัวเองอย่างไรก็ตามเป็นวลีที่ครอบคลุมมากขึ้นเพื่ออธิบายองค์กรทางวิทยาศาสตร์ สำหรับการศึกษาวิทยาศาสตร์ คือ“ลักษณะของวิทยาศาสตร์” (Nature of Science: NOS) ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มีความอุดมสมบูรณ์ไฮบริดที่ผสมผสานด้านต่าง ๆ ของการศึกษาทางสังคมต่าง ๆ

ทางวิทยาศาสตร์รวมถึงประวัติศาสตร์สังคมวิทยาและปรัชญาวิทยาศาสตร์ร่วมกับการวิจัยจากวิทยาศาสตร์ความรู้ความเข้าใจ เช่น จิตวิทยาเป็นคำอธิบายที่อุดมไปด้วยสิ่งที่วิทยาศาสตร์เป็นอย่างไร มันทำงานอย่างไร นักวิทยาศาสตร์ทำงานเป็นกลุ่มทาง สังคมอย่างไรและสังคมของตัวเอง ทั้งสองมีทิศทางอย่างไรและตอบสนองต่อความพยายามทางวิทยาศาสตร์ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไม่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะกับโลกธรรมชาติในทางวิทยาศาสตร์ที่ตัวเองเป็นอย่างน้อยไม่ได้โดยตรงชุมชนวิทยาศาสตร์ประกอบไปด้วยบุคคลที่อุทิศอาชีพ ของพวกเขา เพื่อทำความเข้าใจโลกธรรมชาติให้ดียิ่งขึ้น ชุมชนผู้เชี่ยวชาญกำหนดแนวคิดที่ดีที่สุด สำหรับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ผู้ที่ศึกษาธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มาจากหลายสาขาวิชาและทำการตรวจสอบวิทยาศาสตร์

3.2 องค์ประกอบหลักของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับความเชื่อโดยทั่วไปว่าด้วยหลักฐานที่เพิ่มขึ้นมีลำดับพัฒนาการที่ผ่านความคิดทางวิทยาศาสตร์ไปสู่ขั้นสุดท้าย

ทฤษฎีและกฎมีความรู้แตกต่างกันมากแต่ความเข้าใจผิดแสดงให้เห็นว่าเป็นรูปแบบที่แตกต่างกันของโครงสร้างความรู้เดียวกัน นั่นคือความสัมพันธ์ระหว่างกฎและทฤษฎี แต่ก็ไม่ใช่กรณีที่เกิดขึ้นเพียงอย่างเดียวกลายเป็นอื่น ๆ ไม่ว่าหลักฐานเชิงประจักษ์จะถูกรวบรวมไว้กฎคือหลักเกณฑ์หรือรูปแบบในธรรมชาติและทฤษฎีคือคำอธิบาย

นักวิทยาศาสตร์ไม่ต่างจากระดับความเป็นกลางมากกว่าผู้เชี่ยวชาญด้านอื่น ๆ พวกเขาจะระมัดระวังในการวิเคราะห์หลักฐานและในขั้นตอนที่ใช้ในการมาถึงข้อสรุปด้วยการรับเข้านี้อาจดูเหมือนว่าตำนานนี้ถูกต้องแต่จากทั้งปรัชญาวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาเปิดเผยว่าวัตถุประสงค์ที่สมบูรณ์เป็นไปไม่ได้อย่างน้อยสามเหตุผลสำคัญ นักปรัชญาหลายคนสนับสนุนวิทยาศาสตร์ความคิดเหล่านี้จัดขึ้นในจิตใต้สำนึกมีผลต่อความสามารถของทุกคนที่จะทำข้อสังเกต ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะรวบรวมและตีความข้อเท็จจริงโดยไม่มีอคติใด ๆ ในประวัติศาสตร์ของวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์ล้มเหลวรวมถึงข้อสังเกตเฉพาะในรายงานขั้นสุดท้ายของพวกเขานี้เกิดขึ้นไม่ใช่เพราะการทุจริตหรือการหลอกลวง แต่เนื่องจากความรู้เดิม ที่มีอยู่ในแต่ละบุคคล ข้อเท็จจริงบางอย่างไม่ได้ถูกมองเห็นหรือถือว่าไม่สำคัญตามความคาดหวังล่วงหน้าของนักวิทยาศาสตร์ในการอภิปรายเกี่ยวกับการปฐมนิเทศก่อนหน้านี้ เราตั้งข้อสังเกตว่า บุคคลสองคนที่ตรวจสอบข้อมูลเดียวกันจะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลเดียวกันได้ ข้อสรุป ความคิดสร้างสรรค์ของแต่ละบุคคลไม่เพียงแต่มีบทบาทแต่เป็นเรื่องส่วนตัว การสังเกตการณ์เชิงทฤษฎี ช่วยให้สถานการณ์มีความซับซ้อนมากขึ้น บทนี้มีความหมายชัดเจนสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์ ครูมักจะให้ประสบการณ์การเรียนรู้แก่นักเรียนโดยไม่คำนึงถึงความรู้เดิม ในการวิเคราะห์ประวัติของ

วิทยาศาสตร์กล่าวว่า นักวิทยาศาสตร์ทำงานภายใต้ประเพณีการวิจัยที่เรียกว่ากระบวนทัศน์ ประเพณีการวิจัยนี้ใช้ร่วมกันโดยผู้ที่ทำงานในสาขาใดสาขาหนึ่งให้คำแนะนำคำถามที่มีค่าควรสืบสวนสั่งการว่าหลักฐานใดเป็นที่ยอมรับและกำหนดการทดสอบและเทคนิคที่สมเหตุสมผล แม้ว่ากระบวนทัศน์ให้แนวทางในการวิจัย นอกจากนี้ยังอาจยับยั้งหรือจำกัดการตรวจสอบสิ่งใดที่ได้จากขอบเขตของความพยายามในการวิจัยจำเป็นต้องได้จากความเป็นกลางในขณะที่ไม่มีความปรารถนาที่มีสติในส่วนของนักวิทยาศาสตร์ที่จะจำกัดการสนทนาก็มีโอกาสที่ใหม่ ความคิดทางวิทยาศาสตร์ถูกปฏิเสธเนื่องจากปัญหากระบวนทัศน์เมื่อรายงานการวิจัยจะถูกส่งไปตีพิมพ์ พวกเขาจะได้รับการตรวจสอบโดยสมาชิกคนอื่น ๆ ของระเบียบวินัย แนวคิดจากนอกกรอบความคิดอาจถูกตัดออกจากการพิจารณาหรือวิทยาศาสตร์ที่ไม่ดี ดังนั้นจะไม่ปรากฏในการพิมพ์ ตัวอย่างความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกปฏิเสธตั้งแต่ต้น เพราะตกจากภายนอกกระบวนทัศน์ที่ยอมรับ

วิทยาศาสตร์เป็นเป้าหมายที่สำคัญ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะยอมรับสมมติฐานที่ว่าวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นจากการทำงานก่อนหน้านี้ แต่การค้นพบทางวิทยาศาสตร์อันยิ่งใหญ่ เป็นหลักโดยนักวิทยาศาสตร์ชั้นยอด ดังนั้น วิทยาศาสตร์ต้องมีการแสวงหาโดดเดี่ยวและเป็นรายบุคคล สังคมวิทยาของวิทยาศาสตร์นักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานได้แสดงให้เห็นว่าแทบไม่มี ความคิดทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นในใจของบุคคลเดี่ยวที่ถูกตรวจสอบแล้ว โดยบุคคลนั้นบุคคลเดียวและยอมรับโดยชุมชนวิทยาศาสตร์ กระบวนการนี้มีมากขึ้น เช่น การเจรจาต่อรอง มากกว่าการเปิดเผยความจริง นักวิทยาศาสตร์ทำงานในทีมวิจัยภายในชุมชนของนักวิจัยที่มีใจเดียวกัน ปัญหาทางวิทยาศาสตร์หลายอย่างก็ซับซ้อนเกินไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า การสอนลักษณะของ “ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์” มีการผสมผสานกับการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะทำให้ไม่ต้องใช้เวลาในห้องเรียนเพิ่มเติม การอ่านประวัติศาสตร์ร่วมกับการทดลองสืบสวน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธรรมชาติทางประวัติศาสตร์จะเป็นวิธีที่มีแนวโน้มสำหรับนักเรียนที่จะเรียนรู้พื้นฐานของวิธีการทางวิทยาศาสตร์และเข้าใจปัญหาอื่น ๆ ของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ได้

มุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

จากการศึกษางานวิจัยผลของความเข้าใจและการจัดการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของครูวิทยาศาสตร์ต่อความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (ชัย แก้วหนัน, 2522)

ในเอกสารของมุมมอง ต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ได้แบ่งแนวคิดออกเป็นสองมุมมอง คือ มุมมองแบบดั้งเดิม และมุมมองแบบร่วมสมัยอธิบายได้ดังนี้

1. มุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบดั้งเดิม

มุมมองธรรมชาติแบบดั้งเดิมมีสองแนวคิดทางปรัชญาทางด้านสัจนิยม และการอธิบายทางด้านความรู้ทางวิทยาศาสตร์ดังนี้

มุมมองทางด้านสัจนิยมอธิบายการกลายเป็นความจริงของโลกทำนายภาพแห่งความจริงของโลกมุมมองนี้เชื่อว่า ทฤษฎีทางวิทยาศาตร์สามารถตรวจสอบได้ว่า ถูกหรือผิด มุมมองด้านความรู้ทางวิทยาศาตร์และการพัฒนาความรู้ เชื่อว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยการค้นพบจากวิธีการทางวิทยาศาตร์เป็นกระบวนการลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนสามารถยืนยัน ได้ว่าความรู้ทางวิทยาศาตร์ที่ได้นั้นถูกต้องและเป็นจริง

ความเข้าใจในมุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบดั้งเดิมสามารถอธิบายได้ดังนี้ (Promkatkeaw, 2007)

ด้านทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

1. นักวิทยาศาสตร์ค้นพบทฤษฎีที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ
2. ทฤษฎีเก่าที่ถูกพิสูจน์แล้วไม่เป็นจริงนักวิทยาศาสตร์จะไม่นำมาใช้อีก
3. ทฤษฎีเป็นสมมติฐานที่ถูกพิสูจน์แล้วว่าเป็นจริง

ด้านความรู้ทางวิทยาศาสตร์

1. แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งจะอธิบายว่าคืออะไร
2. ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เห็นตรงกันก็จะถูกยึดให้เป็นทฤษฎีที่เป็นจริง
3. ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกิดจากการเก็บรวมความรู้และผ่านการให้ความหมายทางวิทยาศาสตร์
4. ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกิดขึ้นครั้งแรกเกิดการสังเกต

ด้านการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

1. นักวิทยาศาสตร์จะพิสูจน์ข้ออ้างทางวิทยาศาสตร์ยกเว้นการสังเกต
2. วิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นวิธิที่จะได้มาซึ่งข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์
3. วิธีการทางวิทยาศาตร์เป็นสิ่งที่สามารถค้นพบทฤษฎีที่ถูกต้อง
4. วิธีการทางวิทยาศาตร์เป็นกระบวนการที่มีขั้นตอนชัดเจน

ด้านลักษณะของนักวิทยาศาสตร์

1. นักวิทยาศาสตร์เป็นผู้ที่มีจุดมุ่งหมายในการทำงานตั้งใจทำงานอย่างแท้จริง
2. พยายามค้น หาความจริงเพื่อพิสูจน์สิ่งที่สงสัย

2. มุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบร่วมสมัย

มุมมองแบบร่วมสมัย เป็นแนวคิดทางด้านอุปกรณ์นิยมและการอธิบายทางวิทยาศาสตร์สร้างความรู้ด้วยตนเองและการพัฒนาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านอุปกรณ์นิยมและการอธิบายทางวิทยาศาสตร์เชื่อว่าทฤษฎีเป็นเครื่องมือเบื้องต้นในการจัดประสบการณ์ของตัวเองเพื่อจัดลำดับการทดลอง เชื่อมโยงกับทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ ในการทำนายสัญลักษณ์เป็นเครื่องมือที่สามารถพิสูจน์ได้เปลี่ยนแทนด้วยทฤษฎีใหม่ที่มีหลักฐานเชิงประจักษ์มากกว่า (Promkatkeaw, 2007)

ด้านการสร้างความรู้ด้วยตนเองและการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์เชื่อว่าการสร้างความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาตินั้นเกี่ยวข้องกับนักวิทยาศาสตร์ ความรู้เป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้น โดยได้รับการยอมรับและมีข้อมูลที่แท้จริงความรู้หรือทฤษฎีที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพบุคคล (Promkatkeaw, 2007) ความเข้าใจในมุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบร่วมสมัย อธิบายได้ดังนี้

ด้านทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

1) นักวิทยาศาสตร์สร้างทฤษฎีจากจิตใจ

2) ทฤษฎีมีแบบแผนที่ตายตัว

3) ทฤษฎีจะได้รับการยอมรับว่าถูกต้องก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมโยงเข้ากับทฤษฎีอื่น ๆ และได้รับการยอมรับจากประชาคมวิทยาศาสตร์

ด้านความรู้ทางวิทยาศาสตร์

1) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นแค่ความคิดของนักวิทยาศาสตร์เพราะนักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถเห็นของจริง

2) กฎทางวิทยาศาสตร์คือสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์พยายามจะอธิบายส่วนประกอบทางธรรมชาติ

3) ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกิดจากการจินตนาการหรือความคิดสร้างสรรค์

ด้านการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

1) นักวิทยาศาสตร์ไม่ต้องการข้อมูลจากการสังเกต

2) การหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถหาได้หลากหลายวิธีเพื่อนำมาพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

3) ในการดำเนินงานนักวิทยาศาสตร์ไม่จำเป็นต้องทำตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์

4) นักวิทยาศาสตร์สร้างกฎทางวิทยาศาสตร์เพื่ออธิบายธรรมชาติแต่นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถสร้างธรรมชาติ

ด้านลักษณะของนักวิทยาศาสตร์

นักวิทยาศาสตร์ทำงานด้วยปัจจัยที่หลากหลาย ทำงานทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุด ในการอธิบายทฤษฎีส่วนประกอบของธรรมชาติ

จากที่กล่าวมาข้างต้นสรุปได้ว่า ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มีมุมมองที่แตกต่างกัน คือมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบดั้งเดิมเป็นการจัดการจากเนื้อหาที่ถ่ายทอดจริง แต่แบบร่วมสมัย ครูส่งเสริมให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในวิทยาศาสตร์

การวัดความเข้าใจมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

จากอดีตถึงปัจจุบันมีการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือเพื่อนำมาวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และพบว่าในปัจจุบันนั้นแบบวัดความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาโดยเลเดอร์แมนและคณะ (Lederman et al, 2002) ที่เป็นแบบในการศึกษาความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (VNOS) ซึ่งแบบวัด นี้มีหลายรูปแบบ เช่น VNOS ฟอร์ม A B C และ D ซึ่งในแต่ละแบบฟอร์มมีความแตกต่างในด้านคำถาม ภาษาที่ใช้ในการวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่เปิดโอกาสให้ผู้ตอบคำถามได้เขียนความเข้าใจของตนเองในประเด็นของแต่ละข้อ ซึ่งในแต่ละรูปแบบจะมีความเหมาะสมกับกลุ่มที่ต้องการศึกษาที่แตกต่างกัน (Lederman et al, 2002) ดังต่อไปนี้

1. มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม A (Views of Nature of Science Questionnaire Form A: VNOS – Form A)

การวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแบบฟอร์ม A (VNOS – Form A) เป็นแบบสอบถามที่ใช้ควบคู่เป็นการติดตามผลสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล โดยเลเดอร์แมนและเมลเลย์ (LedermanandO'Malley) พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1990 มีลักษณะแบบสอบถามปลายเปิด ประกอบด้วยคำถาม 7 ข้อ เพื่อใช้ในการอธิบายมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยมีประเด็นของการศึกษาต่อไปนี้

1. ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้
2. อธิบายข้อแตกต่างและลงข้อสรุป
3. คิดจิตนาการและคิดสร้างสรรค์
4. ความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีและกฎ
5. วิทยาศาสตร์สามารถทดลองหาคำตอบได้

2. มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม B (Views of Nature of Science Questionnaire Form B: VNOS – Form B)

การวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแบบฟอร์ม B (VNOS – Form B) เป็นแบบการวัดที่ Abd – El – Khalick และคณะ ได้ปรับปรุงพัฒนามาจาก VNOS – Form Aในปี ค.ศ. 1998 เพื่อประเมินความคิดเห็นหรือมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น มีการสัมภาษณ์ในรายละเอียดเชิงลึก เช่น ความคิดสร้างสรรค์ ความคิดเห็นและให้ตัวอย่างเฉพาะเจาะจง เพื่อแสดงให้เห็นถึงบริบทและความคิดจากมุมมองของผู้ตอบแบบสอบถาม ทำให้ผู้วิจัยสามารถอธิบายคำถามที่ผู้ตอบ ตอบคำถามไม่ได้ VNOS – Form B มีประเด็นของการศึกษาต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้

2.2 อธิบายข้อแตกต่างและลงข้อสรุป

2.3 คิดจิตนาการและคิดสร้างสรรค์

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีและกฎ

2.5 วิทยาศาสตร์สามารถทดลองหาคำตอบได้

3. มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม C (Views of Nature of Science Questionnaire Form C: VNOS – Form C)

การวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแบบฟอร์ม C (VNOS – Form C) เป็นแบบการวัดที่ Abd – El – Khalick และคณะได้ปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติมมาจาก VNOS – Form B ในปี ค.ศ. 1998 โดยแบบวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์จาก VNOS – Form A และ VNOS – Form B บางข้อเป็นคำถามที่ไม่สามารถสรุปได้ เพื่อให้ขยายคำถามให้ชัดเจนขึ้นและเพิ่มข้อคำถาม 3 ข้อ เพื่อให้สามารถวัดมุมมองได้อย่างชัดเจนและครอบคลุม โดยมีนักวิทยาศาสตร์ประวัติศาสตร์ร่วมตรวจสอบ จึงได้คำถามที่สมบูรณ์ จำนวน 10 ข้อ โดยเพิ่มประเด็นสังคมและวัฒนธรรมของวิทยาศาสตร์ พร้อมกับปรับปรุงข้อคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ การวัดความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (VNOS – Form C) นี้สามารถใช้ได้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายนักศึกษาระดับปริญญาตรีและครูผู้สอนโดยมีประเด็นของการศึกษาต่อไปนี้

3.1 ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้

3.2 อธิบายข้อแตกต่างและลงข้อสรุป

3.3 คิดจิตนาการและคิดสร้างสรรค์

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีและกฎ

3.5 วิทยาศาสตร์สามารถทดลองหาคำตอบได้

3.6 สังคมและวัฒนธรรมของวิทยาศาสตร์

4. มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม D (Views of Nature of Science Questionnaire Form D: VNOS – Form D)

การวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแบบฟอร์ม D (VNOS – Form D) เป็นการวัดที่เลเดอร์แมนและแอ็ดเอลคาร์ลิค (LedermanandAbd – El – Khalick) ได้มีพัฒนาปรับปรุงขึ้นในปี ค.ศ. 2002 เพื่อนำไปวัดความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับประถมศึกษาตอนปลายและนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น VNOS – Form D มีลักษณะของแบบสอบถามปลายเปิดเป็นคำถามที่เข้าใจง่ายไม่ซับซ้อน ใช้คำถามทั้งหมด 7 ข้อ โดยมี ประเด็นของการศึกษาต่อไปนี้

4.1 ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้

4.2 อธิบายข้อแตกต่างและลงข้อสรุป

4.3 คิดจิตนาการและคิดสร้างสรรค์

4.4 วิทยาศาสตร์สามารถทดลองหาคำตอบได้

5. มุมมองแบบสอบถามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม E (Views of Nature of Science Questionnaire Form E: VNOS – Form E)

แบบวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแบบฟอร์ม E (VNOS – Form E) เป็นการวัดที่เลเดอร์แมน และคณะ (Lederman et al, 2002) ได้พัฒนาปรับปรุงเพื่อใช้สำหรับนักเรียน ระดับชั้นประถมศึกษาตอนต้นจะมีคำถามคล้ายกับ VNOS – Form D เป็นคำถามปลายเปิดจำนวน 7 ข้อ มีการยกตัวอย่างและรูปภาพเพื่อใช้ในการอธิบายให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมากขึ้นและมีการสัมภาษณ์เพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องตามแบบฟอร์มของ Views of Nature of Science Questionnaire Form E (Lederman et al., 2002)

สำหรับงานวิจัยนี้กลุ่มที่ศึกษาคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ผู้วิจัยได้เลือกใช้ แบบวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ฟอร์ม D (Views of Nature of Science Questionnaire Form D: VNOS – Form D) เป็นรูปแบบที่จะนำมาปรับปรุงและวัดความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เนื่องจากVNOS – D เป็นคำถามที่มีมุมมองในการตอบแบบเปิดกว้างให้นักเรียนได้เขียนในสิ่งที่นักเรียนเข้าใจและผู้วิจัยนำความคิดเห็นของนักเรียนมาวิเคราะห์มุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ โดยให้นักเรียนได้สืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง แล้วนำความรู้ที่ได้มาสรุป

เป็นองค์ความรู้ตามความเข้าใจของตนเองอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

นักวิชาการศึกษาเรียกวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในคำที่แตกต่างกันไป เช่น การสอนแบบสืบสวนสอบสวน การสอนแบบสอบสวน การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ การสอนแบบสืบเสาะ การสอนแบบสืบค้น การสอนแบบสืบสอบ เป็นต้น ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้คำว่า “สืบเสาะหาความรู้” ซึ่งได้มีผู้ให้ความหมายของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ ดังนี้

ผดุงยศ ดวงมาลา (2530) ให้ความหมายว่า การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ หมายถึง การสอนที่ให้นักเรียนค้นหาความรู้ หรือความจริงทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง ครูผู้สอนจะสร้างสถานการณ์ยั่วยุให้นักเรียนได้วางแผนและกำหนดวิธีการค้นหาความรู้โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยตัวนักเรียนเอง

