

การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน  
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

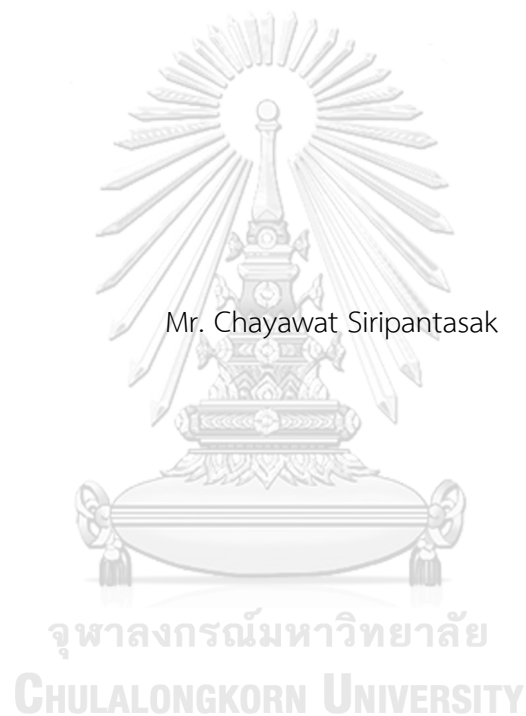


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

The Study of Physics Problem Solving Abilities and Metacognition of Upper  
Secondary School Students in Schools under the Office of the Higher Education  
Commission in Bangkok



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Education in Science Education  
Department of Curriculum and Instruction  
FACULTY OF EDUCATION  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2020  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการ รู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัด สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร
โดย	นายชยวิทย์ ศิริพันธ์ศักดิ์
สาขาวิชา	การศึกษาวิทยาศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา ลิ้มปานนท์ พรหมรัตน์

---

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะครุศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พุกฤษ์ประมุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา ลิ้มปานนท์ พรหมรัตน์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.อัศวนนทปกรณ์ ธเนศวรภัทร)

ชยวัฏ ศิริพันธ์ศักดิ์ : การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร. ( The Study of Physics Problem Solving Abilities and Metacognition of Upper Secondary School Students in Schools under the Office of the Higher Education Commission in Bangkok) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ปริญดา ลิ้มพานนท์ พรหมรัตน์

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสมวิธีซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียน 2) วิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และ 3) เพื่อวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร จำนวน 187 คน เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งมีความยาก 0.35 ถึง 0.71 อำนาจจำแนก 0.24 ถึง 0.42 และความเที่ยง 0.807 2) แบบวัดการรู้คิด ซึ่งมีค่าความเที่ยง 0.745 3) แบบบันทึกการคิดออกเสียงความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และ 4) ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและการวิเคราะห์เนื้อหา

ผลการวิจัยเป็นดังนี้

1) นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อยู่ในระดับปานกลาง และมีการรู้คิดอยู่ในระดับสูง

2) กรอบแนวคิดการวิจัยสอดคล้องกับหลักฐานเชิงประจักษ์ ( $\chi^2 = 9.19$ ,  $df = 11$ ,  $p\text{-value} = 0.60$ ,  $RMSEA = 0.00$ ,  $RMR = 0.02$ ,  $SRMR = 0.02$ ,  $GFI = 0.99$ ,  $AGFI = 0.96$ ) โดยการรู้คิดมีอิทธิพลทางบวกในระดับสูงต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้ น้ำหนักองค์ประกอบทั้งหมดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดที่มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงสุดคือ กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม และความรู้เกี่ยวกับการคิดตามลำดับ

3) นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหา การดำเนินการแก้ปัญหา และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ นักเรียนใช้การรู้คิดทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุม การคิดในระหว่างกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน ได้แก่ การฝึกฝนด้วยตนเอง การสืบค้นในกรณีที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ การเรียนกับครูที่โรงเรียน การเรียนพิเศษ และการแลกเปลี่ยนกับเพื่อนเมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ

สาขาวิชา การศึกษาวิทยาศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....



# # 6083309327 : MAJOR SCIENCE EDUCATION

KEYWORD: PHYSICS PROBLEM SOLVING ABILITIES, METACOGNITION

Chayawat Siripantasak : The Study of Physics Problem Solving Abilities and Metacognition of Upper Secondary School Students in Schools under the Office of the Higher Education Commission in Bangkok. Advisor: Asst. Prof. PARINDA LIMPANONT PROMRATANA, Ed.d.