สุวัฒก์ นิยมค้า (2531) ให้ความหมายไว้ว่า การสอนแบบสืบเสาะ หาความรู้ เป็นการสอนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง โดยใช้วิธีการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือในการค้นหาความรู้ที่ผู้เรียนยังไม่เคยมีความรู้นั้นมาก่อน จนสามารถออกแบบทดลองและทดสอบสมมติฐานได้

กองการวิจัยทางการศึกษา (2536) ให้ความหมายของการสอนแบบ สืบเสาะหาความรู้ว่าเป็นการสอนที่เน้นการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฝึกให้นักเรียนรู้จักค้นหาความรู้โดยใช้กระบวนการทางความคิด หาเหตุผลจนค้นพบความรู้หรือแนวทางแก้ปัญหาที่ถูกต้องด้วยตนเองโดยครูตั้งคำถามประเภทกระตุ้นให้นักเรียนใช้ความคิดหาวิธีแก้ปัญหาเองได้และสามารถนาแนวทางการแก้ปัญหานั้นมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) ให้ความหมายว่า การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ หมายถึง การสอนที่เน้นกระบวนการแสวงหาความรู้ ที่จะช่วยให้นักเรียนได้ค้นพบความจริงต่าง ๆ ด้วยตนเองให้นักเรียนได้มีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้เนื้อหาวิชา ครูวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ ศึกษาโครงสร้างของกระบวนการสอน การจัดลำดับเนื้อหาโดยครูทำหน้าที่คล้ายผู้ช่วย และนักเรียนทำหน้าที่คล้ายผู้จัดการ วางแผนการเรียน นักเรียนเป็นผู้เริ่มต้นในการจัดการเรียนการสอนด้วยตนเอง มีความกระตือรือร้นที่จะศึกษาหาความรู้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ และเปลี่ยนแนวความคิดจากการเป็นผู้รับความรู้มาเป็นผู้แสวงหาความรู้และใช้ความรู้

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2544) ได้ให้ความหมายของการสอนแบบสืบสวน หมายถึง การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีให้นักเรียนเป็นผู้ค้นคว้าหาความรู้ หรือสร้างความรู้ด้วยตัวเอง

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ครูเป็นผู้อำนวยความสะดวก เพื่อให้นักเรียนบรรลุ เป้าหมาย วิธีสืบเสาะหาความรู้จะเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

ทิศนา แขมมณี (2545) ได้ให้นิยามการจัดการเรียนการสอนโดยเน้น กระบวนการสืบสอบ หมายถึง การดำเนินการเรียนการสอนโดยผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดคำถามเกิดความคิดและลงมือเสาะหาความรู้ เพื่อนำมาประมวลหาคำตอบหรือข้อสรุปด้วยตนเอง โดยที่ ผู้สอนช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ในด้านต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้กล่าวว่า การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ผสมผสานระหว่างการใช้ กระบวนการคิดและทักษะต่าง ๆ เพื่อที่จะแก้ปัญหาและคำตอบ ทำให้เกิดความเข้าใจและสามารถ นำไปประยุกต์ใช้ได้

Good (1973) ให้ความหมายของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ว่าเป็นเทคนิคหรือกลวิธีเฉพาะประการหนึ่งในการจัดให้เกิดการเรียนรู้เนื้อหาบางอย่างของวิชาวิทยาศาสตร์ โดยกระตุ้นให้นักเรียนมีความอยากรู้อยากเห็นและแสวงหาความรู้โดยการใช้คำถามและพยายามค้นหาคำตอบให้พบด้วยตนเอง เป็นวิธีการเรียนโดยการแก้ปัญหาในกิจกรรมการเรียนที่เกิดขึ้น (Problem-Solving) ซึ่งปรากฏการณ์ใหม่ ๆ ที่นักเรียนเผชิญในแต่ละครั้งจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการคิดด้วยการสังเกตอย่างถี่ถ้วนเป็นระบบ ออกแบบการวัดที่ต้องการแยกแยะสิ่งที่สังเกตกับสิ่งที่สรุป ประดิษฐ์คิดค้นตีความหมายภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด การใช้วิธีการอย่างฉลาดสามารถ ทดสอบได้และการสรุปอย่างมีเหตุผล

Simpson and Anderson (1981) ให้ความความของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ว่าเป็นวิธีการที่ครูและนักเรียนเป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยนักเรียนเป็นผู้ค้นหาความรู้ด้วยตนเองโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ครูเป็นเพียงผู้แนะนำ ผู้อำนวยความสะดวก เพื่อให้นักเรียนบรรลุเป้าหมาย และเน้นนักเรียนเป็นสำคัญ

จากความหมายของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้สรุปได้ว่า การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นการจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนค้นพบความรู้ด้วยตนเอง โดยครูต้องเตรียมสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้และทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยคอยอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ให้กับนักเรียน

2. รูปแบบของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

นักการศึกษาหลายท่านได้กำหนดรูปแบบหรือขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แตกต่างกัน ดังนี้

ผดุงยศ ดวงมาลา (2530) ได้แบ่งขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ ดังนี้

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนและการตั้งสมมติฐาน (Orientation and Hypothesis) ปัญหาคือสิ่งที่จะต้องศึกษาเพื่อให้ได้คำตอบ เป็นหน้าที่ของผู้สอนที่ต้องจัดสถานการณ์ กิจกรรมหรือเงื่อนไขที่ทำให้เกิดปัญหาข้อข้องใจ (Conceptual Conflicts) ขึ้นในตัวผู้เรียนซึ่งเป็นขั้นที่ทำให้ผู้เรียนสืบเสาะต่อไปว่าอะไรคือปัญหา หรือปัญหานั้นจะอธิบายว่าอย่างไร ในขั้นนี้ต้องให้ผู้เรียนคิดพิจารณา หรือใช้ทักษะการสังเกตพิจารณาสภาพของปัญหา เพื่อให้ผู้เรียนรู้จักการตั้งสมมติฐานเพื่อคาดคะเนคำตอบของปัญหาในเบื้องต้น

2. ขั้นสำรวจค้นคว้าหรือขั้นปฏิบัติการ (Exploration) เป็นขั้นที่นักเรียนจะต้องค้นหาเหตุผลหาข้อมูลเพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งนักเรียนจะต้องใช้วิธีการหลายวิธีรวมทั้งการสอบถามจากผู้สอนด้วย ครูต้องไม่ตอบปัญหาหรือบรรยายให้ฟัง หากจำเป็นต้องตอบปัญหาโดยไม่มีทางเลี่ยงให้ใช้วิธีรุกคำถามเพื่อให้นักเรียนได้ข้อคิดของตนให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

3. ขั้นอภิปรายและสรุปผล (Discussion and Conclusion) เมื่อรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจค้นคว้าหรือปฏิบัติการแล้ว ผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนอภิปรายถึงผลที่ได้เพื่อโยงไปสู่สมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าเป็นความจริงมากน้อยเพียงใด หากสมมติฐานนั้นเป็นความจริงให้สรุปเป็นหลักการต่อไป

4. ขั้นการนำไปใช้ (Application) เมื่อสรุปเป็นมโนมติหรือหลักการต่าง ๆ แล้ว ผู้สอนจะต้องกระตุ้นให้ผู้เรียนได้คิดว่าสิ่งที่สืบเสาะได้นั้นจะนำไปใช้ได้อย่างไรหรือนำไปผสมผสานกับความรู้อื่น ๆ ที่ได้เรียนมาแล้วให้เป็นโครงสร้างของความรู้ใหม่ได้อย่างไร

กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ (2546, น. 219-220) ได้แบ่งขั้นตอนในการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

1. การสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นขั้นการนำเข้าสู่บทเรียนหรือเรื่องที่สนใจซึ่งเกิดขึ้นเองจากความสงสัย หรืออาจเริ่มจากความสนใจของตัวนักเรียนหรือเกิดจากอภิปรายในกลุ่ม เรื่องที่น่าสนใจอาจจะมาจากเหตุการณ์ในข่วงนั้น หรือเป็นเรื่องที่เชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่เพิ่งเรียนมาแล้ว เป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถามกำหนดประเด็นที่จะศึกษา ครูอาจให้ศึกษาจากสื่อต่าง ๆ หรือเป็นผู้กระตุ้นด้วยการเสนอประเด็นขึ้นมาก่อน

2. การสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นขั้นที่มีการวางแผนกำหนดแนวทางในการสำรวจ ตรวจสอบ ตั้งสมมติฐาน กำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้หลายวิธี เช่น ทำการทดลอง ทำกิจกรรมภาคสนาม การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการสร้างสถานการณ์จำลอง การศึกษา

หาข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง หรือจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอที่จะใช้ในขั้นต่อไป

3. การอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เป็นขั้นการนำข้อมูลที่ได้มา วิเคราะห์ แปลผล สรุปผลและนำเสนอผลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น บรรยาย สร้างแบบจำลองหรือรูปวาด สร้างตาราง ฯลฯ การค้นพบในขั้นนี้เป็นไปได้หลายทาง เช่น สนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ โต้แย้งกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ หรือไม่เกี่ยวกับประเด็นที่ตั้งไว้แต่ผลที่ได้จะอยู่ในรูปใดก็สามารถสร้างความรู้และช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้

4. การขยายความรู้ (Elaboration) เป็นขั้นการนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือแนวคิดที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติมหรือนำแบบจำลอง หรือข้อสรุปที่ได้ไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ถ้าใช้อธิบายเรื่องอื่นได้มากก็แสดงว่าข้อจำกัดน้อย ซึ่งจะช่วยเชื่อมโยงกับเรื่องต่าง ๆ และทำให้เกิดความรู้กว้างขวางขึ้น

5. การประเมิน (Evaluation) เป็นขั้นการประเมินความรู้ทักษะกระบวนการที่นักเรียนได้รับและการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในเรื่องอื่น ๆ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้ให้แนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เน้นกระบวนการที่ผู้เรียนเป็นผู้คิดลงมือปฏิบัติ ศึกษาค้นคว้าอย่างมีระบบด้วยกิจกรรมที่หลากหลายทั้งการทำกิจกรรมในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ให้ผู้เรียนได้สังเกต สำรวจ ตรวจสอบ ทดลอง ด้วยวิธีการต่าง ๆ จนทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและเกิดการรับรู้อย่างมีความหมาย สามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ทำให้มีความรู้คงทนยาวนาน สามารถนำมาใช้ได้เมื่อมีสถานการณ์ใด ๆ มาเผชิญหน้าโดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ เพื่อฝึกทักษะการแสวงหาความรู้และพัฒนาการคิดขั้นสูงได้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้ กำหนดรูปแบบของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนหรือเรื่องที่สนใจ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเองจากความสนใจหรืออาจเริ่มจากความสนใจของตัวนักเรียนเองหรือเกิดจากการอภิปรายในกลุ่ม เรื่องที่น่าสนใจอาจมาจากเหตุการณ์ที่กำลังเกิดขึ้นอยู่ในช่วงเวลานั้นหรือเป็นเรื่องที่เชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่พึ่งเรียนมาแล้ว เป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถาม กำหนดประเด็นที่จะศึกษา ในกรณีที่ยังไม่มีประเด็นที่น่าสนใจ ครูอาจให้ศึกษาจากสื่อต่าง ๆ หรือเป็นผู้กระตุ้นด้วยการเสนอประเด็นขึ้นมาก่อน แต่ไม่ควรบังคับให้นักเรียนยอมรับประเด็นหรือคำถามที่ครู กำลังสนในเป็นเรื่องที่จะใช้ศึกษา เมื่อมีคำถามที่น่าสนใจและนักเรียนส่วนใหญ่ยอมรับให้เป็นประเด็นที่ต้องการศึกษาจึงร่วมกันกำหนดขอบเขตและแจกแจงรายละเอียดของเรื่องที่จะศึกษาให้มี

ความชัดเจนยิ่งขึ้น อาจรวมทั้งการรวบรวมความรู้จากประสบการณ์เดิม หรือความรู้จากแหล่งต่าง ๆ ที่จะช่วยให้นำไปสู่ความเข้าใจเรื่องหรือประเด็นที่จะศึกษามากขึ้น และมีแนวทางที่ใช้ในการสำรวจ ตรวจสอบอย่างหลากหลาย

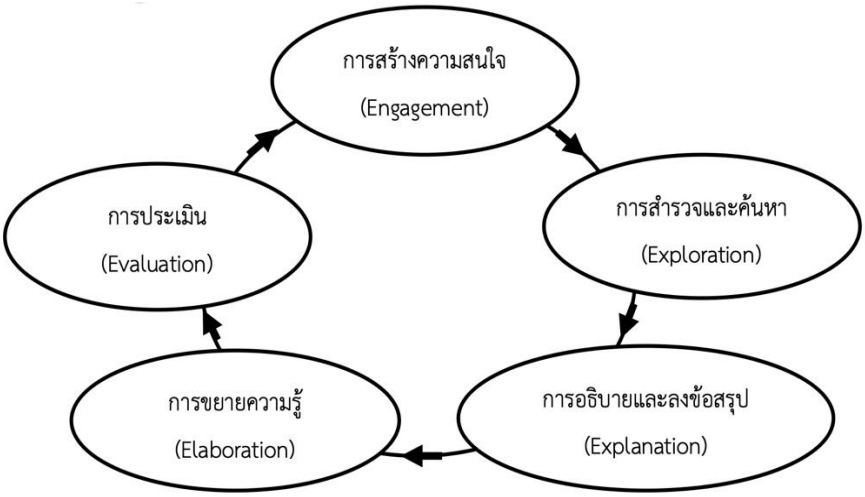
2. ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เมื่อทำความเข้าใจในประเด็นหรือคำถามที่สนใจจะศึกษาอย่างถ่องแท้แล้ว ก็มีการวางแผนกำหนดแนวทางการสำรวจตรวจสอบ ตั้งสมมติฐาน กำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ ลงมือปฏิบัติเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อสนเทศหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ วิธีการตรวจสอบอาจทำได้หลากหลายวิธี เช่น การทำการทดลอง การทำกิจกรรมภาคสนาม การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยสร้างสถานการณ์จำลอง (Simulation) การศึกษาหาข้อมูลจาก เอกสารอ้างอิงหรือจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลอย่างเพียงพอที่จะใช้ในขั้นต่อไป

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เมื่อได้ข้อมูลอย่างเพียงพอจากการ สำรวจตรวจสอบแล้ว จึงนำข้อมูลหรือข้อสนเทศที่ได้มาวิเคราะห์ แปลผล สรุปผลและนำเสนอผลที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น บรรยาย สรุป สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปวาด หรือสร้างตาราง ฯลฯ การค้นพบในขั้นนี้อาจเป็นไปได้หลายทาง เช่น สนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ โต้แย้งกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ หรือไม่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่กำหนดไว้ แต่ผลที่ได้จะอยู่ในรูปใดก็สามารถสร้างความรู้และช่วยให้เกิดการเรียนรู้ได้

4. ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นการนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับ ความรู้เดิมหรือแนวคิดที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติมหรือนำแบบจำลองหรือข้อมูลที่สรุปได้ไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ ถ้าใช้อธิบายเรื่องต่าง ๆ ได้มากก็แสดงว่าข้อจำกัดน้อยซึ่งก็จะช่วยให้ เชื่อมโยงกับเรื่องต่าง ๆ และทำให้มีความรู้กว้างขวางขึ้น

5. ขั้นประเมิน (Evaluation) เป็นการประเมินการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ ต่าง ๆ ว่านักเรียนมีความรู้อะไรบ้าง อย่างไรและมากน้อยเพียงใด จากขั้นนี้จะนำไปสู่การนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในเรื่องอื่น ๆ

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ของสถานบัน ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นการดำเนินกิจกรรมเป็นวงจรที่ต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แสดงการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

สาโรช โศภีรักษ์ (2546) ได้เสนอรูปแบบของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. กระตุ้นให้ผู้เรียนมองเห็นปัญหา ผู้สอนพูดคุยกับผู้เรียนให้ผู้เรียนเกิดคำถามและเปิดโอกาสโดยอาจจะสร้างสถานการณ์ เช่น การทดลองเรื่องใดเรื่องหนึ่งให้ดู ให้นักเรียนดูสื่ออย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น สไลด์ประกอบคำบรรยาย วิดีทัศน์ ของจริง รูปภาพหรือเรื่องเล่าเรื่องใดเรื่องหนึ่งให้ฟัง จากนั้นผู้เรียนช่วยกันตั้งสมมติฐานในสาเหตุของปัญหาเหล่านั้น

2. ขั้นสืบสวนสอบสวน ผู้เรียนกำหนดแนวทางด้านค้นคว้าหาคำตอบเหล่านั้น โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งควรจะมีแนวทางหลากหลายวิธีการ จากนั้นผู้เรียนทำการรวบรวมข้อมูล อาจจะโดยการทดลองตามขั้นตอน ในขณะรวบรวมข้อมูลหรือการทดลองบันทึกผลตลอดเวลา บางครั้งอาจจะมีกิจกรรมอื่นเพิ่มเติม เช่น การสำรวจ การศึกษานอกสถานที่ การสัมภาษณ์ การปฏิบัติภาคสนาม เป็นต้น

3. ขั้นทดสอบสมมติฐาน เมื่อผู้เรียนสอบสวนข้อมูลแล้วช่วยกันวิเคราะห์ข้อมูลหรือผลที่ได้จาการสืบสวนสอบสวนนั้น แล้วสรุปเป็นข้อมูลเพื่อตอบสมมติฐานที่กำหนดไว้ได้ตั้งแต่ตอนแรกว่าตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่

4. ขั้นสรุปคำตอบ โดยผู้เรียนและผู้สอนช่วยกันสรุปคำตอบ

5. ขั้นนำไปใช้ ผู้เรียนและผู้สอนวิเคราะห์ข้อสอบที่เกิดขึ้นแล้วช่วยกันอภิปรายว่าจะนำไปใช้ในสถานการณ์ที่ตั้งไว้อย่างไร

Suchman (1966) ได้แบ่งขั้นตอนในการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

1. ขั้นเผชิญปัญหาหรือสถานการณ์ ผู้สอนจัดสร้างสถานการณ์ที่จะให้ผู้เรียนเผชิญเพื่อเป็นการกระตุ้นการสืบเสาะ อาจเป็นคำพูด คำถามกิจกรรมหรือเป็นการทดลองก็ได้

2. ขั้นคิดค้นสืบเสาะ ขั้นนี้อาจใช้คำถามคำตอบติดต่อกันไปหรือทำการทดลองใหม่ศึกษาข้อมูลใหม่หรือผสมผสานวิธีการต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

3. ขั้นสรุปความคิดที่คิดค้นพบใหม่ เป็นการสรุปหรือขยายหรือสร้างแนวคิด รวบยอดขึ้นใหม่ ซึ่งเป็นความรู้ที่พบขั้นสุดท้าย

Carin and Sund (1980, อ้างถึงใน ประภัสสร แก้วพิลารมย์, 2554) ได้แบ่งวิธีสืบเสาะหาความรู้เป็น 3 ประเภท โดยใช้บทบาทของครูและนักเรียนเป็นเกณฑ์ดังนี้

1. แบบ Guided discovery เป็นวิธีการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนทำงานหรือปฏิบัติการทดลอง วิธีนี้ครูและผู้เรียนมีบทบาทเท่าเทียมกัน โดยเตรียมวิธีการปฏิบัติการทดลองไว้แล้วเป็นระดับที่ง่ายที่สุดเป็นวิธีสืบสอบที่ครูเป็นผู้กำหนดปัญหา วางแผนการทดลอง เก็บรวบรวม ข้อมูล เตรียมอุปกรณ์เครื่องมือไว้เรียบร้อย นักเรียนมีหน้าที่ปฏิบัติการทดลองทำกิจกรรมตามแนวทางที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจเรียกว่าเป็นวิธีสืบเสาะหาความรู้ที่มีการแนะนำปฏิบัติการหรือกิจกรรมสำเร็จรูป ซึ่งมีลำดับขั้นตอน ดังนี้

1.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ครูเป็นผู้นำอภิปรายโดยตั้งปัญหา

1.2 ขั้นอภิปรายก่อนทำกิจกรรมการทดลอง อาจจะเป็นการตั้งสมมติฐาน ครู อธิบายหรือให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองว่ามีวิธีการใช้อย่างไร จึงจะไม่เกิดอันตรายและมีข้อควรระมัดระวังในการทดลองแต่ละครั้งอย่างไร

1.3 ขั้นทำการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล ผู้เรียนเป็นผู้ลงมือทำการทดลองด้วยตัวเอง พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

1.4 ขั้นอภิปรายหลังการทดลอง เป็นขั้นของการนำเสนอข้อมูลและสรุปผลการทดลอง ในขั้นตอนนี้ครูต้องนำการอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อนำผู้เรียนไปสู่ข้อสรุป เพื่อให้ได้แนวคิดหรือหลักการที่สำคัญของบทเรียน

2. แบบ Less guided discovery เป็นวิธีการสืบเสาะหาความรู้ที่ครูวางแผน วิธีนี้ครูมีบทบาทลดลงเมื่อเทียบกับวิธีในแบบที่ 1 ผู้เรียนมีบทบาทมากขึ้น เป็นวิธีที่ซับซ้อนกว่า โดยเป็นวิธีการสืบเสาะหาความรู้ที่ครูเป็นผู้กำหนดปัญหา และให้ผู้เรียนหาวิธีแก้ปัญหาด้วยตนเอง โดยเริ่มตั้งแต่การตั้งสมมติฐาน วางแผนการทดลอง ทำการทดลองจนถึงสรุปผลการทดลองและมีครูเป็นผู้อำนวยความสะดวก ซึ่งอาจเรียกวิธีนี้ว่าวิธีสอนแบบไม่กำหนดแนวทาง (Unstructured Laboratory) ซึ่งมีลำดับขั้นตอน ดังนี้

2.1 สร้างสถานการณ์หรือปัญหา ซึ่งอาจทำโดยการใช้คำถามใช้สถานการณ์จริง การสาธิตเพื่อเสนอปัญหา ใช้ภาพปริศนาหรือภาพยนตร์เพื่อเสนอปัญหา

2.2 ผู้เรียนวางแผนแก้ปัญหา ครูแนะแนวทาง แหล่งความรู้

2.3 ผู้เรียนดำเนินการแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้

2.4 รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการแก้ปัญหาด้วยตนเอง โดยมีครูเป็นผู้ดูแลร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ความรู้ที่ถูกต้องสมบูรณ์

3. แบบ Free discovery เป็นวิธีการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้ผู้เรียนเป็นผู้วางแผนวิธีนี้ผู้เรียนมีบทบาทมากที่สุด ครูมีบทบาทน้อยหรือไม่มีเลย เป็นระดับที่ซับซ้อนและยากที่สุดเป็นวิธีการที่ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหา วางแผนการทดลองเอง เก็บข้อมูล ดำเนินการทดลอง ตลอดจนสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง วิธีนี้ผู้เรียนมีอิสระเต็มที่ในการศึกษาตามความสนใจ ครูเป็นเพียงผู้กระตุ้นให้ผู้เรียนกำหนดปัญหาด้วยตนเอง ดังตัวอย่างที่ Carin and Sund (1975) ได้ยกตัวอย่าง ปัญหาที่ครูถามผู้เรียน เช่น

3.1 ถ้านักเรียนเป็นครูและกำลังสนใจเลือกหัวข้อที่จะศึกษาในภาคเรียนนี้นักเรียนคิดว่าจะศึกษาเรื่องอะไร?

3.2 ปัญหาสำคัญของชุมชนที่นักเรียนสนใจศึกษามีอะไรบ้าง?

3.3 เมื่อนักเรียนประสบปัญหาในชุมชนของนักเรียนเอง เช่น ปัญหามลพิษ นักเรียน ต้องการอภิปรายเกี่ยวกับอะไร ลองเล่าให้เพื่อนฟังว่าปัญหาดังกล่าวเป็นอย่างไร?

เมื่อผู้เรียนกำหนดปัญหาได้ตามความสนใจของตนเองแล้ว ผู้เรียนจึงทำการวางแผนเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว แล้วดำเนินการแก้ปัญหา ตลอดจนสรุปผลด้วยตนเอง ซึ่งอาจทำเป็นรายบุคคลหรือเป็นรายกลุ่มก็ได้ โดยมีครูเป็นที่ปรึกษาให้กำลังใจเท่านั้น

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามรูปแบบของสถานบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้น ดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นสำรวจและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป 4) ขั้นขยายความรู้ และ 5) ขั้นประเมิน

3. จิตวิทยาที่เป็นพื้นฐานในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้มีรากฐานมาจากทฤษฎีของเพียเจต์ (Paget, n.d. อ้างถึงใน เลิศศักดิ์ ประกอบชัยชนะ, 2544) กล่าวถึงพัฒนาการทางสมองของมนุษย์ ไว้ว่า ความคิดของมนุษย์ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ขั้น คือ

ขั้นที่ 1 การดูดซึม (Assimilation) หมายถึง การเร้าให้นักเรียนนำความรู้เดิมมาใช้ในชั้นเรียน โดยใช้ความรู้เดิมเป็นแนวทางในการคิดให้เกิดการเรียนรู้ใหม่และเมื่อความรู้เดิมไม่สามารถนำมาอธิบายปัญหาได้ จะนำไปสู่ขั้นที่ 2

ขั้นที่ 2 การปรับปรุง (Accommodation) หมายถึง การปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงขยายโครงสร้างเดิม เพื่อการเรียนรู้ใหม่ โดยการนำมาสัมพันธ์กับโครงสร้างใหม่ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงโครงสร้างเดิม ก็ไม่สามารถรับความรู้ใหม่ได้

ผดุงยศ ดวงมาลา (2530) ได้ระบุถึงหลักทางจิตวิทยาซึ่งสนับสนุนการสอน แบบสืบเสาะหาความรู้ดังนี้

เด็กจะเรียนวิทยาศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น ก็ต่อเมื่อได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการค้นหาความรู้นั้น ดีกว่าจะให้เด็กรู้จากการบอกเล่า ซึ่งการเรียนรู้จะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อสถานการณ์ยั่วยุให้เด็กอยากจะเรียน ไม่ใช่บังคับซึ่งเป็นหน้าที่ของครูโดยตรงที่จะสร้างสถานการณ์ให้เกิดการเรียนรู้ และการให้ผู้เรียนได้เรียนโดยใช้ความคิดพิจารณาจะช่วยให้มีความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งเป็นการพัฒนาสมรรถภาพของสมองขั้นสูง

สุวัฒก์ นิยมค้า (2531) ได้กล่าวถึง หลักจิตวิทยาการเรียนรู้ที่เป็น พื้นฐานของการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

1. ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์นั้น นักเรียนจะเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้นก็ต่อเมื่อได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการค้นหาความรู้นั้น ๆ ได้มากกว่าการบอกให้รู้

2. การเรียนรู้จะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อสถานการณ์แวดล้อมในการเรียนรู้นั้นยั่วยุให้นักเรียนอยากเรียน ไม่ใช่บีบบังคับและผู้สอนจะต้องจัดกิจกรรมที่นำไปสู่ความสำเร็จในการค้นคว้าแทนที่จะให้นักเรียนเกิดความล้มเหลว

3. วิธีการสอนของครูจะต้องส่งเสริมความคิดให้นักเรียนคิดเป็นมีความคิดสร้างสรรค์ ให้โอกาสนักเรียนได้แสดงหรือมีความคิดเห็นของตนได้มากที่สุด

สุวิมล เขี้ยวแก้ว (2540) กล่าวถึงจิตวิทยาการเรียนรู้ซึ่งเป็นพื้นฐานของการ สอนแบบสืบเสาะหาความรู้มีดังนี้

1. นักเรียนจะเรียนได้อย่างดียิ่งขึ้นเมื่อได้เกี่ยวข้องกับการค้นหาความรู้นั้นโดยตรงมากกว่าที่จะได้รับรู้จากการบรรยาย

2. การเรียนรู้จะเกิดได้ดีที่สุด เมื่อสถานการณ์แวดล้อมในการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนเกิดความใฝ่รู้ ความรู้อยากทราบข้อเท็จจริง หรือรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งเป็นหน้าที่ของครูโดยตรงที่ต้องจัดกิจกรรมที่จะนำไปสู่ความสำเร็จในการค้นคว้า

3. การให้ผู้เรียนได้เรียนโดยใช้การพิจารณา จะช่วยให้นักเรียนมีความคิด สร้างสรรค์ ซึ่งเป็นการพัฒนาสมรรถภาพขั้นสูงของสมอง

จากจิตวิทยาพื้นฐานในการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ดังกล่าวสรุปได้ว่าในการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ ผู้สอนต้องจัดกิจกรรมหรือสร้างสถานการณ์การยั่วยุให้ได้ นักเรียนวางแผนกำหนดแนวทางวิธีการในการค้นหาความรู้ด้วยตนเอง จนกระทั่งได้คำตอบ ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความคิดและหลักการต่าง ๆ เข้าด้วยกันอันจะก่อให้เกิดการเรียนได้ดีที่สุด

4. ขั้นตอนและบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

สถานบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้กล่าวถึงขั้นตอนและบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการ เรียนรู้	ลักษณะของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของ ผู้เรียน
1. ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement)	ครูจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ กระตุ้น ยั่วยุหรือ ท้าทายให้ผู้เรียนสนใจ สงสัย ใคร่ อยากรู้ อยากเห็น หรือขัดแย้ง เกิดปัญหา ทำให้ผู้เรียนต้องการศึกษาค้นคว้า ทดลองหรือแก้ปัญหา (สำรวจตรวจสอบด้วยตัวของผู้เรียนเอง)	1. เชื่อมโยงกับความรู้เดิม 2. แปลกใหม่ผู้เรียนไม่เคยพบมาก่อน 3) ยั่วยุ ท้าทาย น่าสนใจ ใคร่รู้ 4. เปิดโอกาสให้มีแนวทางการตรวจสอบอย่างหลากหลาย 5. นำไปสู่กระบวนการตรวจสอบด้วยตัวของผู้เรียนเอง	1. สร้างความสนใจ 2. สร้างความอยากรู้อยากเห็น 3. ตั้งคำถามกระตุ้นให้ผู้เรียนคิด 4. ให้เวลาผู้เรียนคิดก่อนตอบคำถาม หรือไม่เร่งเร้าในการตอบคำถาม 5. ดึงเอาคำตอบหรือความคิดที่ยังไม่ครอบคลุม	1. ตั้งคำถาม 2. ตอบคำถาม 3. แสดงความคิดเห็น 4. กำหนดปัญหาหรือเรื่องที่จะสำรวจให้ชัดเจน 5. แสดงความสนใจ

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการ เรียนรู้	ลักษณะของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของ ผู้เรียน
2. ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)	ครูจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ให้ผู้เรียนสำรวจตรวจสอบปัญหาหรือประเด็นที่ผู้เรียนสนใจใคร่รู้	1. ผู้เรียนได้เรียนรู้วิธีแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง 2. ผู้เรียนทำงานตามความคิดอย่างอิสระ 3. ผู้เรียนตั้งสมมติฐานได้หลากหลาย 4. พิจารณาข้อมูลและข้อเท็จจริงที่ปรากฏแล้วกำหนสมมติฐานที่เป็นไปได้ 5. ผู้เรียนวางแผนแนวทางการสำรวจตรวจสอบ 6. ผู้เรียนวิเคราะห์อภิปรายเกี่ยวกับกระบวนการสำรวจตรวจสอบ 7. ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติในการสำรวจตรวจสอบ	1. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้วิเคราะห์กระบวนการสำรวจ ตรวจสอบ 2. ถามเพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง 3. ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบด้วย ตนเอง 4. ให้เวลาผู้เรียนในการคิดไตร่ตรองปัญหา 5. ฟังการโต้ตอบกันของผู้เรียน 6. ทำหน้าที่ในการให้คำปรึกษา 7. อำนวยความสะดวก	1. คิดอย่างอิสระแต่อยู่ในขอบเขตของกิจกรรม 2. ตั้งสมมติฐานที่เป็นไปได้โดยการอภิปราย 3. พิจารณาสมมติฐานที่เป็นไปได้โดยการอภิปราย 4. ระดมความคิดเห็นในการแก้ปัญหาการตรวจสอบ 5. ตรวจสอบสมมติฐานอย่างเป็นระบบขั้นตอนถูกต้อง 6. บันทึกการสังเกตหรือผลการสำรวจตรวจสอบอย่างเป็นระบบละเอียดรอบคอบ 7. กระตือรือร้นมุ่งมั่นในการสำรวจตรวจสอบ

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการ เรียนรู้	ลักษณะของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของ ผู้เรียน
3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)	ครูจัดกิจกรรม หรือสถานการณ์ ที่ให้ผู้เรียนวิเคราะห์ อธิบายความรู้หรืออภิปรายซักถาม แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ หรือสิ่งที่ค้นพบ เพื่อให้ผู้เรียนได้ พัฒนาความรู้ ความเข้าใจในองค์ความรู้ที่ได้อย่างชัดเจน	1. ผู้เรียนได้นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบมา 1.1 วิเคราะห์แปลผล 1.2 สรุปผลสอดคล้องกับข้อมูลถูกต้องเชื่อถือได้ 1.3 อภิปรายผลอย่างสมเหตุสมผล 1.4 นำเสนอ ผลงานในรูปแบบต่าง ๆ	1. ส่งเสริมให้ผู้เรียน ได้อธิบายผลการสำรวจตรวจสอบและแนวคิด ฯลฯ ด้วยคำพูดของผู้เรียนเอง 2. ให้ผู้เรียนเชื่อมโยงประสบการณ์และความรู้เดิมมาใช้ในการอธิบาย 3. ให้ผู้เรียนอธิบายโดยอ้างอิงเหตุผล หลักการทางวิชาการหรือหลักฐานประกอบ 4. ให้ความสนใจกับคำอธิบายของผู้เรียน	1. อธิบายการแก้ปัญหาหรือผลการสำรวจตรวจสอบที่ได้ 2. อธิบายผลการสำรวจตรวจสอบสอดคล้องกับข้อมูล 3. อธิบายโดยอ้างอิงเหตุผลหลักการทางวิชาการและหลักฐานประกอบ 4. ฟังการอธิบายของผู้อื่นแล้วคิดวิเคราะห์อภิปราย 5. ซักถามเกี่ยวกับสิ่งที่เพื่อนอธิบาย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการ เรียนรู้	ลักษณะของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของ ผู้เรียน
4. ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)	ครูจัดกิจกรรมหรือสถารการณ์ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ขยายหรือเพิ่มเติมความรู้ความเข้าใจในองค์ความรู้ใหม่ให้กว้างขวาง กระจ่าง สมบูรณ์และลึกซึ้งยิ่งขึ้น	1. ให้ผู้เรียนมีความรู้ลึกซึ้งขึ้นหรือขยายกรอบความคิดให้กว้างขึ้น 2. ให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้เดิมไปสู่ความรู้ใหม่ 3. ให้ผู้เรียนนำความรู้ใหม่ไปสู่การศึกษาทดลองเพิ่มขึ้น 4. ให้ผู้เรียนนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในเรื่อง อื่นหรือสถานการณ์อื่น	1. ส่งเสริมให้ผู้เรียนขยายแนวคิดและทักษะจากการสำรวจตรวจสอบ 2. ส่งเสริมให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้จาก การสำรวจตรวจสอบกับความรู้อื่น ๆ	1. ใช้ข้อมูลจากการสำรวจตรวจสอบไปอธิบายหรือนำทักษะจากการสำรวจตรวจสอบ ไปใช้ใน สถานการณ์ใหม่ที่คล้ายกับสถานการณ์เดิม 2. นำข้อมูลจาก การสำรวจ ตรวจสอบไปสร้าง ความรู้ใหม่ 3. นำความรู้ใหม่เชื่อมโยงกับความรู้เดิมเพื่ออธิบาย หรือนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน
5. ขั้นประเมินผล (Evaluation)	ครูจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนวิเคราะห์วิจารณ์หรืออภิปรายซักถามแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ซึ่งกันและ	1. มีการตรวจสอบความถูกต้องขององค์ความรู้และกระบวนการที่ได้โดย 1.1 วิเคราะห์แลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน	1. ถามคำถามเพื่อนำไปสู่การประเมิน 2. ส่งเสริมให้ผู้เรียนประเมินกระบวนการและองค์ความรู้ด้วยตนเอง	1. วิเคราะห์กระบวนการสร้างความรู้ด้วยตนเอง 2. ถามคำถามที่เกี่ยวข้องจากการสังเกตหลักฐานและคาอธิบายซึ่ง

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการ เรียนรู้	ลักษณะของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของ ผู้เรียน
	กันเปรียบเทียบ ประเมิน ปรับปรุง หรือ ทบทวนใหม่	1.2 อภิปราย ประเมิน ปรับปรุง หรือเพิ่มเติมทั้ง กระบวนการ และองค์ความรู้ 1.3 เปรียบเทียบ ผลการสำรวจ ตรวจสอบ กับสมมติฐาน ที่กำหนดไว้	3. ให้ผู้เรียน วิเคราะห์สิ่งที่ ควรปรับปรุง แก้ไขใน การสำรวจ ตรวจสอบ	อาจนำไปสู่การ สำรวจตรวจสอบ ใหม่ 3 ประเมินความ ก้าวหน้าและ ความรู้ของตนเอง

ตารางที่ 2.2 บรรยากาศในการจัดการเรียนเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

บรรยากาศการเรียนการสอนโดยทั่วไป	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับผู้เรียน	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนด้วยกันเอง
1. ไม่เครียด 2. สนุก 3. ไม่สับสน 4. ผู้เรียนคิดอย่างอิสระ 5. ผู้เรียนสนใจ กระตือรือร้น เข้าร่วมกิจกรรม	1. ครูเป็นกันเองกับผู้เรียน 2. ครูยิ้มแย้มแจ่มใส 3. ครูติชมผู้เรียนอย่าง สร้างสรรค์ 4. ครูให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือผู้เรียน 5. ครูยอมรับฟังความคิดเห็น ของผู้เรียน	1. ร่วมมือในการทำกิจกรรม ช่วยกันคิด ช่วยกันทำงาน 2. อภิปรายแสดงความ คิดเห็น ร่วมกัน 3. ยอมรับฟังความคิดเห็น ซึ่งกันและกัน

จากการศึกษาขั้นตอนและบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็น

ศูนย์กลาง โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้แสวงหาความรู้และค้นพบความจริงต่าง ๆ ด้วยตนเอง จากการลงมือปฏิบัติ การแลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง และมีครูผู้สอนคอยทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ของผู้เรียน

5. ข้อดีและประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

ผดุงยศ ดวงมาลา (2530) กล่าวถึงข้อดีของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

5.1 ทำให้นักเรียนได้ใช้ความคิดมากกว่าความจำ

5.2 ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดเจตคติทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น

5.3 ทำให้นักเรียนเกิดทักษะทางวิทยาศาสตร์

5.4 ทำให้การเรียนการสอนสอดคล้องกับเอกลักษณ์และปรัชญาวิทยาศาสตร์มากขึ้น

ประจวบจิตร คาจัตุรัส (2537) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

1. ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ทั้งในด้านเนื้อหาและกระบวนการแสวงหาความรู้
2. ช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้มโนมติทางวิทยาศาสตร์ได้รวดเร็ว
3. ช่วยพัฒนาการคิดอย่างมีเหตุผลของผู้เรียน
4. ทำให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในการแสวงจากภายในมากกว่าภายนอก
5. ทำให้ความรู้ที่ผู้เรียนได้รับคงทนและสามารถใช้ในชีวิตประจำวันได้

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) กล่าวถึงข้อดีของจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

1. นักเรียนได้มีโอกาสพัฒนาความคิดอย่างเต็มที่ได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองจึงมีความอยากเรียนรู้ตลอดเวลา

2. นักเรียนได้มีโอกาสได้ฝึกความคิด และฝึกการกระทำ ทำให้นักเรียนรู้วิธีจัดระบบความคิดและวิธีแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง ทำให้ความรู้คงทนและถ่ายโยงการเรียนรู้ได้กล่าวคือทำให้สามารถจดจำได้นานและนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่อีก

3. นักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนการสอน

4. นักเรียนสามารถเรียนรู้ความคิดรวบยอด และหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้เร็วขึ้น

5. นักเรียนจะเป็นผู้มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2552) ได้กล่าวถึง ข้อดีของจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ ดังนี้

1. นักเรียนมีโอกาสได้พัฒนาความคิดอย่างเต็มที่ ได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองจึงมีความอยากเรียนรู้อยู่ตลอดเวลา

2. นักเรียนมีโอกาสได้ฝึกความคิดและฝึกการกระทำ ทำให้ได้เรียนรู้วิธีจัดระบบความคิด และวิธีเสาะแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง ทำให้ความรู้คงทนและถ่ายโยงการเรียนรู้ได้ กล่าวคือ ทำให้สามารถจดจำได้นานและนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่อีกด้วย

3. นักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนการสอน

4. นักเรียนสามารถเรียนรู้มโนมติและหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้เร็วขึ้น

5. นักเรียนจะเป็นผู้มีเจตคติที่ดีต่อการสอนวิทยาศาสตร์

สุคนธ์ สินธพานนท์ (2558) ได้กล่าวถึง ประโยชน์ของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

1. ผู้เรียนได้ประสบการณ์ตรงจากการเรียนรู้ มีโอกาสได้ศึกษา สำรวจ ค้นหา รวบรวมข้อมูล บันทึก ทดสอบความคิด ทดลองปฏิบัติด้วยตนเอง และสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง

2. ผู้เรียนสามารถทำงานร่วมกันกับผู้อื่น รู้จักอภิปรายแสดงความคิดเห็น ระหว่างกันรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นอย่างมีเหตุผล

3. ผู้เรียนรู้จักคิดแก้ปัญหา คิดตัดสินใจ คิดอย่างมีวิจารณญาณ สร้างสรรค์ความรู้และทักษะ

4. ผู้เรียนรู้จักประเมินการทำงานด้วยตนเอง และนำผลการประเมินไปปรับปรุงและพัฒนาให้ดีขึ้น

Suchman (1966) ได้เขียนถึงประโยชน์ของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

1. การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ จะก่อให้เกิดการเรียนรู้มากกว่าการสอนโดยที่ครูเป็นผู้บอกให้ทั้งหมด หรือมากกว่าที่นักเรียนเรียนรู้จากตาราอย่างเดียว ผู้ที่ได้รับการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้จะมีอิสระในการดูดซึม (Assimilation) ประสบการณ์ต่าง ๆ เอาไว้ นักเรียนมีอิสระ ที่จะติดตามค้นคว้าหาความรู้และทำความเข้าใจได้ตามต้องการ ตามความอยากรู้อยากเห็นอันเหมาะสมกับระดับความรู้พื้นฐาน

2. การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้นั้นเป็นการก่อให้เกิดแรงจูงใจในการค้นหาความรู้ได้เป็นอย่างดี เพราะนักเรียนจะรู้สึกสนุกสนาน สามารถร่วมกิจกรรมได้อย่างอิสระ ซึ่งกิจกรรมเหล่านั้นช่วยให้มีการพัฒนาการด้านความคิด มีความรู้มากขึ้นและมีพัฒนาการในด้านการสร้างความคิดรวบยอดอีกด้วย

3. ความคิดรวบยอดที่นักเรียนได้จากการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ น่าจะมีความหมายและคุณค่าสำหรับนักเรียนมากกว่าความคิดรวบยอดที่มีคนอื่นมาบอกให้จำ เพราะนักเรียนจะเป็นผู้ค้นพบความคิดรวบยอดต่าง ๆ ด้วยตนเองจากข้อมูล และเชื่อว่าความคิดรวบยอดที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการเช่นนี้จะฝังแน่นและเป็นประโยชน์กับนักเรียนได้นาน

คลื่นและแสง

หน่วยการเรียนรู้เรื่อง คลื่นและแสง เป็นเนื้อหาตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560) มีรายละเอียดดังนี้

1. มาตรฐานและตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและแสงตามหลักสูตร แกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

เป้าหมายของวิทยาศาสตร์ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด เพื่อให้ได้ทั้งกระบวนการและความรู้จากวิธีการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาจัดระบบเป็นหลักการ แนวคิด และองค์ความรู้ การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงมีเป้าหมายที่สำคัญ ดังนี้