This research was mixed methods research with the purposes to 1) study physics problem solving abilities and metacognition of students 2) examine fitness of conceptual model showing components and relationship between physics problem solving abilities and metacognition with the empirical evidences and 3) analyze physics problem solving processes of students who were good at physics problem solving. Samples were 187 upper secondary school students in schools of the Office of the Higher Education Commission in Bangkok. Research instruments were 1) a physics problem solving abilities test with difficulty indices from 0.35 to 0.71, discriminant indices from 0.24 to 0.42 and reliability of 0.807 2) a metacognition scale with reliability of 0.745 3) a think-aloud form for studying physics problem solving abilities and 4) a physics problem solving interview protocol. Data were analyzed using percentage of mean, standard deviation, structural equation modelling analysis and content analysis.

Research results were as follows:

1) Students' physics problem solving abilities were at the moderate level while students' metacognition was at the high level.

2) Conceptual model was fitted to the empirical evidences ( $\chi^2 = 9.19$ ,  $df = 11$ ,  $p\text{-value} = 0.60$ ,  $RMSEA = 0.00$ ,  $RMR = 0.02$ ,  $SRMR = 0.02$ ,  $GFI = 0.99$ ,  $AGFI = 0.96$ ). Metacognition had positive effect in high level on physics problem solving abilities at statistically significant level of .05. All factor loadings in measuring physics problem solving abilities and metacognitions had statistically significant at .05 level. Physics problem solving abilities and metacognition components which had the highest standardized factor loadings were overall physics problem solving procedure and knowledge of cognition respectively.

3) Students who were good at physics problem solving had 3 steps of physics problem solving including analyzing physics problem, operating the solving process, and checking for correctness of the answer. When solving physics problem, students used metacognition in both knowledge of cognition and regulation of cognition. Students' derivations of physics problem solving were self-practice, searching when being unable to solve physics problems, studying with teachers in schools, tutoring and discussing with peers when being unable to solve physics problems.

Field of Study: Science Education

Student's Signature .....

Academic Year: 2020

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีอันเนื่องมาจากความเมตตาในการให้คำปรึกษาและการดูแลอย่างอบอุ่นจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีธดา ลิ้มปานานท์ พรหมรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ซึ่งให้การอบรมสั่งสอนและควบคุมดูแลการทำวิทยานิพนธ์จนสามารถประสบความสำเร็จได้ นอกจากนี้ การวิจัยครั้งนี้ยังได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พงษ์ประมุข ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. อัครวนทปกรณ ธเนศวรภัทร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมถึงให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จึงขอขอบพระคุณคณาจารย์เป็นอย่างสูง

ทั้งนี้ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ความเมตตาในการสละเวลาในการตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องมือวิจัยทุกฉบับ นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณโรงเรียนที่เก็บรวบรวมข้อมูล รวมถึงคณาจารย์ผู้ประสานงานทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยในโรงเรียน ที่สำคัญ ขอขอบคุณนักเรียนกลุ่มตัวอย่างการวิจัยที่ได้ให้ความร่วมมือดีมากในการวิจัยซึ่งทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงได้

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกลรัชต์ แก้ววดี ที่ได้มอบความรู้และประสบการณ์อันมีค่าในระหว่างการเรียนรู้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิธีการวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนิษฐ์ ศรีเคลือบ ที่ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับวิธีการวิทยาการวิจัย รวมถึงให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยในการศึกษารายวิชาเลือกเสรีต่าง ๆ ในสาขาวิชาวิธีการวิจัย