1.1 เพื่อให้เข้าใจหลักการ ทฤษฎี และกฎที่เป็นพื้นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์

1.2 เพื่อให้เข้าใจขอบเขตของธรรมชาติของวิชาวิทยาศาสตร์และข้อจำกัดในการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

1.3 เพื่อให้มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางเทคโนโลยี

1.4 เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์และสภาพแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน

1.5 เพื่อนำความรู้ ความเข้าใจ ในวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิต

1.6 เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ

1.7 เพื่อให้เป็นผู้ที่มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์

เรียนรู้อะไรในวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้า

และสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และแก้ปัญหาที่หลากหลายให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทากิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลายเหมาะสมกับระดับชั้นโดยกาหนดสาระสำคัญ ดังนี้

1. วิทยาศาสตร์ชีวภาพ เรียนรู้เกี่ยวกับ ชีวิตในสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์ การดำรงชีวิตของพืช พันธุกรรม ความหลากหลายทางชีวภาพและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

2. วิทยาศาสตร์กายภาพ เรียนรู้เกี่ยวกับ ธรรมชาติของสาร การเปลี่ยนแปลงของสารการเคลื่อนที่ พลังงาน และคลื่น

3. วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ เรียนรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบของเอกภพ ปฏิสัมพันธ์ภายในระบบสุริยะ เทคโนโลยีอวกาศ ระบบโลก การเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา กระบวนการเปลี่ยนแปลงลมฟ้าอากาศ และผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

4. เทคโนโลยี

1) การออกแบบและเทคโนโลยี เรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเพื่อการดำรงชีวิตในสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ใช้ความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และศาสตร์อื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ด้วย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสมโดยคานึงถึงผลกระทบต่อ ชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม

2) วิทยาการคำนวณ เรียนรู้เกี่ยวกับการคิดเชิงคำนวณ การคิดวิเคราะห์แก้ปัญหาเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ในการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาระและมาตรฐานการเรียนรู้ที่เกี่ยวกับคลื่นและแสง

สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ

มาตรฐาน ว 2.3 เข้าใจความหมายของพลังงาน การเปลี่ยนแปลงและการถ่ายโอนพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสสารและพลังงาน พลังงานในชีวิตประจำวัน ธรรมชาติ ของคลื่น ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเสียง แสง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางที่เกี่ยวกับคลื่นและแสง ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

ตารางที่ 2.3 ตารางตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางที่เกี่ยวกับคลื่นและแสง ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
ม.3	10. สร้างแบบจำลองที่อธิบายการเกิดคลื่นและบรรยายส่วนประกอบของคลื่น	• คลื่นเกิดจากการส่งผ่านพลังงานโดยอาศัยตัวกลาง และไม่อาศัยตัวกลางในคลื่นกล พลังงานจะถูก ถ่ายโอนผ่านตัวกลางโดยอนุภาคของตัวกลางไม่เคลื่อนที่ไปกับคลื่น คลื่นที่แผ่ออกมาจาก แหล่งกำเนิดคลื่นอย่างต่อเนื่องและมีรูปแบบที่ซ้ำกัน บรรยายได้ด้วยความยาวคลื่น ความถี่ แอมพลิจูด
	11. อธิบายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสเปกตรัม คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากข้อมูลที่รวบรวมได้ 12. ตระหนักถึงประโยชน์และอันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยนำเสนอการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ และอันตรายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน	• คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่ไม่อาศัยตัวกลาง ในการเคลื่อนที่มีความถี่ต่อเนื่องเป็นช่วงมาก เคลื่อนที่ในสุญญากาศด้วยอัตราเร็วเท่ากัน แต่จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต่างกันในตัวกลางอื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกเป็นช่วงความถี่ต่าง ๆ เรียกว่า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ละช่วงความถี่มีชื่อเรียกต่างกัน ได้แก่ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ อินฟราเรด แสงที่มองเห็น อัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ • เลเซอร์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น เดียว เป็นลำแสงขนานและมีความเข้มสูง นำไปใช้ ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการสื่อสาร มีการใช้เลเซอร์สำหรับส่งสารสนเทศผ่านเส้นใยนำแสง โดยอาศัยหลักการ

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
		การสะท้อนกลับหมดของแสง ด้านการแพทย์ใช้ในการผ่าตัด • คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านอกจากจะสามารถนำไปใช้ ประโยชน์แล้ว ยังมีโทษต่อมนุษย์ด้วย เช่น ถ้ามนุษย์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตมากเกินไป อาจจะทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง หรือถ้าได้รังสี แกมมา ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง และสามารถทะลุผ่านเซลล์และอวัยวะได้ อาจทำลายเนื้อเยื่อหรืออาจทำให้เสียชีวิตได้ เมื่อได้รับรังสีแกมมาในปริมาณสูง
	13. ออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลอง ด้วยวิธีที่เหมาะสมในการอธิบายกฎการสะท้อนของแสง 14. เขียนแผนภาพการเคลื่อนที่ของแสงแสดง การเกิดภาพจากกระจกเงา	• เมื่อแสงตกกระทบวัตถุจะเกิดการสะท้อนซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง โดยรังสีตกกระทบ เส้นแนวฉากรังสีสะท้อนอยู่ในระนาบเดียวกันและมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ภาพจากกระจกเงาเกิดจากรังสีสะท้อนตัดกันหรือต่อแนวรังสีสะท้อนให้ตัดกันโดยถ้ารังสีสะท้อนตัดกันจริงจะเกิดภาพจริง แต่ถ้าต่อแนวรังสีสะท้อนให้ไปตัดกันจะเกิดภาพเสมือน
	15. อธิบายการหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลางโปร่งใสที่แตกต่างกัน และอธิบายการกระจาย แสงของแสงขาวเมื่อผ่านปริซึมจากหลักฐานเชิงประจักษ์ 16. เขียนแผนภาพการเคลื่อนที่ของแสงแสดงการเกิดภาพจากเลนส์บาง	• เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางโปร่งใสที่แตกต่างกัน เช่น อากาศและน้ำ อากาศและแก้ว จะเกิดการหักเหหรืออาจเกิดการสะท้อนกลับหมดใน ตัวกลางที่แสงตกกระทบ การหักเหของแสงผ่านเลนส์ทำให้เกิดภาพที่มีชนิดและขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
		• แสงขาวประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ เมื่อแสงขาว ผ่านปริซึมจะเกิดการกระจายแสงเป็นแสงสีต่าง ๆ เรียกว่า สเปกตรัมของแสงขาว เมื่อเคลื่อนที่ในตัวกลางใด ๆ ที่ไม่ใช่อากาศ จะมีอัตราเร็วต่างกัน จึงมีการหักเหต่างกัน
	17. อธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสงและการทำงานของทัศนอุปกรณ์จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 18. เขียนแผนภาพการเคลื่อนที่ของแสงแสดงการเกิดภาพของทัศนอุปกรณ์และเลนส์ตา	• การสะท้อนและการหักเหของแสงนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสง เช่น รุ้ง มิราจ และ อธิบายการทำงานของทัศนอปุกรณ์ เช่น แว่นขยาย กระจกโค้งจราจร กล้องโทรทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์ และแว่นสายตา • ในการมองวัตถุ เลนส์ตาจะถูกปรับโฟกัส เพื่อ ให้เกิดภาพชัดที่จอตา ความบกพร่องทางสายตา เช่น สายตาสั้นและสายตายาว เป็นเพราะตำแหน่ง ที่เกิดภาพไม่ได้อยู่ที่จอตาพอดี จึงต้องใช้เลนส์ในการแก้ไขเพื่อช่วยให้มองเห็นเหมือนคนสายตา ปกติ โดยคนสายตาสั้นใช้เลนส์เว้า ส่วนคน สายตายาวใช้เลนส์นูน
	19. อธิบายผลของความสว่างที่มีต่อดวงตาจากข้อมูลที่ได้จากการสืบค้น 20. วัดความสว่างของแสงโดยใช้อุปกรณ์วัดความสว่างของแสง 21. ตระหนักในคุณค่าของความรู้เรื่องความสว่างของแสงที่มีต่อดวงตาโดย	• ความสว่างของแสงมีผลต่อดวงตามนุษย์ การใช้สายตาในสภาพแวดล้อมที่มีความสว่างไม่เหมาะสม จะเป็นอันตรายต่อดวงตา เช่น การดูวัตถุในที่มีความสว่างมากหรือน้อยเกินไป การจ้องดูหน้าจอภาพเป็นเวลานาน ความสว่างบน

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
	วิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาและเสนอแนะการจัดความสว่างให้เหมาะสมในการทำกิจกรรมต่าง ๆ	พื้นที่รับแสงมีหน่วยเป็นลักซ์ ความรู้เกี่ยวกับความสว่าง สามารถนำมาใช้จัดความสว่างให้เหมาะสมกับ การทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การจัดความสว่าง ที่เหมาะสมสำหรับการอ่านหนังสือ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยในประเทศ

กรวรรณ จินาเดช (2562) วิจัยเกี่ยวกับมุมมองธรรมชาติของฟิสิกส์ โดยแบบวัดมุมมองธรรมชาติของฟิสิกส์ที่ปรับปรุงจากมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ VNOS–C จากแบบสอบถามก่อนและหลังเรียนในข้อคำถาม 10 ข้อ ตามแบบ VNOS – C ที่ปรับปรุง ข้อคำถามจากมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์นำรูปแบบการทดลองมาอธิบายพร้อมกับการสอนสอดแทรกเนื้อหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนแม่ทาวิทยาคม จังหวัดลำพูน จำนวน20 คนวิเคราะห์ค่าร้อยละโดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองปรับเปลี่ยนระยะ มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์และไม่สามารถจัดกลุ่มได้ พบว่านักเรียนมีการพัฒนามุมมองธรรมชาติของฟิสิกส์ ด้านมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ได้ดีที่สุด จึงสามารถพัฒนามุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดีและยังมีบางส่วนที่มีมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์

จาริยา เชิญชัยภูมิ (2558) วิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1โดยการจัดการเรียนรู้แบบชัดแจ้งและการสะท้อนความคิด เรื่องปรากฏการณ์ทางลมฟ้าอากาศโดยใช้รูปแบบวิจัยปฏิบัติการเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบวัดความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างสะท้อนความคิดผู้วิจัยและนักเรียน โดยจัดกลุ่มความเข้าใจ ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน และมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ เปรียบเทียบค่าร้อยละของนักเรียนแต่ละกลุ่ม แล้วเปรียบเทียบผลก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าก่อนการจัดการเรียนรู้แบบชัดแจ้งสะท้อนความคิด นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจ

เกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในระยะปรับเปลี่ยน โดยเฉพาะประเด็นการสังเกตและลงข้อสรุป และมติสังคมวัฒนธรรมของวิทยาศาสตร์ ส่วนหลังการจัดการเรียนรู้แบบชัดแจ้ง สะท้อนความคิดนั้น นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์มากขึ้น และแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบชัดแจ้งสะท้อนความคิด เรื่องปรากฏการณ์ทางลมฟ้าอากาศ ผู้วิจัยจัดกิจกรรมที่หลากหลายมีการจดัการเรียนรู้ที่น่าสนใจช่วยส่งเสริมความเข้าใจในธรรมชาติวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

ดนัย ไทยมี และจีระวรรณ เกษสิงห์ (2558) วิจัยเกี่ยวกับมุมมองธรรมชาติวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามุมมองธรรมชาติวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยแบบวัดมุมมองธรรมชาติวิทยาศาสตร์ VNOS–C ของ Ledermanetal (2002) จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนออกเป็น 4 กลุ่มคือมุมมองถูกต้อง มุมมองระยะปรับเปลี่ยน มุมมองที่คลาดเคลื่อน และไม่สามารถจัดกลุ่มได้ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีมุมมองธรรมชาติวิทยาศาสตร์อยู่ในกลุ่มมุมมองถูกต้องในด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ด้านความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการในวิทยาศาสตร์ และด้านความเป็นพลวัตของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ มีมุมมองระยะปรับเปลี่ยนในด้านหลักฐานเชิงประจักษ์ และด้านการสังเกต การลงความเห็น และ ความมีตัวตนตามทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ส่วนธรรมชาติวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนจำนวนมากมีมุมมองที่คลาดเคลื่อนคือด้านกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ด้านอิทธิพลของสังคมและวัฒนธรรมต่อวิทยาศาสตร์ และด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ

พิพัฒน์ นันทจุล (2564) วิจัยเกี่ยวกับฟิล์มบางอลูมิเนียมถูกเคลือบบนกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคอันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริงโดยใช้เป้าโลหะอลูมิเนียมความบริสุทธิ์สูง (99.999%) เป็นเป้าสารเคลือบและใช้ระยะเวลา ในการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียม 1-15 นาที หลังจากนั้นทำการทดลองเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียม ออกไซด์บนฟิล์มบางอลูมิเนียมเพื่อใช้เป็นฟิล์มบางสำหรับปกป้องพื้นผิว ด้วยวิธีรีแอคตีฟ อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง โดยใช้แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สไวปฏิกิริยา แล้วศึกษาผลของระยะเวลาในการ เคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมและผลของการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมออกไซด์บนฟิล์มบางอลูมิเนียมที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบางอลูมิเนียม/อลูมิเนียมออกไซด์ โดยวิเคราะห์ค่าการสะท้อนแสง โครงสร้างผลึกลักษณะพื้นผิว และความทนทานต่อการกัดกร่อน ด้วยเทคนิค UV-VIS spectrophotometer, XRD, SEM และ Potentiostat ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมส่งผลต่อลักษณะพื้นผิว ความเป็นผลึก ค่าการสะท้อนแสงและความทนทานต่อการกัดกร่อนของ

ฟิล์มบางอลูมิเนียมโดยฟิล์มบางอลูมิเนียมที่เคลือบเป็นระยะเวลา 10 นาทีมีลักษณะพื้นผิวเป็นเกรนที่มีขนาดสม่ำเสมอ ทำให้สามารถสะท้อนแสงและทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงในช่วงที่ตามองเห็นเท่ากับ 89.33% มีค่า I_{corr} และ E_{corr} เท่ากับ $5.47x10^{-4}$ A/cm^2 และ -1.89 V ตามลำดับ และผลการทดลองการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียม/ อลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าฟิล์มบางอลูมิเนียมออกไซด์ช่วยป้องกันการกัดกร่อนให้กับพื้นผิวของฟิล์ม บางอลูมิเนียมแต่ทำให้ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางมีค่าลดลง โดยฟิล์มบางอลูมิเนียมออกไซด์ที่เคลือบบนฟิล์มบางอลูมิเนียมที่ใช้ระยะเวลาในการเคลือบ 10 นาที มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงในช่วงที่ตามองเห็นเท่ากับ 81.92 % มีค่า I_{corr} และ E_{corr} เท่ากับ 1.36×10^{-4} A/cm^2 และ -1.81 V ตามลำดับ

2. งานวิจัยต่างประเทศ

แอ็ดเอลคาร์ลิค เบลล์ และเลเดอร์แมน (Abd - El - Khalick, Bell, & Lederman, 1998) ศึกษาธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และการเรียนการสอน การทำธรรมชาติที่ไม่เป็นธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เป็นสื่อในการทำความเข้าใจของครูเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (NOS) ในการวางแผนการเรียนการสอนและการปฏิบัติในห้องเรียน ครูวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาจำนวน 14 คน เข้าร่วมการศึกษาก่อนการเรียนการสอนนักเรียนของพวกเขาร่วมตอบแบบสอบถามปลายเปิดที่ออกแบบมาเพื่อประเมินแนวคิดของ NOS การวิเคราะห์ แบบสอบถามถูกเลื่อนออกไป จนกว่า จะเสร็จสิ้นของการเรียนการสอนของนักเรียนเพื่อหลีกเลี่ยง การจัดเก็บรวบรวม และการวิเคราะห์แหล่งข้อมูลอื่น ตลอดการสอนนักเรียนแผนการสอนในชีวิตประจำวัน ของผู้เข้าร่วมวิดีโอเทปในห้องเรียน และพอร์ตการลงทุนบันทึกข้อสังเกตทางคลินิกประจำสัปดาห์ของผู้ดูแลข้อมูลเหล่านี้ถูกค้นหาโดยหาความสัมพันธ์กับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ หลังจากการสอนนักเรียนผู้เข้าร่วมประชุมได้รับการสัมภาษณ์เป็นรายบุคคล ตรวจสอบการตอบสนองต่อแบบสอบถามปลายเปิดและเพื่อหาปัจจัยหรือข้อจำกัดที่เป็นสื่อกลางในการแปลความหมายในการสอนในห้องเรียน จากการวิจัยพบว่ามีความเข้าใจอย่างเพียงพอในด้านที่สำคัญหลายประการของธรรมชาติของวิทยาศาสตร์รวมถึงลักษณะเชิงประจักษ์และเบื้องต้นของวิทยาศาสตร์ความแตกต่างระหว่างการสังเกตและการอนุมานและบทบาทของบุคคลและความคิดสร้างสรรค์ในด้านวิทยาศาสตร์ หลายคนอ้างว่าได้สอน NOS ผ่านกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการอ้างอิงที่ชัดเจนสำหรับ NOS มีน้อยมากในการวางแผนและการสอนของพวกเขาปัจจัย สำหรับเรื่องนี้ไม่ให้ความสนใจต่อ NOS เหล่านี้ รวมถึงการดู NOS เป็นสำคัญ ผลที่ตามมาการจัดการในชั้น เรียนและงานที่เป็นประจำ ความเข้าใจของตนเองเกี่ยวกับ NOS การขาดทรัพยากรและประสบการณ์ในการสอน NOS

ความร่วมมือของครูผู้สอนและการขาดเวลาในการวางแผน นอกจากนี้ ข้อจำกัดเหล่านี้ข้อมูลเปิดเผยคนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการมีปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างผู้เข้าร่วมประชุมมุมมองเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

เลเดอร์แมน และคณะ (Lederman et al, 2002) ศึกษามุมมองของแบบสอบถามเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สู่ความถูกต้องและมีความหมายการประเมินแนวคิดเกี่ยวกับธรรมชาติ ของผู้เรียนมีจุดมุ่งหมายเพื่อ1)ติดตามการพัฒนาเครื่องมือเปิดปลายใหม่มุมมองของธรรมชาติของแบบสอบถามทางวิทยาศาสตร์ (VNOS) ซึ่งร่วมกับการสัมภาษณ์บุคคลมีเป้าหมายเพื่อให้ความหมายการประเมินมุมมองธรรมชาติทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน 2)ร่างโครงร่างมุมมองที่สนับสนุนการพัฒนา VNOS 3)นำเสนอหลักฐานเกี่ยวกับความถูกต้องของVNOS 4)ชี้แจงการใช้มุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และการสัมภาษณ์ที่เกี่ยวข้องและประเด็นด้านมุมมองที่มีเป้าหมายเพื่อประเมิน และหารือเกี่ยวกับประโยชน์ของโพรไฟล์มุมมอง แบบบรรยายที่อุดมไปด้วย VNOS ให้ในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนและการเรียนรู้เพื่อตอบสนองมุมมอง การศึกษาวิทยาศาสตร์เพื่อกลับไปการพัฒนาคำถามที่ได้รับการคัดเลือกตามมาตรฐานและ เครื่องมือประเมินมุมองอย่างเหมาะสมแล้ววิเคราะห์ข้อมูลโดยการจัดกลุ่มคำตอบและหาค่าร้อยละโดยแบ่งกลุ่มคำตอบเป็น 4 กลุ่ม คือมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยนมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์และไม่สามารถจัดกลุ่มได้ร่วมกับการวิเคราะห์การสอนจากแบบบันทึกการสอนของครูและอนุทินของนักเรียน ผลการวิจัยพบว่าการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบบ่งชี้สามารถพัฒนามุมมองธรรมชาติ ของวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ได้ในทุกด้านที่ศึกษาโดยเฉพาะด้านทฤษฎีและกฎทางวิทยาศาสตร์ การถูกเหนี่ยวนำโดยทฤษฎีของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ มิติทางสังคมและวัฒนธรรมของวิทยาศาสตร์ และความเป็นพลวัตรของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยได้อภิปรายกลยุทธ์และเทคนิคการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์แบบบ่งชี้ที่ได้เรียนรู้จากการปฏิบัติเพื่อเป็นประโยชน์กับครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์

มิชลาดิซ และโดเกน (Mihladiz & Dogan, 2014) ศึกษามุมมองของครูวิทยาศาสตร์และมุมมองเกี่ยวกับสถานศึกษามีจุดมุ่งหมายเพื่อพิจารณาความคิดเห็นของครูวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับ “Nature of Science (NOS)” นอกจากนี้แล้วยังมีอีกวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้คือเพื่อศึกษาระดับความรู้และมุมมองเกี่ยวกับสถานที่ของ NOS ในสาขาวิทยาศาสตร์การสอนและการสอน NOS การวิจัยใช้ในปีการศึกษา 2553 ในจังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งเป็นครั้งแรก ตัวเลขในความสำเร็จโดยรวมของการสอบระดับชาติในประเทศตุรกีในบริบทนี้แบบสอบถามกึ่งโครงสร้างซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับ 8 นักวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์บุคคล ส่วนแรก

ของแบบสอบถาม เป็นเรื่องเกี่ยวกับครู ลักษณะทางประชากรศาสตร์ ส่วนที่สองเป็นแบบสอบถาม VNOS – C ซึ่งสร้างขึ้นโดยเลเดอร์แมน แอ็ดเอลคาร์ลิค เบล และซวาท (Lederman, Abd – El – Khalick, Bell andSchwartz, 2002)ใช้ในการประเมินความคิดเห็นของครูเกี่ยวกับ NOS ส่วนสุดท้ายเป็นเรื่องเกี่ยวกับสถานที่ของ NOS ในด้านวิทยาศาสตร์หลักสูตรการสอนวิทยาศาสตร์และการประเมินตนเองของครู ผลการวิจัยพบว่า ครูวิทยาศาสตร์เหล่านั้นมีมุมมองเกี่ยวกับลักษณะของแผนการจัดหมวดหมู่และการทดลองทางวิทยาศาสตร์เพียงพอ แต่ครูส่วนใหญ่ก็ไม่เข้าใจและระดับความคิดเห็นไม่เพียงพอเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์วิธีการทางวิทยาศาสตร์กฎหมายและทฤษฎี นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่า ครูมุมมองเกี่ยวกับโมเดล NOS และข้อสังเกตมีความซับซ้อน ครูส่วนใหญ่ยอมรับว่า ความรู้เกี่ยวกับ NOS ของพวกเขานั้นไม่เพียงพอ แต่ยังกล่าวว่า NOS มีความสำคัญในการสอนวิทยาศาสตร์และตัวเอง อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่า NOS ของครู การรับรู้ประกอบด้วย สมมติฐาน ทฤษฎี กฎหมายและกระบวนการปรับปรุงของพวกเขา