ทั้งนี้ ในการศึกษาในระดับปริญญาโท ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเจริญพระชนมายุครบ 72 พรรษาประจำปีการศึกษา 2560 ที่ให้การสนับสนุนค่าเล่าเรียนและค่าใช้จ่ายในการศึกษาตลอดระยะเวลา 2 ปี ทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาได้อย่างเต็มที่ รวมถึงสามารถจัดทำและเผยแพร่วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ในการนี้จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ที่สำคัญ ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ คณะครุศาสตร์ทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น.ส.ปณาลี น.ส.ชนัดดา น.ส.พิณภัทรา น.ส.ศิริยุบล น.ส.ศิริปรียา พีศกรินทร์ พิธนา พิปรารธนา พีรัตนเกล้า พีกรกนก พีชนัด พิพิชิต พีสมรัักษ์ และพีพรณิชา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจมาโดยตลอดในระหว่างการเรียนรู้และการทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ ขอขอบคุณคนรอบข้างและเพื่อนร่วมงานในโรงเรียนสาธิต มศว ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) เป็นอย่างสูงที่ได้ให้กำลังใจในระหว่างการเรียนรู้และการทำงานตลอดมา และที่สำคัญ ขอขอบคุณ น.ส.เสาวลักษณ์ ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณพ่อ คุณแม่ พี่นริศรา คุณป้า และคุณอา ที่ให้ความรัก กำลังใจ และคำแนะนำมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ครับ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2. คำถามวิจัย.....	6
3. วัตถุประสงค์การวิจัย.....	6
4. สมมติฐานการวิจัย.....	6
5. ขอบเขตการวิจัย.....	7
6. คำจำกัดความในการวิจัย.....	8
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
1. ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์.....	12
2. การรู้คิด.....	29
3. ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด.....	46
4. โมเดลสมการโครงสร้าง.....	48
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	55



6. กรอบแนวคิดการวิจัย .....	63
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	65
1. รูปแบบการวิจัย .....	65
2. วิธีดำเนินการวิจัยระยะที่ 1 .....	67
3. วิธีดำเนินการวิจัยระยะที่ 2 .....	86
4. วิธีพิทักษ์สิทธิ .....	93
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	95
ตอนที่ 1 ผลการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียน .....	95
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ .....	97
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ที่สามารถแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์ได้ดี.....	101
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	122
1. สรุปผลการวิจัย .....	122
2. อภิปรายผลการวิจัย.....	123
3. ข้อเสนอแนะการวิจัย.....	129
บรรณานุกรม .....	133
ภาคผนวก ก รายงานผู้ทรงคุณวุฒิ .....	141
ภาคผนวก ข ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับ ทดลองใช้.....	142
ภาคผนวก ค ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เฉลย และผลการ ตรวจสอบคุณภาพ .....	154
ภาคผนวก ง ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการรู้คิด ฉบับทดลองใช้ .....	181
ภาคผนวก จ แบบวัดการรู้คิด และผลการตรวจสอบคุณภาพ.....	185

ภาคผนวก ฉ ผลการทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับนักเรียน ฉบับทดลองใช้..... 190

ภาคผนวก ช ผลการทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับนักเรียน ..... 191

ภาคผนวก ซ แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัย ..... 197

ภาคผนวก ฌ ผลการทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัย 198

ภาคผนวก ฎ ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 201

ภาคผนวก ฏ ผลการทดลองใช้ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 202

ภาคผนวก ฐ ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตอบ  
คำถามวิจัยข้อที่ 2..... 203

ภาคผนวก ฑ ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจากโปรแกรม LISREL เพื่อตอบคำถามวิจัย ข้อ  
ที่ 2 ..... 205

ประวัติผู้เขียน ..... 221



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์.....	22
ตารางที่ 2 นำหนักองค์ประกอบในการประเมิน และเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับองค์ประกอบ ในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (Nikat et al., 2017) .....	23
ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่สำคัญสำหรับช่วงคะแนน ต่าง ๆ (Nikat et al., 2017).....	24
ตารางที่ 4 องค์ประกอบและเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Docktor (2009).....	27
ตารางที่ 5 ความหมายของความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด ที่ปรากฏในแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดแนวคิดต่าง ๆ.....	34
ตารางที่ 6 รายละเอียดขององค์ประกอบของความรู้เกี่ยวกับการคิด ในแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดแนวคิดต่าง ๆ.....	36
ตารางที่ 7 รายละเอียดขององค์ประกอบของการกำกับควบคุมการคิด ในแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดแนวคิดต่าง ๆ.....	37
ตารางที่ 8 ตัวอย่างข้อคำถามที่ในแบบวัดการตระหนักรู้การรู้คิด (Schraw & Dennison, 1994: 473 - 474).....	41
ตารางที่ 9 รายละเอียดของตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์ (ปรับจาก Taasobshirazi et al., 2015).....	43
ตารางที่ 10 ความแตกต่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผู้เริ่มต้นเรียนรู้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (สรุปจาก Veenman, 2012: 29).....	47
ตารางที่ 11 ค่าดัชนีความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์และเกณฑ์ การแปลผลดัชนี (สุวิมล ติรกานันท์, 2553 อ้างถึงใน ยุทธ ไกยวรรณ, 2557) .....	52
ตารางที่ 12 จำนวนและร้อยละของจำนวนนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2561 จำแนกตามรายชื่อโรงเรียน และสังกัดของโรงเรียน (ศูนย์สารสนเทศอุดมศึกษา, 2562).....	69