มิชลาดิสและดูรัน(Mihladiz&Durun, 2014)ศึกษามุมมองของนักเรียนระดับประถมศึกษาเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบการบรรยายและสำรวจความคิดเห็นของนักเรียนแบบกึ่งโครงสร้าง 4 ข้อ คำถามโดยมีการสัมภาษณ์การสอนและเทคนิคการสอนที่นักเรียนชอบที่สุด จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนชั้นประถมศึกษาส่วนใหญ่ชอบวิธีการและเทคนิคการสอน แบบการทดลอง การนำเสนอปัญหาและการแก้ปัญหา เทคนิคและวิธีการที่นักเรียนชอบคือการเรียนการสอนด้วยเทคโนโลยีกิจกรรมห้องเรียนในธรรมชาติในขณะที่นักเรียนส่วนใหญ่กล่าวถึงที่พวกเขาต้องการทำงานเป็นกลุ่มในระหว่างกิจกรรมและการทดลองที่พวกเขาดำเนินการอยู่ในขอบเขตของวิทยาศาสตร์บทเรียนก็มีคนที่กล่าวว่าพวกเขาต้องการทำงานเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่ม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb) ผู้วิจัยมีวิธีดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. รูปแบบการวิจัย
2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล
6. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

รายละเอียดดังนี้

รูปแบบการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre Experimental Design) มีการวัดก่อนและหลังใช้นวัตกรรม One Group Pretest Posttest Design (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2552)

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการวิจัยแบบ The One-Group Pretest-Posttest Design

Pretest	Treatment	Posttest
V_1	X	V_2

ความหมายสัญลักษณ์

V_1 แทน การวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ก่อนการทดลอง

X แทน การจัดการเรียนรู้ด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

V_2 แทน การวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังการทดลอง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้มีประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

1. ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงใหม่ เขต 5 จำนวน 6 โรงเรียน จำนวนทั้งหมด 103 คน รายละเอียดดังแสดง ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 จำนวนโรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่

ลำดับที่	โรงเรียน	จำนวน/ห้อง	จำนวน/คน
1	โรงเรียนบ้านแม่ตูบ	1	15
2	โรงเรียนบ้านโปง	1	22
3	โรงเรียนชุมชนบ้านดอยเต่า	1	10
4	โรงเรียนบ้านบงตัน	1	24
5	โรงเรียนบ้านน้อยห้วยริน	1	14
6	โรงเรียนบ้านแอ่นจัดสรร	1	18
รวม		6	103

2. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้นักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 โรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาเชียงใหม่ เขต 5 เป็นนักเรียนชาย จำนวน 6 คน เป็นนักเรียนหญิง จำนวน 9 คน รวมจำนวนทั้งหมด 15 คน ที่ได้มาโดยการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้โรงเรียนเป็นหน่วยสุ่ม มีวิธีดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

2.1 สำรวจโรงเรียน ที่เปิดสอนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีจำนวน 6 โรงเรียน

2.2 ทำการสุ่มโรงเรียน จากโรงเรียนขยายโอกาสในอำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 1 โรงเรียน ในการสุ่มแบบกลุ่มโดยจับฉลากโดยใช้โรงเรียนเป็นหน่วยการสุ่มซึ่งได้โรงเรียนบ้านแม่ตูบเป็นกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนนักเรียน 15 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมีรายละเอียด ดังนี้

1. เครื่องมือที่เป็นนวัตกรรม ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 1 หน่วย 12 แผน การจัดการเรียนรู้ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวม 12 ชั่วโมง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

2.1 แบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน Pre - Test จำนวน 1 ชุด โดยแบ่งเป็น 4 มุมมอง คือ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์และมุมมองที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

2.2 แบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์หลังเรียน Post - Test จำนวน 1 ชุด โดยแบ่งเป็น 4 มุมมอง คือ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์และมุมมองที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีรายละเอียดดัง ต่อไปนี้

เครื่องมือที่เป็นนวัตกรรม

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนทฤษฎีและหลักฐานเพื่อพัฒนานวัตกรรม รายละเอียดดังนี้

1) ศึกษาเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฟิล์มบาง

2) ศึกษาเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงแสง

3) ศึกษาเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

4) ศึกษาเอกสาร งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

5) ศึกษาเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดความเข้าใจมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

6) ศึกษาเอกสาร งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

7) ศึกษาเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและแสงรวมทั้งมาตรฐานและตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและแสงตามหลักสูตร แกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)

8) พัฒนากระบวนการเป็น 3 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 การสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ระยะที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ระยะที่ 3 จัดการเรียนการสอน เรื่อง คลื่นและแสง โดยใช้องค์ความรู้จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

โดยการพัฒนากระบวนการทั้ง 3 ระยะ มีรายละเอียดดัง ต่อไปนี้

ระยะที่ 1 การสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

8.1) วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ

8.1.1) บีกเกอร์

8.1.2) แท่งแก้ว

8.1.3) ที่คีบสารตัวอย่าง

8.1.4) ช้อนตักสารเคมี

8.1.5) กระดาษฟอยล์

8.1.6) กระดาษกรอง

8.1.7) กระจกสไลด์

8.1.8) ที่ตัดกระจก

8.1.9) แท่งแม่เหล็กปั่นสาร

8.1.10) กล่องใส่ตัวอย่าง

8.1.11) กรรไกร

8.1.12) กระบอกตวง

8.1.13) ที่หนีบกระดาษ

8.1.14) เตาเผาอุณหภูมิสูง (High temperature furnace)

8.1.15) เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง (Weighing balance, Ohsus Pioneer)

8.1.16) เครื่องปั่นสารและให้ความร้อน (Hot plate, C MAG HS 7: IKA)

8.1.17) เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Cleaner, Model VGT-1620QTD)

8.2) สารเคมี

8.2.1) บิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3)

8.2.2) โพลีเอททีลีนไกคอล (Polyethylene glycol)

8.2.3) แอนติโมนีไตรคลอไรด์ (Antimony Chloride, $SbCl_3$)

8.2.4) กรดไนตริก (Nitric acid, HNO_3)

8.2.5) อะซีโตน (Acetone, C_3H_6O)

8.2.6) เมทานอล (Methanol, CH_4O)

8.2.7) น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water, DI)

8.3) วิธีการทดลอง

การสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

8.3.1) การเตรียมกระจกสไลด์

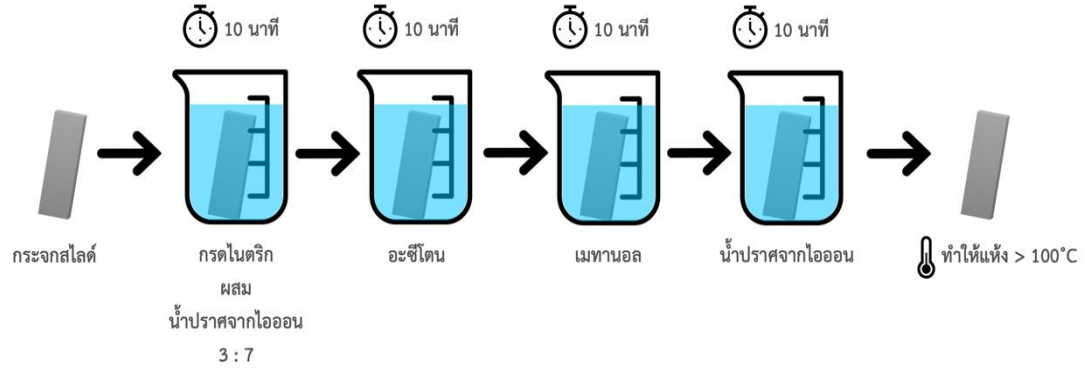
8.3.1.1) แช่กระจกสไลด์ไว้ในกรดไนตริกผสมกับน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 3:7 และนำไปวางในเครื่องทำความสะอาดความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาที

8.3.1.2) แช่กระจกในอะซีโตนและนำไปวางไว้ในเครื่องทำควาสะอาดความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาที

8.3.1.3) แช่กระจกในเมทานอลและนำไปวางในเครื่องทำความสะอาดความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาที

8.3.1.4) แช่กระจกไว้ในน้ำปราศจากไอออน และนำไปวางในเครื่องทำความสะอาดความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาที

8.3.1.5) ทำให้แห้งด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 100 ℃ แก่กระจกผ่านเครื่องให้ความร้อน



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำความสะอาดกระจกสไลด์

8.3.2) การเตรียมฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

8.3.2.1) เตรียมบิสมัทเทลลูไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

8.3.2.2) เตรียมโพลีเอทธีลีนไกคอล

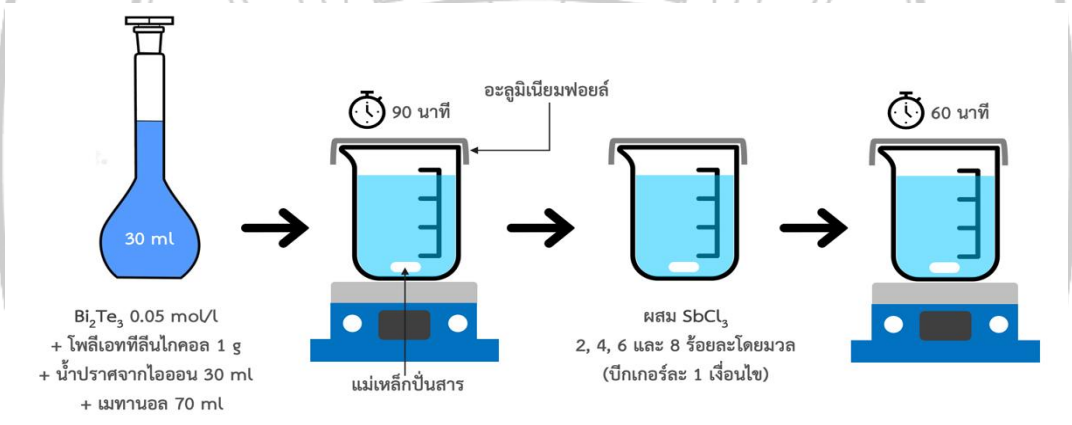
8.3.2.3) ผสมสารที่ได้จากข้อ 1) และ 2) กับน้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์

8.3.2.4) ใส่แท่งแม่เหล็กปั่นสารลงไปในสารที่เตรียมไว้แล้วปิดด้วยกระดาษฟอยล์

8.3.2.5) ปั่นสารให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นสาร เป็นเวลา 90 นาที

8.3.2.6) ชั่งแอนติโมนีไตรคลอไรด์ 2, 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยมวลและผสมสารแอนติโมนีไตรคลอไรด์ที่ชั่งได้ในแต่ละเงื่อนไขลงไปในสารจากข้อ 8.3.2.5)

8.3.2.7) ใส่แท่งแม่เหล็กปั่นสารลงไปในสารที่เตรียมไว้แล้วปิดด้วยกระดาษฟอยล์ปั่นสารให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นสาร เป็นเวลา 60 นาที



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

8.3.3) การเคลือบด้วยวิธีการตกสะสมเชิงเคมี

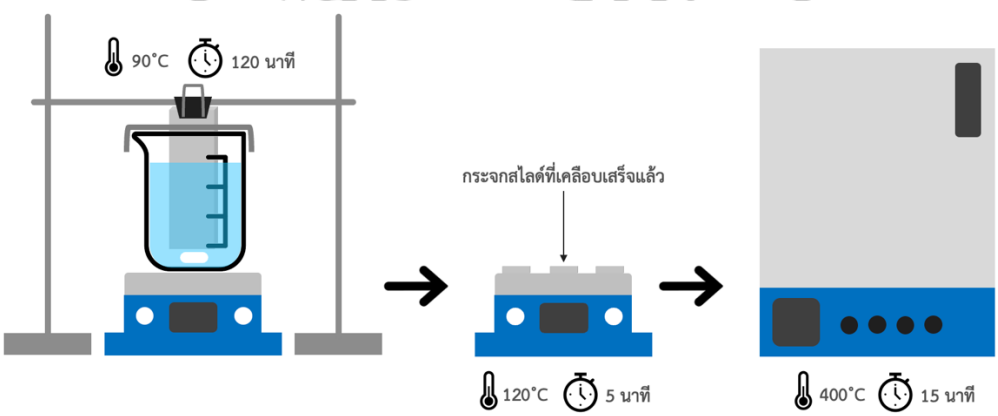
8.3.3.1) นำที่หนีบกระดาษหนีบกระจกสไลด์และแขวนกระจกสไลด์บนไม้

8.3.3.2) นำไม้ที่แขวนกระจกสไลด์แช่ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายบิสมัทเทลลูไรด์ที่ถูกเจือด้วยแอนติโมนีที่ปั่นจนเข้ากันพอดีในแต่ละอัตราส่วนและใช้กระดาษฟอยล์ครอบไม้ที่แขวนกระจกสไลด์และบีกเกอร์

8.3.3.3) ปั่นสารละลายขณะที่มีกระจกสไลด์แช่ไว้บนเครื่องให้ความปั่นสารและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

8.3.3.4) นำกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วยฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb มาให้ความร้อนอุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 5 นาที

8.3.3.5) ให้ความร้อนกับกระจกสไลด์โดยการเผาที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 15 นาที



ภาพที่ 3.3 การเคลือบด้วยวิธีการตกสะสมเชิงเคมี

ระยะที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

8.4) ทำการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb โดยตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสง เช่น การวิเคราะห์ X-ray diffraction (XRD) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS-NIR) เป็นต้น

ระยะที่ 3 จัดการเรียนการสอน เรื่อง คลื่นและแสง โดยใช้องค์ความรู้จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 1 หน่วย 12 แผนการจัดการเรียนรู้ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวม 12 ชั่วโมง

1. แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนทฤษฎีและหลักฐาน เพื่อจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยรายละเอียดดังนี้

1) ลักษณะของแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ฯ ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เพื่อพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ 4 มุมมอง คือ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะ

ปรับเปลี่ยน มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์และมุมมองที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ ด้วยกระบวนการ (5Es) สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในการจัดการเรียนรู้มีจำนวน 1 หน่วย 12 แผน จัดการเรียนรู้ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวม 12 ชั่วโมง

แผนการจัดการเรียนรู้ฯที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้ดำเนินการในรูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มี 5 ขั้นตอน

1. ขั้นกระตุ้นความสนใจ (Engage) คือ การนำเข้าสู่บทเรียนหรือนำเข้าสู่เรื่องที่อยู่ในความสนใจที่เกิดจากข้อสงสัย

2. สำรวจค้นหา (Explore) คือ การเปิดโอกาสให้นักเรียนดำเนินการศึกษาค้นคว้า โดยการรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การสำรวจ การสืบค้นจากเอกสารต่าง ๆ การทดลอง และการจำลองสถานการณ์ เป็นต้น เพื่อตรวจสอบสมมุติฐานและให้ได้ข้อมูลอย่างเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการอธิบายและสรุป

3. อธิบายความรู้ (Explain) คือ การนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และแปลผลเพื่อสรุปผลและนำเสนอผลที่ได้ในรูปต่าง ๆ เช่น การบรรยายสรุป การสร้างแบบจำลอง การวาดภาพ หรือการสรุปเป็นตารางหรือกราฟ ซึ่งผลสรุปที่ได้นั้น จะต้องสามารถอ้างอิงความรู้มีความสมเหตุสมผลและมีหลักฐานที่เชื่อถือได้

4. ขยายความเข้าใจ (Elaborate) คือ การนำความรู้ที่ได้จากขั้นก่อนหน้านี้มาเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือใช้อธิบายถึงสถานการณ์หรือเหตุการณ์เกี่ยวข้อง

5. ตรวจสอบผล (Evaluate) คือ การประเมินการเรียนรู้ด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่น การทำข้อสอบ การทำรายงานสรุป หรือการให้นักเรียนประเมินตัวเอง เป็นต้น เพื่อตรวจสอบนักเรียนว่ามีความรู้ที่

โดยมีโครงสร้างของแผนการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย

ชื่อหน่วยการเรียนรู้และชื่อเรื่อง

1.1) มาตรฐานการเรียนรู้/ตัวชี้วัด

1.2) จุดประสงค์การเรียนรู้

1.3) สาระการเรียนรู้

1.4) สาระสำคัญ/ความคิดรวบยอด

1.5) สมรรถนะสำคัญและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

1.6) กิจกรรมการเรียนรู้

1.7) การวัดและประเมินผล

1.8) สื่อ/แหล่งการเรียนรู้

1.9) บันทึกผลหลังการสอน

2) ขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ผู้วิจัยได้แบ่งลำดับขั้นของการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1) ศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2.2) ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุงพุทธศักราช 2560) และหลักสูตรสถานศึกษาโรงเรียนบ้านแม่ตูบ พุทธศักราช 2565

2.3) ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และหลักการเกี่ยวกับแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2.4) ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในการจัดการเรียนรู้มีจำนวน 1 หน่วย 12 แผน จัดการเรียนรู้ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวม 12 ชั่วโมง

2.5) สร้างแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในการจัดการเรียนรู้มี จำนวน 1 หน่วย 12 แผน จัดการเรียนรู้ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวม 12 ชั่วโมง

2.6) นำแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตรวจสอบแก้ไขเบื้องต้นและปรับปรุงตามคำแนะนำ

2.7) นำแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เพื่อเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ

2.8) นำแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการตรวจสอบคุณภาพเชิงเนื้อหาแล้วปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญและนำไปทดลองใช้ (Try Out) กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนบ้านโปง ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนทฤษฎีและหลักฐานเพื่อพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล รายละเอียดดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสาร งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

2.2 ศึกษาเอกสาร งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับมุมมองต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

2.3 ศึกษาเอกสาร งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดความเข้าใจมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

2.4 ศึกษาเอกสาร งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและแสงรวมทั้งมาตรฐานและตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและแสงตามหลักสูตร แกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ปรับปรุง 2560)

3. แบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนทฤษฎีและหลักฐานเพื่อพัฒนาแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 รายละเอียดดังนี้

3.1 ลักษณะของแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เป็นแบบสอบถาม จำนวน 8 ข้อ 8 ด้าน ได้แก่ ด้านหลักฐานเชิงประจักษ์ ด้านการสังเกตและการลงความเห็น ด้านกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ด้านความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการในวิทยาศาสตร์ ด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ด้านอิทธิพลของสังคมและวัฒนธรรมที่มีต่อวิทยาศาสตร์ ด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ด้านความเป็นพลวัตของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ข้อละ 5 คะแนน รวม 40 คะแนน

3.2 การสร้างและหาคุณภาพแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ขั้นตอนการสร้างแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

3.2.1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

3.2.2) ออกแบบแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ประกอบด้วย (1) คู่มือแบบวัดเพื่อวัดก่อนและหลังพัฒนามุมมองใน

ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ 1 เล่ม (2) แบบวัดก่อนการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ 1 เล่ม (Pre – Test) (3) แบบวัดหลังการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ 1 เล่ม (Post – Test)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยตนเองโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 12 แผน ได้ดำเนินการเก็บข้อมูล ดังต่อไปนี้

1. ก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนผู้วิจัยได้ดำเนินวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มตัวอย่างก่อนการทดลอง (Pre-test) โดยใช้แบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เป็นรายบุคคลจำนวน 1 ชุด

2. ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยกลุ่มตัวอย่างได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ทั้งสิ้น จำนวน 1 หน่วย 12 แผนการจัดการเรียนรู้ 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวม 12 ชั่วโมง

3. เมื่อดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 แล้วผู้วิจัยดำเนินการวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กับกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ แบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ชุดเดียวกันกับแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้ใช้ก่อนการทดลองและตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด

4. นำคะแนนที่ได้จากการวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เป็นวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre Experimental Design) รูปแบบการวิจัย ใช้การทดสอบก่อนและหลังทดลอง (One Group Pre-test/Post-test Design) ผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือในการทดลอง

1.1 ความเที่ยงตรงของเนื้อหาของแบบวัดมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยวิธีหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

1.2 การเปรียบเทียบจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) และ t - test (Dependent Sample)

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติผลการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ (5Es) ที่พัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ได้ใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1.1 หาความเที่ยงตรงของเนื้อหา โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด, 2556)

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบ

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของ ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

n แทน จำนวนของผู้เชี่ยวชาญ

1.2 สถิติที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (α-Coefficient) ด้วยวิธีของ Cronbach (บุญชม ศรีสะอาด, 2556) สูตรดังนี้

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1}\right)\left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{k} s_i^2}{s_t^2}\right]$$

เมื่อ α แทน ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น

k แทน จำนวนข้อคำถาม

$\sum s_i^2$ แทน ผลรวมความแปรปรวนของข้อคำถามแต่ละข้อ

s_t^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวม

1.3 หาประสิทธิภาพของนวัตกรรม โดยใช้สูตร (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2556)

สูตรที่ 1 $$E_1 = \frac{\bar{x}}{A} \times 100$$

เมื่อ E_1 แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการ

$\bar{x}$ แทน คะแนนรวมของการประเมินระหว่างเรียนทุกครั้งรวมกัน

A แทน คะแนนเต็มของการประเมินทุกครั้งรวมกัน

สูตรที่ 2 $$E_2 = \frac{\bar{F}}{B} \times 100$$

เมื่อ E_2 แทน ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\bar{F}$ แทน คะแนนของผลลัพธ์ของการประเมินหลังเรียน

B แทน คะแนนเต็มของการประเมินทุกครั้งรวมกัน

2. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ค่าสถิติพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ สถิติคำนวณค่าร้อยละ (บุญชม ศรีสะอาด, 2554) มีรายละเอียดดังนี้