ตารางที่ 13 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามโรงเรียนและสังกัดของโรงเรียน .....	71
ตารางที่ 14 แผนผังการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ .....	73
ตารางที่ 15 แผนผังปัญหาทางฟิสิกส์ในการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ .....	73
ตารางที่ 16 เกณฑ์การให้คะแนนรายองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์ (ดัดแปลงจาก Nikat et al., 2017: 1241) .....	74
ตารางที่ 17 เกณฑ์การให้คะแนนรายองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์ที่ปรับแก้ไขแล้ว (ดัดแปลงจาก Nikat et al., 2017: 1241) .....	76
ตารางที่ 18 แผนผังการสร้างแบบวัดการรู้คิด .....	80
ตารางที่ 19 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (ดัดแปลงจาก Nikat et al., 2017) .....	84
ตารางที่ 20 เกณฑ์การกำหนดระดับการรู้คิด (ดัดแปลงจาก Memnun & Hart, 2012; Oz, 2016)	84
ตารางที่ 21 คะแนนเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบ (n = 187).....	95
ตารางที่ 22 คะแนนเฉลี่ยร้อยละ (X) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และระดับการรู้คิดทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบ (n = 187) .....	96
ตารางที่ 23 ขนาดอิทธิพลมาตรฐาน (Total Effect) ของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (PS) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) สถิติทดสอบ t ค่าสัมประสิทธิ์ การทำนาย (R <sup>2</sup> ) และดัชนีความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์.....	98
ตารางที่ 24 น้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Beta) ส่วนเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (SE) สถิติทดสอบ t และค่าความผันแปรร่วม (R <sup>2</sup> ) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดการรู้คิดและความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์.....	99
ตารางที่ 25 ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดจำแนกตามผู้ให้ข้อมูลสำคัญ....	101
ตารางที่ 26 รหัสและพฤติกรรมที่แสดงถึงกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์.....	102
ตารางที่ 27 รหัสและพฤติกรรมที่แสดงถึงการรู้คิด .....	103



## สารบัญรูปร่างภาพ

### หน้า

รูปที่ 1 ตัวอย่างปัญหามาตรฐาน (Niss, 2012).....	15
รูปที่ 2 ตัวอย่างปัญหาในชีวิตจริง (Højgaard, 2003; Højgaard, 2004 อ้างถึงใน Niss, 2012).....	15
รูปที่ 3 คำถามสำหรับปัญหาทางฟิสิกส์ (Milbourne & Wiebe, 2018: 166 - 170).....	16
รูปที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	64
รูปที่ 5 ภาพรวมของวิธีดำเนินการวิจัยในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเป็นการวิจัยแบบผสมวิธี .....	66
รูปที่ 6 พารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่าในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างรวม 17 ค่า.....	68
รูปที่ 7 หน้าที่มาตรฐานของพารามิเตอร์ในกรอบแนวคิดการวิจัยในรูปคะแนนมาตรฐาน.....	98
รูปที่ 8 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนในภาพรวม.....	105
รูปที่ 9 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 1 .....	109
รูปที่ 10 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 2 .....	111
รูปที่ 11 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 3.....	112
รูปที่ 12 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 4 .....	114
รูปที่ 13 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 5.....	115
รูปที่ 14 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 6 .....	117
รูปที่ 15 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 7.....	118
รูปที่ 16 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 8 .....	120
รูปที่ 17 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 9 .....	121

## บทที่ 1

### ที่มาและความสำคัญ

#### 1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่งที่มุ่งศึกษาเพื่อสร้างคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยความรู้เนื้อหาทางฟิสิกส์จะช่วยให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับแรง การเคลื่อนที่ พลังงาน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) ใน การเรียนการสอนฟิสิกส์ นักการศึกษาและครูให้ความสำคัญอย่างมากต่อการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งมีลักษณะเป็นสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ศึกษาปรากฏการณ์ทางกายภาพเมื่อบุคคลยังไม่ทราบถึง ปริมาณหรือความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของปรากฏการณ์นั้น (Belikov, 1989) นอกจากนี้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึงสถานการณ์ที่นักเรียนพิจารณาว่ามีความแตกต่างจากสถานการณ์เริ่มต้นที่นักเรียนคุ้นเคย (Pol, 2009)

เหตุผลที่ทำให้ให้นักการศึกษาและครูฟิสิกส์ให้ความสำคัญกับความสามารถในการแก้ปัญหา ฟิสิกส์เนื่องมาจากความสามารถดังกล่าวช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ฟิสิกส์ของนักเรียนได้ (Niss, 2018) และสะท้อนถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาสาระต่าง ๆ ภายในรายวิชาฟิสิกส์ (Deacon & Bamford, 1980) ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จึงจัดเป็นเป้าหมายของการศึกษาฟิสิกส์ทั้งในบริบท ต่างประเทศ (Niss, 2012, 2018) และในบริบทไทย ซึ่งระบุผลการเรียนรู้ที่แสดงถึงความสามารถใน การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ในลักษณะของการอธิบายความสัมพันธ์และการคำนวณค่าของตัวแปร ต่าง ๆ ดังตัวอย่างผลการเรียนรู้ที่ 3 ของสาระฟิสิกส์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ต่อไปนี้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

“ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัว จากกราฟและสมการ รวมทั้งทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก และคำนวณ ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง”

(กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

นอกจากความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การรู้คิดถือเป็นความสามารถอีกประการ หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเรียนรู้ของบุคคล โดยการรู้คิดทำให้บุคคลสามารถกำกับและตรวจสอบ กระบวนการคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ambrose & Lovett, 2014; Schraw & Graham, 1997) ทำให้บุคคลคิดย้อนกลับไปทำการกระทำของตนเองซึ่งช่วยให้สะท้อนความคิดในระดับต่าง ๆ ใน

การเปิดมุมมอง การเรียนรู้ใหม่ รวมถึงการปฏิบัติงานต่าง ๆ ให้เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม (Grotzer & Mittlefehldt, 2012) ทั้งนี้ เมื่อนักเรียนมีการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น นักเรียนจำเป็นต้องมีความรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตนเองมากขึ้น ซึ่งนักเรียนจำเป็นต้องระบุสิ่งที่จำเป็นในการเรียนรู้ ใช้วิธีการต่าง ๆ ในการเรียนรู้อย่างอิสระ และกำกับรวมถึงเปลี่ยนแปลงวิธีการนั้น ๆ ตลอดระยะเวลา การเรียนรู้ (Ambrose & Lovett, 2014) และนอกจากนี้ การปฏิบัติงานทางความคิดที่ ประสบความสำเร็จนอกจากต้องอาศัยความรู้ที่เพียงพอ บุคคลต้องอาศัยความตระหนักและ การควบคุมความรู้นั้น ๆ อย่างเพียงพอเช่นกัน (Garofalo & Lester Jr, 1985) ทั้งนี้ นักเรียนควร ได้รับการพัฒนาการรู้คิดเพื่อช่วยในการส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา (Ozturk, 2017) จึงสรุป ได้ว่า การรู้คิดมีความสำคัญในหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา การช่วยให้บุคคลกำกับกระบวนการคิดและความรู้ของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสนับสนุน ให้เกิดการเรียนรู้และการปฏิบัติงานอย่างเหมาะสม รวมถึงการช่วยสนับสนุนให้นักเรียนสามารถ เรียนรู้ได้อย่างอิสระ