สูตรการหาค่าร้อยละ $P = \left(\frac{f}{N}\right) \times 100$

เมื่อ P แทน ค่าร้อยละ

f แทน ค่าความถี่ที่ต้องการแปลงเป็นค่าร้อยละ

N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์ผลการวิจัยโดยการหาร้อยละ โดยแปลความหมายค่าร้อยละดังนี้

80	-	100	หมายถึง	ระดับดีมาก
70	-	79	หมายถึง	ระดับดี
60	-	69	หมายถึง	ระดับปานกลาง
50	-	59	หมายถึง	ระดับผ่านเกณฑ์
0	-	49	หมายถึง	กำลังพัฒนา/ปรับปรุง

2.2 หาค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) (Content Validity) ใช้สูตรค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) (บุญชม ศรีสะอาด, 2556)

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

เมื่อ $\bar{x}$ แทน คะแนนเฉลี่ย

$\sum x$ แทน ผลรวมคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

n แทน จำนวนสมาชิกของกลุ่มตัวอย่าง

2.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยใช้สูตร (บุญชม ศรีสะอาด, 2556)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ s แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง
x_i แทน เป็นคะแนนของคนที่ 1
n แทน จำนวนสมาชิกของกลุ่มตัวอย่าง

2.4 สถิติการเปรียบเทียบ t – test (Dependent Sample) โดยใช้สูตร (ชัยยงค์พรหมวงศ์, 2556)

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}} ; df = n - 1$$

เมื่อ t แทน สถิติทดสอบที
$\bar{d}$ แทน ผลต่างเฉลี่ยของคู่คะแนน
s_d แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง
n แทน จำนวนของคู่คะแนน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางบิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เจือด้วยแอนติโมนี (Sb) ผู้วิจัยขอเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

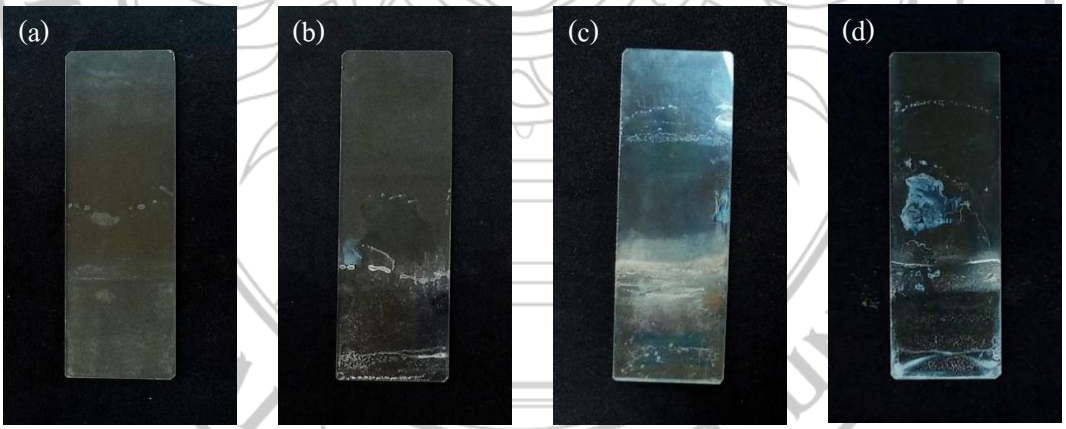
ตอนที่ 1 ผลการสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ตอนที่ 2 ผลการวิจัยด้านคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ตอนที่ 3 ผลการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

ตอนที่ 1 ผลการสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

1.1 ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน



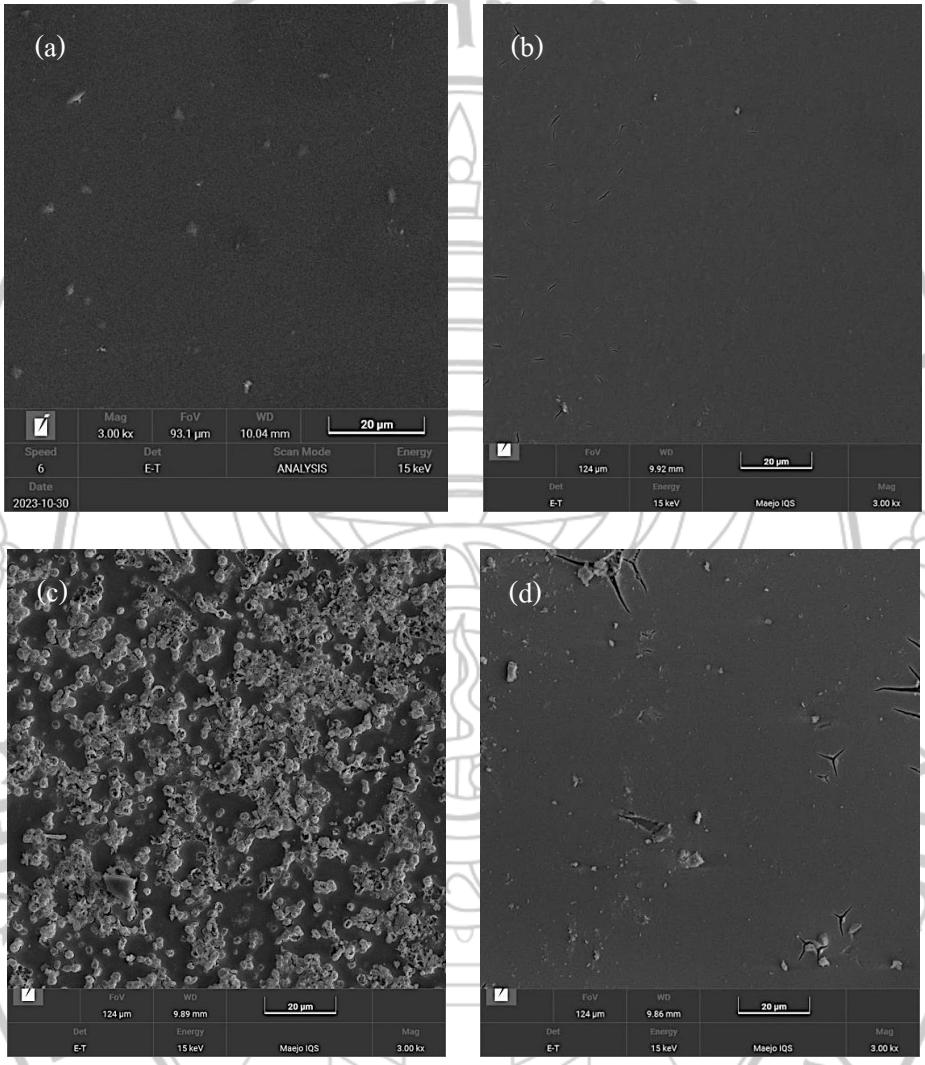
ภาพที่ 4.1 ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

(a) Sb ความเข้มข้น 2% โดยมวล (b) Sb ความเข้มข้น 4% โดยมวล

(c) Sb ความเข้มข้น 6% โดยมวล (d) Sb ความเข้มข้น 8% โดยมวล

1.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

1.2.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้านบน



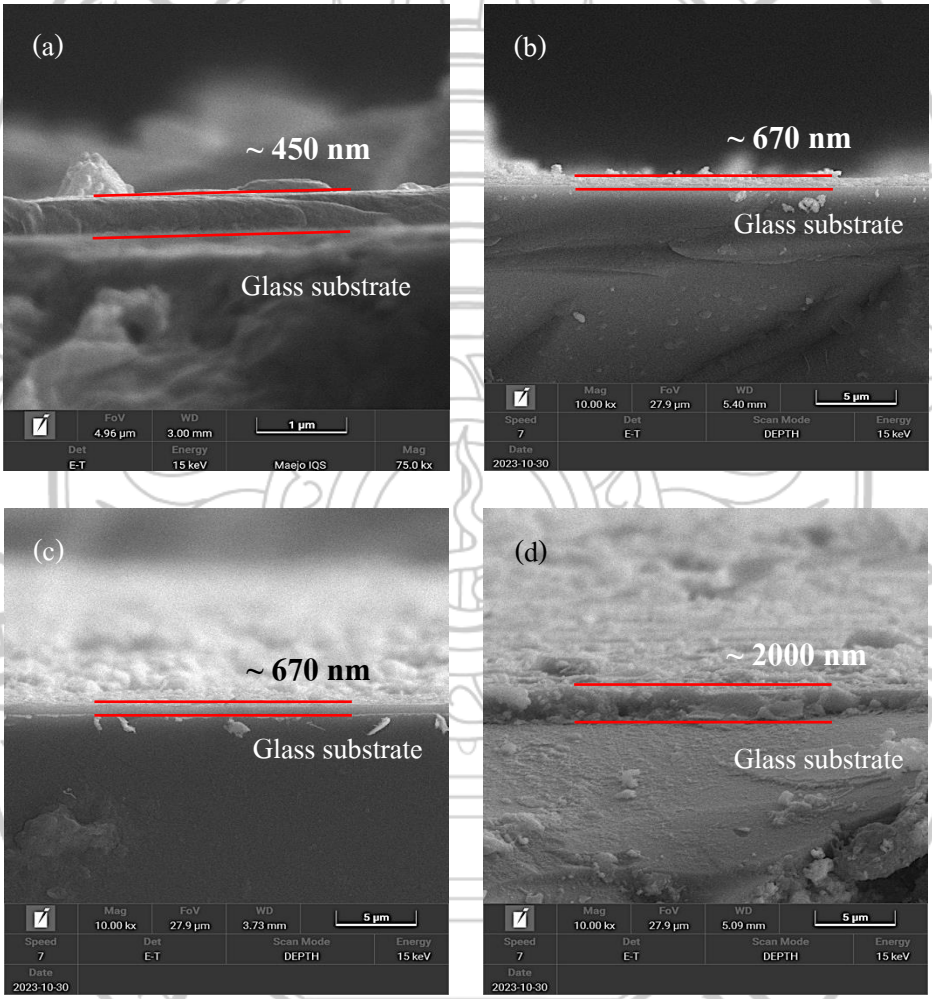
ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะพื้นผิวด้านบนของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

(a) Sb ความเข้มข้น 2% โดยมวล (b) Sb ความเข้มข้น 4% โดยมวล

(c) Sb ความเข้มข้น 6% โดยมวล (d) Sb ความเข้มข้น 8% โดยมวล

จากภาพที่ 4.2 ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน ภาพ (a) และ (b) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2% และ 4% โดยมวล โดยมวล ตามลำดับ ลักษณะพื้นผิวด้านบนของฟิล์มมีพื้นผิวเรียบและมีความหนาแน่นที่สม่ำเสมอ ภาพ (c) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 6% โดยมวล พื้นผิวด้านบนของฟิล์มมีพื้นผิวขรุขระลักษณะเป็นเม็ดหยาบและรวมตัวกันเป็นก้อนเล็ก ๆ และภาพ (d) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 8% โดยมวล ลักษณะพื้นผิวด้านบนของฟิล์มมีพื้นผิวเรียบมีความหนาแน่นที่สม่ำเสมอแต่น้อยกว่าภาพ (a) และ (b) และมีรอยแตกบางส่วน

1.2.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้านข้าง



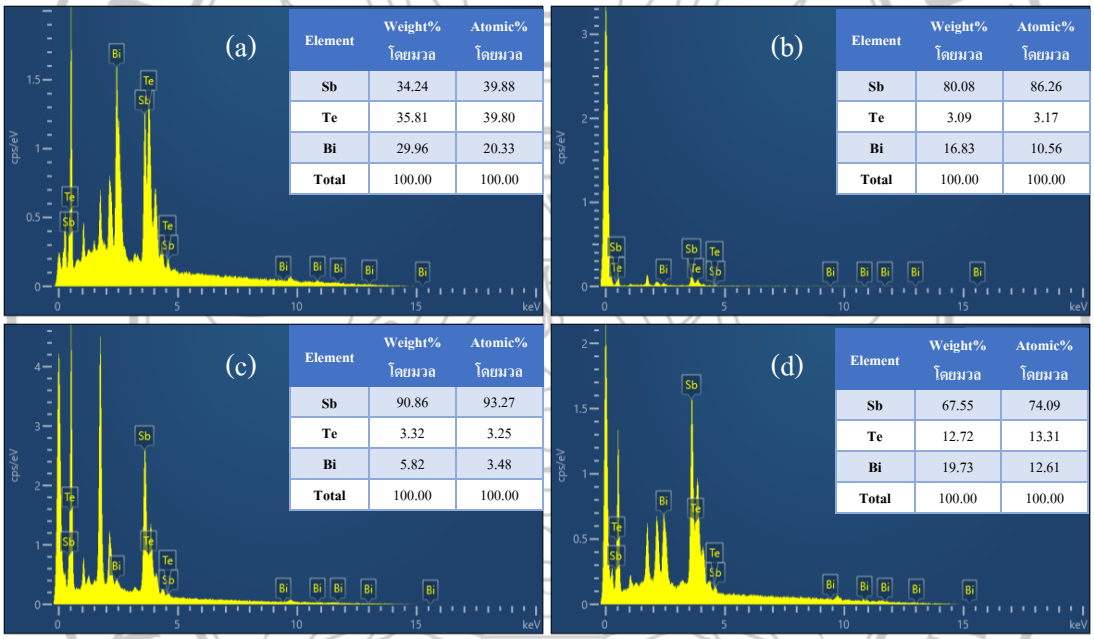
ภาพที่ 4.3 ภาพแสดงลักษณะพื้นผิวด้านข้างของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

(a) Sb ความเข้มข้น 2% โดยมวล (b) Sb ความเข้มข้น 4% โดยมวล

(c) Sb ความเข้มข้น 6% โดยมวล (d) Sb ความเข้มข้น 8% โดยมวล

จากภาพที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวด้านข้างของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน ภาพ (a) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2% โดยมวล โดยมวล ลักษณะพื้นผิวด้านข้างของฟิล์มมีความหนาประมาณ 450 นาโนเมตร ภาพ (b) และ (c) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 4% โดยมวล และ 6% โดยมวล ตามลำดับ ลักษณะพื้นผิวด้านข้างของฟิล์มมีความหนาประมาณ 670 นาโนเมตร และภาพ (d) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 8% โดยมวล ลักษณะพื้นผิวด้านข้างของฟิล์มมีความหนาประมาณ 2000 นาโนเมตร

1.3 การศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิครังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDX or EDS) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน



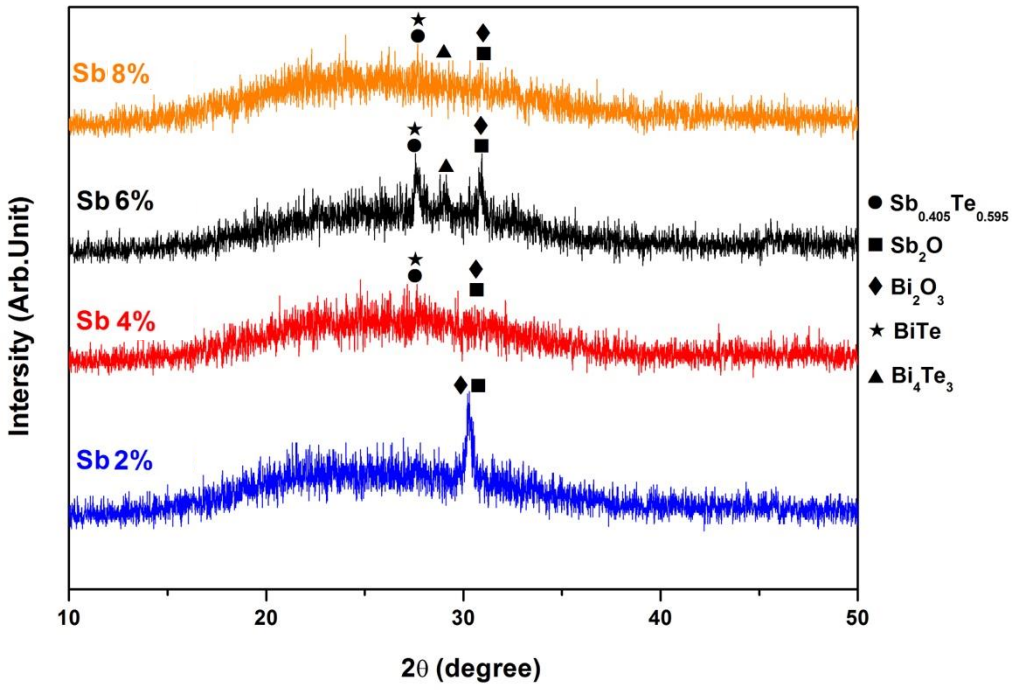
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิครังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDX or EDS) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

(a) Sb ความเข้มข้น 2% โดยมวล (b) Sb ความเข้มข้น 4% โดยมวล

(c) Sb ความเข้มข้น 6% โดยมวล (d) Sb ความเข้มข้น 8% โดยมวล

จากภาพที่ 4.4 องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิครังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDX or EDS) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน พบว่าภาพ (a) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2% โดยมวล มีองค์ประกอบธาตุ Sb โดยน้ำหนัก 34.24% และโดยอะตอม 39.88% ภาพ (b) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 4% โดยมวล มีองค์ประกอบธาตุ Sb โดยน้ำหนัก 80.08% และโดยอะตอม 86.26% ภาพ (c) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 6% โดยมวล มีองค์ประกอบธาตุ Sb โดยน้ำหนัก 90.86% และโดยอะตอม 93.27% และภาพ (d) ที่มีความเข้มข้นของ Sb 8% โดยมวล มีองค์ประกอบธาตุ Sb โดยน้ำหนัก 67.55% และโดยอะตอม 74.69% ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ในฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2%, 4% และ 6% โดยมวล มีองค์ประกอบธาตุ Sb สูงขึ้นตามลำดับ และมีองค์ประกอบธาตุ Sb ลดลงในฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 8% โดยมวล

1.4 การศึกษาโครงสร้างวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน



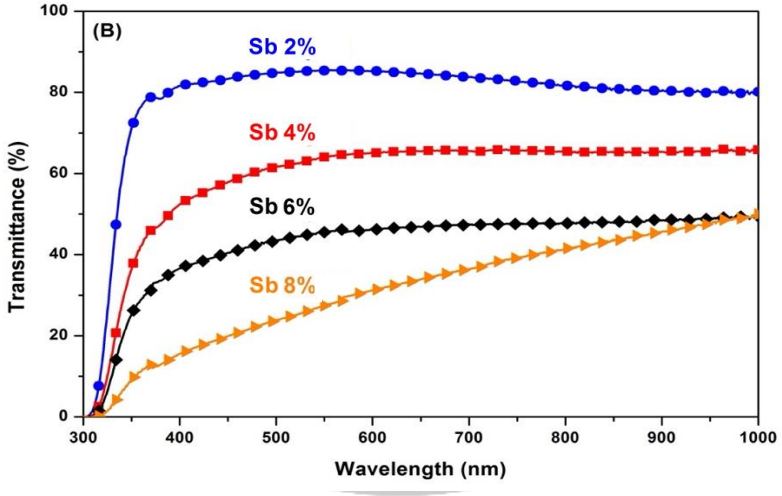
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงโครงสร้างวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction : XRD) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

จากภาพที่ 4.5 โครงสร้างวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction : XRD) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2% โดยมวล พบจุดพีคใหญ่ที่โดดเด่นในกราฟ ที่แกน 2θ ประมาณ $30°$ พบ Bi_2O_3 สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด และ Sb_2O สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ตามลำดับ พบจุดพีคเล็กที่โดดเด่นในกราฟของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 4%, 6% และ 8% โดยมวล ที่แกน 2θ ประมาณ $27.55°$ พบ $Sb_{0.405}Te_{0.595}$ สัญลักษณ์วงกลม และ BiTe สัญลักษณ์ดาว ตามลำดับ ส่วนจุดพีคอื่น ๆ ที่โดดเด่นในกราฟของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 6% และ 8% โดยมวล แกน 2θ ประมาณ $28.96°$ พบ Bi_4Te_3 สัญลักษณ์สามเหลี่ยม

นอกจากนี้ยังพบว่าจุดพีคที่โดดเด่นในกราฟของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 4%, 6% และ 8% โดยมวล นั้นมีลักษณะโค้งที่ไม่แหลมและมีโหนกกว้างขึ้น ซึ่งบ่งบอกว่าขนาดผลึกที่อยู่บนฟิล์มบางโดยเฉลี่ยมีขนาดเล็ก และมีโหนกที่กว้างเพิ่มมากขึ้นในกราฟของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 8% โดยมวล เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กลง จุดพีคอาจเปลี่ยนไปตามการเพิ่มขึ้นตามองค์ประกอบของธาตุ Sb เนื่องจากการมีอยู่ของขนาดผลึกที่แตกต่างกัน ความเครียดของวัสดุ และความคล่องตัวของอะตอมบนพื้นผิว

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

1. การส่งผ่านแสง (Transmittance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน



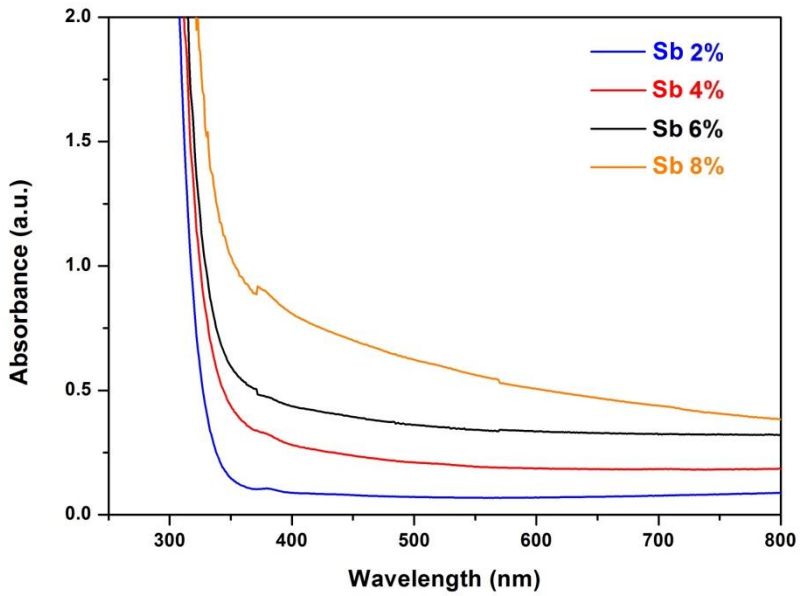
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

จากภาพที่ 4.6 แสดงค่าการส่งผ่านแสง ในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1000 นาโนเมตร ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกันพบว่าค่าการส่งผ่านของแสงของฟิล์มบางมีคลื่นการสั่นถูกรบกวนและมีช่วงความยาวคลื่นที่มีการส่งผ่านแสงช่วงสั้น ๆ (ช่วงที่ต่ำกว่า 400 นาโนเมตร) เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงที่มีการดูดกลืนแสง

ช่วงที่เริ่มมีการดูดกลืนแสงที่ต่างกันนั้น เป็นผลเนื่องมาจากการสังเคราะห์ฟิล์มบาง โดยใช้เงื่อนไขความเข้มข้นของ Sb ที่ต่างกัน และการดูดกลืนแสงนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะเฉพาะของพื้นผิวของฟิล์มบาง ซึ่งค่าการส่งผ่านของแสงสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 85% และ 36% ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2% และ 8% โดยมวล ตามลำดับ ส่วนค่าการส่งผ่านแสงเฉลี่ยของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 4% และ 6 % โดยมวล โดยมวลจะอยู่ที่ประมาณ 65% และ 47% ตามลำดับ

จากการสังเกตพบว่าเมื่อมีความเข้มข้นของ Sb มากขึ้น ค่าเฉลี่ยของการส่งผ่านแสงจะมีค่าลดลง เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของผลึกทำให้เกิดการกระเจิงแสงมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าการส่งผ่านแสงเฉลี่ยของฟิล์มบางมีค่าแปรผกผันกับความเข้มข้นของ Sb

2.2 การดูดกลืนแสง (Absorptance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสง (Absorptance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

กราฟการดูดกลืนแสง (Absorptance) ใช้กฎของเบียร์ - แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's Law) ตามสมการที่ 4.1 และ 4.2 ดังนี้

สมการ

$$A = -\log\% \text{ โดยมวล } T$$

$$A = -\log\frac{I}{I_0} \qquad (4.1)$$

ปรับสมการข้างต้นได้เป็น

$$A = -(\log I - \log I_0)$$

$$A = \log I_0 - \log I$$

$$A = \log(100) - \log I$$

$$A = 2 - \log I \qquad (4.2)$$

เมื่อ A แทน ค่าการดูดกลืนแสง (Absorptance) หรือ optical density

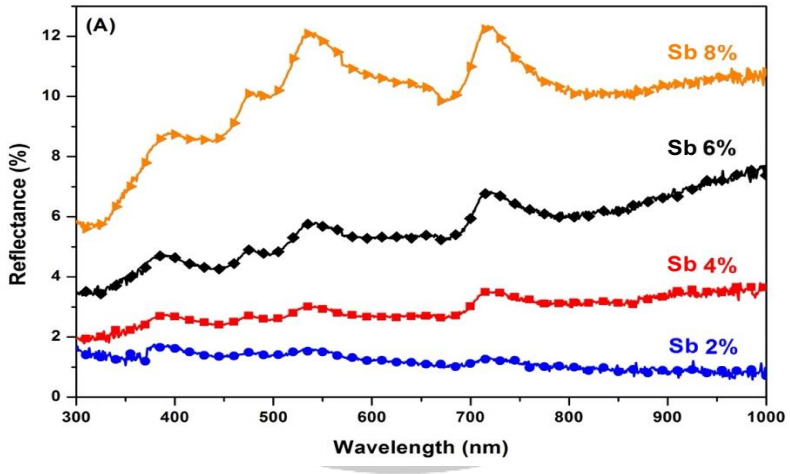
T แทน ค่าการส่งผ่านแสงของสาร (Transmittance)

I แทน ความเข้มของรังสีที่ผ่านตัวกลางแล้ว (Intensity of transmitted light)

I_0 แทน ความเข้มของรังสีที่กระทบตัวกลาง (Intensity of incident light)

จากภาพที่ 4.7 ฟิล์มบาง Bi2Te3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน ทุกเงื่อนไขนั้นมีค่าการดูดกลืนแสง (Absorptance) โดยขึ้นอยู่ในช่วงยูวี (300 - 400 นาโนเมตร)

2.3 การสะท้อนแสง (Reflectance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

จากภาพที่ 4.8 การสะท้อนของแสงมีรูปแบบที่มีความผันผวน โดยมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นเดียวกันกับการส่งผ่านแสง ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยต่ำสุด คือ ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2% โดยมวล มีค่าประมาณ 1.2% และค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยสูงสุด คือ ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 8% โดยมวล มีค่าประมาณ 10.5% ส่วนค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 4% และ 6 % โดยมวล มีค่าประมาณ 2.7% และ 5.3% ตามลำดับ

จากการสังเกตพบว่าเมื่อมีความเข้มข้นของ Sb มากขึ้น ค่าของการสะท้อนแสงเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของผลึกทำให้เกิดการกระเจิงแสงมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของฟิล์มบางมีค่าแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของ Sb

2.4 ค่าช่องว่างพลังงาน (Energy gap ; E_g) ของการสะท้อนแสง (Reflectance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

ค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน ใช้ความสัมพันธ์ของ Tauc ใช้ในการกำหนดเพื่อเทียบพลังงานโฟตอนให้เห็นอย่างชัดเจนโดยมีสมการดังนี้

สมการ
$$\alpha hv = A(hv - E_g)^n \tag{4.3}$$

$$(F(R_\infty)hv)^\gamma = A(hv - E_g) \tag{4.4}$$

โดยที่ $F(R_\infty)$ คือฟังชันก์ Kubelka-Munk ซึ่งก็คือ อัตราส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

$$F(R_\infty) = \frac{k}{s} = \frac{(1-R_\infty)^2}{2R_\infty} \tag{4.5}$$

เมื่อ α แทน สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

h แทน ค่าคงที่ของพลังค์

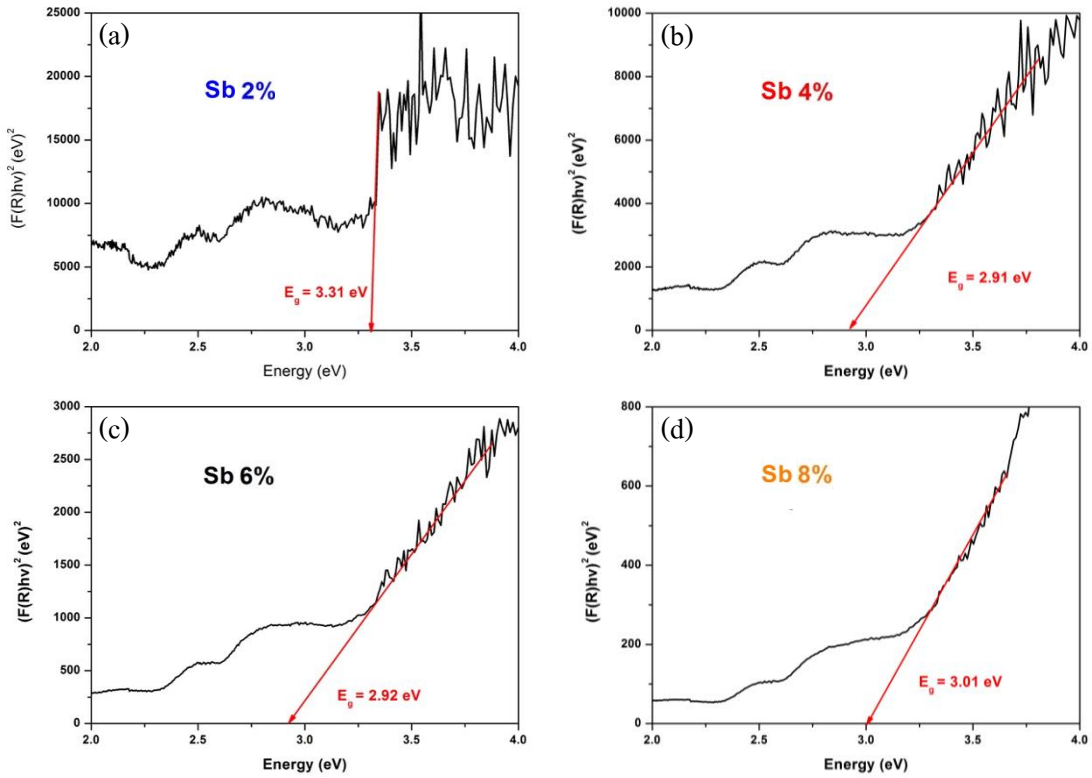
v แทน ค่าความถี่ของแสง ซึ่ง hv คือ พลังงานโฟตอน

A แทน ค่าคงที่การเปลี่ยนแปลง

E_g แทน ช่องว่างพลังงาน

n แทน ค่าดัชนีที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของพาหะประจุ

n = 0.5 สำหรับการเปลี่ยนแปลงโดยทางตรง (Direct Transition)



ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงค่าช่องว่างพลังงาน (Energy gap: E_g) ของการสะท้อนแสง (Reflectance) ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

(a) Sb ความเข้มข้น 2% โดยมวล (b) Sb ความเข้มข้น 4% โดยมวล

(c) Sb ความเข้มข้น 6% โดยมวล (d) Sb ความเข้มข้น 8% โดยมวล

จากภาพที่ 4.9 ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2%, 4%, 6% และ 8% โดยมวล มีค่าช่องว่างพลังงานของการสะท้อนแสง (Reflectance) หรือค่า E_g เป็น 3.31, 2.91, 2.92 และ 3.01 eV ตามลำดับค่าช่องว่างพลังงานนี้เป็นผลมาจากความเข้มข้นของประจุในฟิล์มบางที่มีการเคลื่อนตัวสอดคล้องกับความเข้มข้นสะสมจาก Burstein-Moss effect ที่กำหนดการเคลื่อนตัวของระดับเฟอร์มีเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของประจุในชั้นโครงสร้าง สามารถสรุปได้ว่าช่องว่างที่ใกล้ชั้นนำไฟฟ้าเนื่องจากประจุในชั้นวาเลนซ์ได้รับพลังงานที่มากในการกระตุ้นเพื่อจะย้ายไปสู่ช่องว่างในชั้นนำกระแสหรือนำไฟฟ้า (Conduction Band)

ตอนที่ 3 ผลการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

1. ผลการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

ประเด็นคำถามวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์	เกณฑ์วัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (%)							
	IV*		TV*		NV*		NC*	
	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post
1) ด้านนิยามและหลักฐานเชิงประจักษ์ (Science Definition)	0 (0%)	6 (40%)	3 (20%)	4 (26.67%)	7 (46.67%)	5 (33.33%)	5 (33.33%)	0 (0%)
2) ด้านการสังเกตและการลงความเห็น (Observations and Inference)	2 (13.33%)	4 (26.67%)	4 (26.67%)	4 (26.67%)	6 (40%)	5 (33.33%)	3 (20%)	2 (13.33%)
3) ด้านกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (Science Theories and Laws)	1 (6.67%)	5 (33.33%)	4 (26.67%)	7 (46.67%)	6 (40%)	3 (20%)	4 (26.67%)	0 (0%)
4) ด้านความคิดสร้างสรรค์และจิตนาการในวิทยาศาสตร์ (The Creative and Imaginative Nature of Science Knowledge)	3 (20%)	11 (73.33%)	7 (46.67%)	3 (20%)	4 (26.67%)	1 (6.67%)	1 (6.67%)	0 (0%)
5) ด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (Theory - leadenness)	0 (0%)	1 (6.67%)	1 (6.67%)	3 (20%)	8 (53.33%)	6 (40%)	6 (40%)	5 (33.33%)
6) ด้านอิทธิพลของสังคมและวัฒนธรรมที่มีต่อวิทยาศาสตร์ (Social and Cultural Influences Science)	0 (0%)	2 (13.33%)	2 (13.33%)	2 (13.33%)	6 (40%)	6 (40%)	7 (46.67%)	5 (33.33%)
7) ด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Science Method)	0 (0%)	3 (20%)	2 (13.33%)	3 (20%)	13 (86.67%)	9 (60%)	0 (0%)	0 (0%)
8) ด้านความเป็นพลวัตของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Tentative)	2 (13.33%)	5 (33.33%)	9 (60%)	8 (53.33%)	3 (20%)	2 (13.33%)	1 (6.67%)	0 (0%)

*หมายเหตุ เกณฑ์วัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

IV	(Informed View)	หมายถึง	มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์
TV	(Transition View)	หมายถึง	มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน
NV	(Naive View)	หมายถึง	มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์
NC	(Not Categorized)	หมายถึง	ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

จากตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์มุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 สามารถวิเคราะห์ประเด็นคำถามวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ทั้งหมด 8 ด้าน ดังนี้

1.1 ด้านนิยามและหลักฐานเชิงประจักษ์

นักเรียนส่วนใหญ่มีมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(NV) โดยก่อนการใช้ชุดกิจกรรมไม่มีนักเรียนที่มีมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) แต่หลังผ่านการใช้ชุดกิจกรรม มีนักเรียนร้อยละ 40 มีมุมมองสอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) และเข้าใจว่า “วิทยาศาสตร์ เป็น การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้มาจากการสังเกตปรากฏการณ์ มีหลักฐานที่ตรวจสอบได้”

1.2 ด้านการสังเกตและการลงความเห็น

นักเรียนส่วนใหญ่มีมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(NV) ทั้งก่อนและหลังของการใช้ชุดกิจกรรม คิดเป็นร้อยละ 40 และ 33.33 ตามลำดับ โดยนักเรียนส่วนใหญ่ ตอบคำถามไปในทางเดียวกันว่า “วิทยาศาสตร์ คือสิ่งที่จับต้องได้ โดยอาศัยการสังเกตจากนั้นลงมือทดลอง” ซึ่งในความเป็นจริงบางสิ่งไม่สามารถใช้ประสาทสัมผัสรับรู้ได้เนื่องจากเกินขีดจำกัดของประสาทสัมผัสมนุษย์ แต่มนุษย์เชื่อว่ามีสิ่งนั้นเนื่องจากมีประจักษ์พยาน (อาทิตยา จิตร์เอื้อเฟื้อ และคณะ, 2560) และมีนักเรียน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 26.67 มีมุมมองสอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) หลังการใช้ชุดกิจกรรม

1.3 ด้านกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

สำหรับด้านนี้ ในมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) ก่อนการใช้ชุดกิจกรรมมีนักเรียน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 6.67 เข้าใจว่า กฎและทฤษฎีทางฟิสิกส์คือสิ่งเดียวกัน และหลังการใช้ชุดกิจกรรมมีนักเรียน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 33.33 มีพัฒนาการของมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) ที่ดีขึ้นเกี่ยวกับด้านนี้ โดยสามารถแยกแยะได้ว่า “ทฤษฎี เป็นการหาหลักการและอธิบายปรากฏการณ์ของธรรมชาติและสิ่งต่าง ๆ ส่วนกฎเป็นข้อสรุปรวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่หามาได้” แต่ยังมีนักเรียนบางส่วนก่อนการใช้ชุดกิจกรรม จำนวน 6 คน และหลังการใช้ชุดกิจกรรม จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 40 และ 20 ตามลำดับ

มีมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ (NV) และให้คำตอบในเชิงว่า “กฎ คือ สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น”

1.4 ด้านความคิดสร้างสรรค์และจิตนาการในวิทยาศาสตร์

ด้านนี้เป็นด้านที่นักเรียนมีมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ (IV) มากที่สุด ซึ่งพบว่าก่อนและหลังการใช้ชุดกิจกรรมมีนักเรียนที่มีมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 20 และหลังการใช้ชุดกิจกรรมพบว่ามีนักเรียนที่มีมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) เพิ่มขึ้น เป็น 11 คน คิดเป็นร้อยละ 73.33 ซึ่งทำให้เห็นว่า “นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับการใช้จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ในการได้มาซึ่งความรู้และในความเป็นจริงนักวิทยาศาสตร์ต้องใช้สิ่งนี้ในทุกกระบวนการเพื่อหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์”

1.5 ด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

หลังการใช้ชุดกิจกรรมมีนักเรียนจำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 6.67 เท่านั้นที่มีมุมมองสอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) นักเรียนส่วนใหญ่มีมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(NV) และไม่สามารถจัดกลุ่มได้(NC) ซึ่งนักเรียนกลุ่มนี้ได้ให้ความเห็นในภาพรวมว่า “ผลลัพธ์ของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกันนั้นมาจากการตั้งสมมติฐานที่แตกต่างกันเนื่องจากหลักฐาน ประจักษ์พยาน สภาพแวดล้อมหรือสถานที่ที่แตกต่างกัน” โดยนอกจากนี้มีนักเรียนจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 20 ให้ความเห็นว่า “นักวิทยาศาสตร์มีความคิดและจินตนาการที่แตกต่างกัน” ซึ่งมีความสอดคล้องกับมุมมองทางด้านความคิดสร้างสรรค์และจิตนาการในวิทยาศาสตร์ แสดงให้เห็นถึงมุมมองในระยะปรับเปลี่ยน(TV)

1.6 ด้านอิทธิพลของสังคมและวัฒนธรรมที่มีต่อวิทยาศาสตร์

ก่อนการใช้ชุดกิจกรรมมีนักเรียนจำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 46.67 ให้ความเห็นที่นอกประเด็น จึงจัดอยู่ในมุมมองที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้(NC) และมีนักเรียนจำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 40 มีมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(NV) โดยให้คำตอบในเชิงว่า “วิทยาศาสตร์และสังคมวัฒนธรรมเป็นสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องกันโดยสิ้นเชิง” และหลังการใช้ชุดกิจกรรมพบว่ามีนักเรียนจำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33 มีมุมมองสอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) และสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ในภาพรวมได้ว่า “วิทยาศาสตร์คือกิจกรรมหนึ่งของมนุษย์ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์เป็นสมาชิกอยู่ในสังคมและมีวัฒนธรรมจึงต้องได้รับอิทธิพลจากสิ่งเหล่านี้บ้างในบางครั้ง”

1.7 ด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์

ก่อนการใช้ชุดกิจกรรมนักเรียนมีมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(NV) มากที่สุด คือ จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 86.67 โดยนักเรียนส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า “การได้มาซึ่งองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีการทดลองเท่านั้น” และมีนักเรียน จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33 มีมุมมองในระยะปรับเปลี่ยน(TV) ได้ให้ความเห็นที่ความสอดคล้องกับมุมมองทางด้านความคิดสร้างสรรค์และจิตนาการในวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้ให้คำตอบว่า “องค์ความรู้อาจได้มานอกเหนือจากการทดลอง เช่น จินตนาการของนักวิทยาศาสตร์” และหลังการใช้ชุดกิจกรรมนักเรียนมีพัฒนาการขึ้น พบว่ามีนักเรียนจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 20 มีมุมมองสอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) และสามารถอธิบายได้ว่า “การได้มาซึ่งคำตอบอาจมาจากวิธีการทางวิทยาศาสตร์อื่น เช่น การสังเกต การใช้หลักเหตุและผล รวมไปถึงวิธีการทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น”

1.8 ด้านความเป็นพลวัตของความรู้ทางวิทยาศาสตร์

สำหรับมุมมองด้านนี้ นักเรียนส่วนใหญ่มีมุมมองในระยะปรับเปลี่ยน(TV) ก่อนการใช้ชุดกิจกรรมมีนักเรียนจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 60 ให้ความเห็นในภาพรวมว่า “ความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีข้อมูลหรือหลักฐานใหม่และสามารถอธิบายความรู้เดิมได้ดีกว่า” แต่ยังไม่สามารถยกตัวอย่างทฤษฎีเหล่านั้นได้และหลังการใช้ชุดกิจกรรมมีนักเรียนจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 33.33 มีมุมมองสอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์(IV) สามารถยกตัวอย่างได้และคำตอบของการยกตัวอย่างตอบไปในทางเดียวกัน

2. ผลการวิเคราะห์การทำแบบทดสอบก่อนและหลังการใช้นวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb ต่างกัน

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์การทำแบบทดสอบก่อนและหลังการใช้ชุดกิจกรรม เรื่อง คุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง (คะแนนเต็ม 15 คะแนน)

การทดสอบ	$\bar{X}$	$S.D.$	$\bar{d}$	$S.D._d$	t	$Sig.(2-tailed)$
ก่อนเรียน	5.60	1.76	4.27	1.10	15.03	0.0000
หลังเรียน	9.87	2.03				

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 5.60 คะแนน และ 9.87 คะแนน ตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียน พบว่าคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 3 ตอน โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

จากการวิจัยพบว่าการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้านบนของฟิล์มบางมีลักษณะแตกต่างกัน มีทั้งลักษณะพื้นผิวเรียบที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอกัน พื้นผิวขรุขระลักษณะเป็นเม็ดหยาบรวมตัวกันเป็นก้อนเล็ก ๆ และมีรอยแตกบางส่วน ส่วนลักษณะพื้นผิวด้านข้างของฟิล์มบางมีความหนาประมาณ 450 - 2000 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของ Sb การศึกษาองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางที่มีความเข้มข้นของ Sb 2%, 4% และ 6% โดยมวล มีองค์ประกอบธาตุ Sb สูงขึ้นตามลำดับ และมีองค์ประกอบธาตุ Sb ลดลงในฟิล์มบางที่มีความเข้มข้นของ Sb 8% โดยมวล การศึกษาโครงสร้างวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางพบ $Sb_{0.405}Te_{0.595}$ และ BiTe ในฟิล์มบางที่มีความเข้มข้นของ Sb 4%, 6% และ 8% โดยมวล พบ Bi_2O_3 และ Sb_2O ในฟิล์มบางทุกเงื่อนไข และพบ Bi_4Te_3 ในฟิล์มบางที่มีความเข้มข้นของ Sb 6% และ 8% โดยมวล ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ผลการวิจัยด้านคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