ความสำคัญอีกประการหนึ่งของการรู้คิดคือ การรู้คิดมีความเกี่ยวข้องกับการศึกษา วิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนต้องใช้การรู้คิดในการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้สามารถสืบสอบได้ อย่างมีประสิทธิภาพ (White, Frederiksen, & Collins, 2009) จำเป็นต้องเรียนรู้อย่างรู้คิดในโลกที่ เต็มไปด้วยมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความซับซ้อน (Grotzer & Mittlefehldt, 2012) นักการศึกษายังเชื่อว่า การรู้คิดมีส่วนช่วยให้นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจการคิดของตนเองในระหว่างการแก้ปัญหา (Gok, 2010) และสามารถช่วยกำกับตนเองระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงช่วยให้ประเมินและเลือกใช้ กลยุทธ์การแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพได้ (Docktor, 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบ บางประการของการรู้คิดมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบบางประการของความสามารถในการแก้ปัญหาทาง ฟิสิกส์ ดังแสดงในงานวิจัยของ Taasobshirazi & Farley (2013a) ซึ่งพบว่าการวางแผนการรู้คิด มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักศึกษาในรัฐจอร์เจียและเนวาดา สหรัฐอเมริกา และในงานวิจัยของ Ali, Abd-Talib, Ibrahim, Surif, & Abdullah (2016) ซึ่งพบว่า การกำกับ ควบคุมการคิดช่วยให้นักศึกษาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยในประเทศมาเลเซียจดจ่อกับเป้าหมาย การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงช่วยในการทำความเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์ และส่งเสริมให้สามารถ ตรวจสอบรวมถึงหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบการศึกษาวิจัยสภาพความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนไทยในภาพรวม สารสนเทศที่มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนไทยในปัจจุบันมีเพียงผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินี้ขั้นพื้นฐาน (O-NET) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560 ถึง 2562 ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ โดยนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 29.84 32.10 และ 23.59 ตามลำดับ และสาระที่ 5 พลังงาน โดยนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 23.96 23.38 และ 23.15 ตามลำดับ (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2561b, 2562b, 2563b) ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็ม และผลการทดสอบรายวิชาฟิสิกส์ในการทดสอบวิชาสามัญของนักเรียนผู้เข้าทดสอบในปีการศึกษา 2560 ถึง 2562 โดยผู้เข้าทดสอบมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 29.44 26.95 และ 28.69 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็ม (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2561a, 2562a, 2563a) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีความจำกัดในการอนุมานไปสู่การทำ ความเข้าใจเกี่ยวกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนเนื่องจากไม่ได้เป็นการวัด ความสามารถดังกล่าวโดยตรง

จากการวิจัยที่มีในปัจจุบันพบว่า การวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการแก้ปัญหา ฟิสิกส์ของนักเรียนไทยมักเป็นการวิจัยเชิงทดลองที่มีการเก็บข้อมูลกับนักเรียนกลุ่มเล็กเพียง 1 ถึง 2 ห้องเรียน เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการ เรียนรู้แบบสืบสอบทั่วไปซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมในการวิจัยต่าง ๆ พบสารสนเทศจากงานวิจัยของ อมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558) ซึ่งปรากฏว่า หลังเรียน นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสังกัดสำนักงาน คณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2556 จำนวน 1 ห้องเรียน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างสืบสอบทั่วไปมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ร้อยละ 38.48 (อมรรัตน์ บุบผะโชติ, 2558) นอกจากนี้ พบบงานวิจัยของพัฒน์ดา มิ่งมิตร (2559) ซึ่ง ปรากฏว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในเขตพื้นที่ การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2559 จำนวน 1 ห้องเรียน ที่เรียนด้วยการ เรียนรู้แบบทั่วไปซึ่งเป็นแบบสืบสอบ 3 ขั้นตอนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์คิดเป็นร้อย ละ 52.48 และพบบงานวิจัยของรมิตา ชื่นเปรมชีพ (2559) ซึ่งปรากฏว่า นักเรียนโรงเรียนสังกัด สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานแห่งหนึ่งในจังหวัดฉะเชิงเทราในปีการศึกษา 2559 จำนวน 1 ห้องเรียนซึ่งเรียนด้วยการเรียนรู้แบบทั่วไปซึ่งเป็นการสืบสอบ 3 ขั้นตอนมีความสามารถ ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์คิดเป็นร้อยละ 60.03 สารสนเทศข้างต้นเป็นบ่งชี้ให้เห็นว่าความสามารถ

ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนไทยที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบทั่วไปในโรงเรียนดังกล่าวอาจอยู่ในระดับที่ไม่น่าพึงพอใจ ซึ่งเป็นเรื่องน่าสนใจว่านักเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครในภาพรวมเป็นอย่างไร โดยสารสนเทศดังกล่าวจะบ่งชี้สภาพความสามารถของนักเรียนในภาพรวมที่เป็นปัจจุบันซึ่งจะช่วยให้ นักการศึกษาวิทยาศาสตร์สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากความจำกัดของสารสนเทศที่จะอธิบายความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนแล้ว จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังขาดสารสนเทศเกี่ยวกับการกำหนดองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อีกด้วย โดยงานวิจัยแต่ละงานมีการกำหนดองค์ประกอบและน้ำหนักค่าคะแนนของการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในลักษณะแตกต่างกัน (Nikat, Parno, & Latifah, 2017; พัฒนิตา มิ่งมิตร, 2559; อมรรัตน์ บุบผ์โชติ, 2558) ซึ่งการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้นที่ผ่านมามีแนวคิดเชิงทฤษฎีสนับสนุนเกี่ยวกับแนวทางการกำหนดองค์ประกอบการประเมินรวมถึงน้ำหนักการให้คะแนนในแต่ละองค์ประกอบเท่านั้น แต่ไม่พบการตรวจสอบว่าองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้นสอดคล้องกับสภาพจริงของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนไทยหรือไม่ และทำให้ขาดสารสนเทศที่ระบุว่าการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ควรลำดับความสำคัญในการพัฒนาองค์ประกอบต่าง ๆ อย่างไร ซึ่งการศึกษาเกี่ยวกับการรู้คิดนั้นก็พบปัญหาในลักษณะเดียวกันนี้