จากการวิจัยพบว่า คุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ด้านการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางพบคลื่นการสั่นถูกรบกวนและมีช่วงความยาวคลื่นที่มีการส่งผ่านแสงช่วงสั้น ๆ ที่ต่ำกว่า 400 นาโนเมตร เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงที่มีการดูดกลืนแสง ซึ่งช่วงที่เริ่มมีการดูดกลืนแสงที่ต่างกันนั้น เป็นผลเนื่องมาจากการสังเคราะห์ฟิล์มบางโดยใช้เงื่อนไขความเข้มข้นของ Sb ที่ต่างกันและการดูดกลืนแสงนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะเฉพาะของพื้นผิวของฟิล์มบาง ค่าการส่งผ่านของแสงสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 85% และ 36% ของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2% และ 8% โดยมวล ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีความเข้มข้นของ Sb มากขึ้น ค่าเฉลี่ยของการส่งผ่านแสงจะมีค่าลดลง เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของผลึกทำให้เกิดการกระเจิงแสงมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่าการส่งผ่านแสงเฉลี่ยของฟิล์มบางมีค่า

แปรผกผันกับความเข้มข้นของ Sbด้านการดูดกลืนแสงของฟิล์มบางทุกเงื่อนไขมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 300 - 400 นาโนเมตร ด้านการสะท้อนของแสงพบว่าเมื่อมีความเข้มข้นของ Sb มากขึ้น ค่าของการสะท้อนแสงเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของผลึกทำให้เกิดการกระเจิงแสงมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยของฟิล์มบางมีค่าแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของ Sbค่าช่องว่างพลังงานของการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb ที่มีความเข้มข้นของ Sb 2%, 4%, 6% และ 8% โดยมวล มีค่า 3.31, 2.91, 2.92 และ 3.01 eV ตามลำดับค่าช่องว่างพลังงานนี้เป็นผลมาจากความเข้มข้นของประจุในฟิล์มบางที่มีการเคลื่อนตัวสอดคล้องกับความเข้มข้นสะสมจาก Burstein-Moss effect ที่กำหนดการเคลื่อนตัวของระดับเฟอร์มีเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของประจุในชั้นโครงสร้างสามารถสรุปได้ว่าช่องว่างที่ใกล้ชั้นนำไฟฟ้าเนื่องจากประจุในชั้นวาเลนซ์ได้รับพลังงานที่มากในการกระตุ้นเพื่อจะย้ายไปสู่ช่องว่างในชั้นนำกระแสหรือนำไฟฟ้า (Conduction band)

ตอนที่ 3 ผลการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 15 คน มีมุมมองธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายและมีความน่าสนใจในมุมมองหลาย ๆ ประเด็นของนักเรียน ซึ่งเมื่อพิจารณาในแต่ละประเด็นนักเรียนสามารถจัดอยู่ในกลุ่มของมุมมองได้ทุก ๆ มุมมอง ทั้ง 4 มุมมอง คือ มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ และไม่สามารถจัดกลุ่มได้ ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในแต่บุคคล ซึ่งครอบคลุมไปด้วยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ทราบถึงหลักการและเหตุผลรวมไปถึงวิธีคิดวิเคราะห์ ในกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ ผลการวิเคราะห์การทำแบบทดสอบก่อนและหลังการใช้นวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb โดยใช้แบบทดสอบจำนวน 15 ข้อ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทดลองเพื่อการพัฒนามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb โดยศึกษาทั้งหมด 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 และตอนที่ 2 การสังเคราะห์ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb โดยใช้วิธีการตกสะสมเชิงเคมีเพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงได้ผลคือ ค่าการส่งผ่านแสงเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดคือ 85% และ 36% ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดคือ 10.5 % และ 1.2% ได้ค่าช่องว่างพลังงานสูงสุดและต่ำสุดคือ 3.31 eV และ 2.91 eV ในทำนองเดียวกันมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ฟิล์มบาง PbO เจือด้วย Sb (กุวลัย พันธุโรทัย, 2565) ได้ผลคือคุณสมบัติเชิงแสงที่มีค่าการส่งผ่านแสงเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดคือ 74% และ 58% ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดคือ 6.88% และ 3.61% ได้ค่าช่องว่างพลังงานสูงสุดและต่ำสุด คือ 2.58 eV และ 2.19 eV และมีงานวิจัยที่ได้สังเคราะห์ฟิล์มบาง SnO เจือด้วย Sb (Nipawan Suwannakham, Auttasit Tubtimtae, & Ekasiddh Wongrat, 2022) ได้ผลคือคุณสมบัติเชิงแสงที่มีค่าการส่งผ่านแสงเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดคือ 74% และ 58% ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดคือ 6.88% และ 3.61%ค่าช่องว่างพลังงานสูงสุดและต่ำสุด คือ 2.87 eV และ 2.15 eV ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบผลการวิจัย

Reference	ชนิดของฟิล์มบาง	%Transmittance		%Reflectance		Energy gap ; E_g	
		สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
งานวิจัยนี้	ฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb	85	36	10.5	1.2	3.31	2.91
กุวลัย พันธุโรทัย, (2565)	ฟิล์มบาง PbO เจือด้วย Sb	74	58	6.88	3.61	2.58	2.19
Nipawan Suwannakham et at, (2022)	ฟิล์มบาง SnO เจือด้วย Sb	80	20	7.5	1.0	2.83	2.15

จากตารางที่ 5.1 การส่งผ่านแสงและการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนั้น เราสามารถเลือกใช้งานตามความต้องการได้ว่าต้องการให้ฟิล์มบางนั้นมีคุณสมบัติอย่างไร และค่าช่องว่างพลังงานจากงานวิจัยที่ได้นี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ยกมาสองเรื่องข้างต้นนี้มีค่าที่ใกล้เคียงกันสามารถนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อไปได้

ตอนที่ 3 จากผลการวิจัย พบว่านักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 15 คน มีมุมมองในแต่ละด้านส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์และมุมมองในระยะปรับเปลี่ยน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (อาทิตยา จิตร์เอื้อเฟื้อ และ คณะ, 2560) และมุมมองที่นักเรียนมีความเข้าใจที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์มากที่สุดคือด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า “การได้มาซึ่งองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีการทดลองเท่านั้น” ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กุฎานรี ตันวรรณรักษ์ และ ชาตรี ฝ่ายคำตา (2560) และมุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์มากที่สุด คือ ด้านความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการในวิทยาสาสตร์สอดคล้องกับงานวิจัยของ ดนัย ไทยมี และ จีระวรรณ เกษสิงห์ (2558) และในการอภิปรายผลร่วมกับนักเรียนทั้งหมดที่เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ สามารถสรุปได้ในภาพรวมของความแตกต่างของมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ทั้งก่อนและหลังการใช้ชุดกิจกรรมได้ดังนี้

1) ผลการวิจัยด้านมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่ได้มาเกิดจากกระบวนการจัดการเรียนรู้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อสนับสนุนมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์โดยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb มีการให้นักเรียนศึกษาค้นคว้าและสังเคราะห์ตัวองค์ความรู้ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนต้องใช้ทักษะการคิดวิเคราะห์และการสืบเสาะหาความรู้ จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในแต่ละมุมมอง

2) นวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงแสง ทำให้เกิดการสะท้อนคิดแก่ตัวนักเรียนเองและทำให้นักเรียนย้อนกลับไปมองมุมมองก่อนการใช้นวัตกรรมการเรียนรู้ ว่าตนเองมีความเข้าใจเกี่ยวกับมุมมองในตอนแรกถูกต้องหรือไม่และเริ่มมีมุมมองในระยะปรับเปลี่ยนต่อธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

3) การที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองจริง ทำให้นักเรียนเห็นภาพมากกว่าการสอนหรือยกตัวอย่างเพียงอย่างเดียว เมื่อนักเรียนได้ทำการปฏิบัติด้วยตนเองทำให้นักเรียนเกิดการสังเกตและตั้งคำถามจากนั้นก็นำข้อสงสัยมาอภิปรายร่วมกัน

อย่างไรก็ตามนักเรียนส่วนใหญ่ยังมีมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์อาจเป็นเพราะโครงสร้างและการจัดการเรียนการสอนที่ไม่ได้สอดแทรกองค์ความรู้ในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และขาดการยกตัวอย่างเกี่ยวกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์อันเนื่องมาจากข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น โครงสร้างของหลักสูตร เวลา เครื่องมือ และอัตวิสัยของครูผู้สอน จึงส่งผลต่อมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียน และในส่วนของการเรียนรู้โดยนวัตกรรมการเรียนรู้ชุดคุณสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบาง Bi_2Te_3 เจือด้วย Sb พบว่าคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ .05 ซึ่งอาจมาจากผลของการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ที่ทำให้นักเรียนได้ฝึกการคิด วิเคราะห์ และทักษะกระบวนการต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ จึงส่งผลคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนสูงขึ้น

ข้อจำกัด

การศึกษาวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาตร์นักเรียนบางคนยังไม่เข้าใจในเรื่องของคุณสมบัติเชิงแสงซึ่งถือได้ว่าเป็นรูปแบบใหม่ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนอกเหนือจากงานวิจัยในชั้นเรียนทั่วไป จึงทำให้การศึกษาวิจัยเกิดความล่าช้าและจำเป็นต้องวัดหลายครั้งและข้อจำกัดเรื่อง นักเรียนที่ศึกษามีจำนวนน้อย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจของมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์ในแต่ละด้าน โดยเฉพาะด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ด้านการสังเกตและลงความเห็นและด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งการที่นักเรียนมีความเข้าใจในมุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์จะส่งผลต่อการรับรู้ ความเข้าใจ และความสามารถในการอธิบายส่งต่อองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่สอดคล้องตามมาด้วย ครูจึงควรสอดแทรกธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ให้แก่นักเรียน และออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีการประยุกต์กับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์เพื่อเสริมสร้างทักษะกระบวนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้ครบถ้วนและดียิ่งขึ้น

2. ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเกณฑ์วัดมุมมองธรรมชาติตามแบบฉบับของ Lederman.et al. (2002) ซึ่งพิจารณาตามกลุ่มทดลองและบริบทของโรงเรียน ซึ่งคำถามที่ใช้เป็นเชิงแสดงความคิดเห็น จึงสามารถปรับเปลี่ยนเกณฑ์ในการวัดตามความเหมาะสม สำหรับการนำไปใช้ประเมินผลการเรียนรู้ในชั้นเรียนต่อไป

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป

สำหรับการวิจัยในครั้งถัดไป อาจมีการประยุกต์มุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนหรือองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่หลากหลายและมีความน่าสนใจ หรืออาจจะนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาบูรณาการร่วมกับการศึกษามุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจจะทำให้เห็นมุมมองที่หลากหลายของกลุ่มตัวอย่างมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

กรวรรณ จินาเดช. (2562). *การศึกษาสัมประสิทธิ์การกระดอนของวัสดุเม็ดกลมและมุมมองในธรรมชาติของฟิสิกส์*. (หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่).

จาริยา เชิญชัยภูมิ. (2558). *การพัฒนาความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยการจัดการเรียนรู้แบบชัดแจ้งและการสะท้อนความคิด เรื่องปรากฏการณ์ทางลมฟ้าอากาศ*.(วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

ชัย แก้วหนัน.(2553).*ผลของความเข้าใจและการจัดการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของครูวิทยาศาสตร์ ต่อความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในโรงเรียนขยายโอกาสทางการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์).

ดนัย ไทยมี และจีระวรรณเกษสิงห์.(2558).*มุมมองธรรมชาติวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์*. (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

ทิศนา แขมมณี. (2545). *ศาสตร์การสอน องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผดุงยศ ดวงมาลา. (2530). *การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และธนัสถา รัตนะ. (2547). *การวิจัยและพัฒนาการเคลือบผิวโลหะด้วยวิธีสปัตเตอริง ตามแผนปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม ระยะที่ 2 รายงานการวิจัยประจาปี 2547*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2544). *การเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญแนวคิดวิธีและเทคนิคการสอน 1*. กรุงเทพฯ: เดอะมาสเตอร์กรุ๊ป แมเนจเม้นท์.

ภพ เลาหไพบูลย์. (2542). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

สาโรช โศภีรักษ์. (2546). *นวัตกรรมการสอนที่ยึดผู้เรียนเป็นสาคัญ*. กรุงเทพฯ: บริษัทบุ๊คพอยท์จำกัด.

สถาบันสงเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2546). *การจัดสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. กรุงเทพฯ: องคการค้าของคุรุสภา.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2564). ผลการประเมิน PISA 2018 การอ่าน คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

สุวัฒน์ นิยมค้า. (2531). *ทฤษฎีและทางปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เล่ม1*. กรุงเทพฯ: เจเนอรัลบุ๊คส์ เซ็นเตอร์.

Abd – El – Khalick, F., Bell & Lederman. (1998) . *The Influence of History of Science Courses on Students' Conceptions of the Nature of Science*. (Unpublished Doctoral Dissertation, Oregon State University).

Adam, A. M., Ibrahim, E. M. M., Panbude, A., Jayabal, K., Veluswamy, P., & Diab, A. K. (2021). Thermoelectric power properties of Ge doped PbTe alloys. *Journal of Alloys and Compounds, 872.*

Elahi, S. M., Taghizadeh, A., Hadizadeh, A., & Dejam, L. (2014) . Effect of thickness and annealing on structural and optical properties of Bi_2Te_3 thin films prepared from. *Natural Sciences Publishing, 3*(1), 13 – 18.

Good, C. V. (1973). *Dictionary of education (3rd ed.)*. New York: McGraw-Hill.

Lawal, A., Shaari, A., Ahmed, R., & Jarkoni, N. (2017). First-principles many-body comparative study of Bi_2Se_3 crystal: A promising candidate for broadband photodetector. *Physics Letters A, 381*(35), 2993 - 2999.

Lederman, N. G., F. Abd – El – Khalick, R. L., Bell, & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(6), 497 – 521.

Mihladiz, G. & Dogan, A. (2014). *Science Teachers' Views about NOS and the Place of NOS in Science Teaching.* 5 th World Conference on Educational Sciences - WCES 2 0 1 3 . Procedia - Social and Behavioral Sciences 116 (2014), 3476 – 3483.

Mihladiz, G. & Durun, M. (2014). *Views of Elementary Education Students Related to Science and Technology Teaching Process*. Procedia - Social and Behavioral Sciences 1 4 1 (2014), 290 – 297.

Promkatkeaw, T. (2007). *A Development of Program for Primary School Teacher on Nature of Science Instruction*. (Doctor of Education Thesis in Science Education, Kasetsart University).

Simpson Ronald D. and Anderson Norman D. (1981). *Science, Student, and School: A Guide for the Middle and Secondary School Teacher*. New York: John Wiley & Sons.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

ชื่อ.....นามสกุล..... ระดับการศึกษา.....
สาขา/โปรแกรม.....โรงเรียน.....
วันที่.....

หมายเหตุ

1. การตอบคำถามเป็นการตอบในเชิงแสดงความคิดเห็น จึงไม่มีคะแนน หรือข้อที่ ถูก หรือผิด เป็นเพียงการวัดมุมมองที่มีต่อวิทยาศาสตร์
2. หากการเขียนแสดงความคิดเห็นในกระดาษไม่เพียงพอ สามารถขอกระดาษเพื่อเขียนเพิ่มได้

---

1. ในมุมมองของท่าน วิทยาศาสตร์หมายถึงอะไร และแตกต่างจากสาขาวิชาอื่นอย่างไร

.....
.....
.....
.....

2. การทดลองของวิทยาศาสตร์ คืออะไร

.....
.....
.....

3. การพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จำเป็นต้องมีการทดลองหรือไม่
   - ถ้ามี ให้อธิบายเหตุผล และยกตัวอย่างประกอบ
   - ถ้าไม่มี ให้อธิบายเหตุผล

.....
.....
.....

4. ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกพัฒนาแล้ว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาต่อไปได้หรือไม่ (เลือกตอบข้อ ก. หรือ ข. เพียงข้อเดียว)
   ก. ท่านเชื่อว่าทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์นั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ให้อธิบายว่าเพราะเหตุใดทฤษฎีจึงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และยกตัวอย่างทฤษฎีเพื่อสนับสนุนคำตอบของท่าน
   ข. หากท่านเชื่อว่าทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ให้อธิบายว่าเพราะเหตุใดทฤษฎีจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ และยกตัวอย่างทฤษฎีเพื่อสนับสนุนคำตอบของท่าน

---

5. ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ และกฎทางวิทยาศาสตร์ มีความแตกต่างกันหรือไม่ ให้ท่านอธิบายถึงเหตุผลประกอบ

---

6. ในการดำเนินการทดลองหรือการสืบเสาะหาความรู้ ของนักวิทยาศาสตร์ เพื่อพยายามที่จะหาคำตอบสำหรับ คำถามที่พวกเขาสงสัย ท่านคิดว่าในระหว่างการทดลองหรือการสืบเสาะหาความรู้ นักวิทยาศาสตร์ มีการใช้ความคิดสร้างสรรค์หรือจินตนาการหรือไม่ (เลือกตอบ ข้อ ก. หรือ ข. เพียงข้อเดียว)
   ก. เชื่อว่านักวิทยาศาสตร์มีการใช้ความคิดสร้างสรรค์หรือจินตนาการ เพราะเหตุใด ยกตัวอย่างความรู้ ทางวิทยาศาสตร์ประกอบเพื่อสนับสนุนคำตอบของท่าน
   ข. เชื่อว่านักวิทยาศาสตร์ไม่ได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์หรือจินตนาการ เพราะเหตุใด ยกตัวอย่างความรู้ ทางวิทยาศาสตร์ประกอบเพื่อสนับสนุนคำตอบของท่าน”

---

7. จากหนังสือเรียนวิทยาศาสตร์ ท่านมักจะพบตัวแทนของอะตอมที่นักวิทยาศาสตร์ ได้อธิบายไว้ เช่น “ ภายในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน (เป็นอนุภาคที่มีประจุบวก) นิวตรอน (เป็นอนุภาคที่มีประจุเป็นกลาง) และมีอิเล็กตรอน (เป็นอนุภาคที่มีประจุลบ) ที่โคจรรอบๆ นิวเคลียส " จากข้อความข้างต้นท่านคิดว่า นักวิทยาศาสตร์ มีวิธีการศึกษาเพื่อกำหนดหน้าตาของโครงสร้างอะตอม อย่างไร

---

8. “จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับไดโนเสาร์ นักวิทยาศาสตร์เชื่อกันว่าไดโนเสาร์ได้สูญพันธ์ไปเมื่อ 65 ล้านปีก่อน ซึ่งที่ผ่านมานักวิทยาศาสตร์ ที่ศึกษาเรื่องนี้มีการตั้งสมมติฐานที่หลากหลายเพื่ออธิบายสาเหตุของการสูญพันธ์นั้น โดยนักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งอธิบายว่าเกิดจากอุกกาบาตพุ่งชนโลก แต่นักวิทยาศาสตร์อีกกลุ่มหนึ่งอธิบายเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟที่รุนแรง ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ทั้งสองกลุ่มนี้ใช้ ข้อมูลจากการสังเกตเดียวกัน” จากข้อความข้างต้น ท่านคิดว่าเพราะเหตุใด นักวิทยาศาสตร์ทั้งสองกลุ่มจึงสรุปคำอธิบายเกี่ยวกับการสูญพันธ์ของไดโนเสาร์ได้แตกต่างกัน ทั้งที่ใช้ข้อมูลจากการสังเกตเดียวกัน

---

9. “มีชาวบ้านกลุ่มหนึ่ง ได้ค้นพบเหล็กไหล ซึ่งตามความเชื่อโบราณเหล็กไหลคือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ แต่ก็ได้มีนักวิชาการทางวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งได้ออกมาอธิบายเกี่ยวกับเหล็กไหล ว่าเป็นเพียงแร่ชนิดหนึ่งเท่านั้นที่สามารถพบได้ตามธรรมชาติ จากนั้นจึงมีกระแสจากคนกลุ่มหนึ่งได้เข้ามาโจมตีนักวิชาการท่านนั้น” จากข้อความข้างต้น ท่านมีความคิดเห็นเกี่ยวกับเรื่องนี้อย่างไร จงอธิบาย

ภาคผนวก ข

ตารางวิเคราะห์แบบวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

ประเด็นคำถามวัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์	เกณฑ์วัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (%)							
	IV*		TV*		NV*		NC*	
	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post
1) ด้านนิยามและหลักฐานเชิงประจักษ์ (Science Definition)								
2) ด้านการสังเกตและการลงความเห็น (Observations and Inference)								
3) ด้านกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (Science Theories and Laws)								
4) ด้านความคิดสร้างสรรค์และจิตนาการในวิทยาศาสตร์ (The Creative and Imaginative Nature of Science Knowledge)								
5) ด้านการถูกเหนี่ยวนำโดยความรู้และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (Theory - leadenness)								
6) ด้านอิทธิพลของสังคมและวัฒนธรรมที่มีต่อวิทยาศาสตร์ (Social and Cultural Influences Science)								
7) ด้านมายาคติต่อวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Science Method)								
8) ด้านความเป็นพลวัตของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Tentative)								

*หมายเหตุ เกณฑ์วัดมุมมองในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

IV (Informed View) หมายถึง มุมมองที่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์

TV (Transition View) หมายถึง มุมมองในระยะปรับเปลี่ยน

NV (Naive View) หมายถึง มุมมองที่ไม่สอดคล้องกับมติประชาคมวิทยาศาสตร์

NC (Not Categorized) หมายถึง ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล นายศรัณย์ แก้วจา

วัน เดือน ปีเกิด 24 ธันวาคม 2535

ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 76/1 หมู่ 9 ตำบลโป่งทุ่ง อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ 50260

อีเมล์แอดเดรส pipersbz@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554 - 2559	หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ สถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2564 – ปัจจุบัน	ตำแหน่ง ครู โรงเรียนบ้านแม่ตูบ อำเภอดอยเต่า สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษา เชียงใหม่ เขต 5 จังหวัดเชียงใหม่
พ.ศ. 2562 – 2564	ตำแหน่ง ครูผู้ช่วย โรงเรียนบ้านพุย อำเภอฮอด สังกัด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษา เชียงใหม่ เขต 5 จังหวัดเชียงใหม่
พ.ศ. 2561 – 2562	ตำแหน่ง นักวิชาการศึกษา สังกัด องค์การบริหารส่วนตำบลท่าไข่ จังหวัดฉะเชิงเทรา