การศึกษาเกี่ยวกับการรู้คิดและความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนไทยไม่เพียงแต่ขาดสารสนเทศเกี่ยวกับภาพรวมถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดเท่านั้น อิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนไทยควรได้รับการศึกษาเช่นกัน แม้ว่าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศระบุว่าการรู้คิดมีแนวโน้มที่จะส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ เช่น งานวิจัยของ Taasobshirazi & Farley (2013a) ที่พบว่า การวางแผนการรู้คิดมีอิทธิพลทางอ้อมต่อการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ผ่านการใช้งานกลยุทธ์ทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับนักศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตามนักเรียนไทยไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของประชากรในงานวิจัยข้างต้น ผลการวิจัยข้างต้นจึงมีข้อจำกัดในการสรุปอ้างอิงมายังนักเรียนไทย ข้อจำกัดประการนี้บ่งชี้ให้เห็นถึงช่องว่างในการศึกษาอิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนไทย ซึ่งจะเป็นสารสนเทศที่ยืนยันได้ว่าการรู้คิดช่วยส่งเสริม

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้หรือไม่ และนำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากการพิจารณาอิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์แล้ว เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ งานวิจัยของ Ali et al. (2016) ที่ทำการศึกษากำกับควบคุมของนักศึกษาฟิสิกส์ในประเทศมาเลเซียเรื่องกลศาสตร์ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ข้อค้นพบสำคัญของงานวิจัยนี้คือนักศึกษาส่วนมากใช้การกำกับควบคุมการคิดระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ การกำกับควบคุมการคิดที่เอื้อต่อการแก้ปัญหาให้สำเร็จจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ปัญหาในเชิงคุณภาพ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยข้างต้นใช้การศึกษาเชิงคุณภาพ ซึ่งความสามารถในการถ่ายโอน (Transferability) ของผลการวิจัยเชิงคุณภาพ ขึ้นอยู่กับความสอดคล้องระหว่างบริบทของงานวิจัยข้างต้นกับบริบทที่ต้องการสรุปอ้างอิง (ลือชา ลดาชาติ, 2558) แต่บริบทของงานวิจัยข้างต้นแตกต่างจากบริบทของนักเรียนไทยในด้านกลุ่มที่ศึกษาซึ่งเป็นนักศึกษาฟิสิกส์ รวมถึงเนื้อหาซึ่งเป็นกลศาสตร์สำหรับนักศึกษาฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อนแตกต่างจากกลศาสตร์สำหรับนักเรียนไทยในระดับมัธยมศึกษา ผลการศึกษาเชิงคุณภาพข้างต้นจึงไม่สามารถอ้างอิงมายังนักเรียนไทยได้อย่างชัดเจน ข้อจำกัดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการศึกษากระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนซึ่งแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียน เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนไทย

จากที่มาและความสำคัญของปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยเห็นว่าปัญหาวิจัยข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นสภาพปัจจุบันของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด การตรวจสอบการมีอยู่ของความสัมพันธ์และองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด และการศึกษากระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี ควรได้รับการศึกษา จึงเป็นที่มาของการวิจัยเรื่อง การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อตอบปัญหาวิจัยข้างต้น ทั้งนี้ เพื่อให้ขอบเขตการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้มีความเหมาะสม ผู้วิจัยจึงกำหนดประชากรการวิจัยเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากโรงเรียนในสังกัดข้างต้นมีบริบทที่คล้ายคลึงกันอันเนื่องมาจากสังกัดของโรงเรียน นอกจากนี้โรงเรียนในสังกัดข้างต้นมีจำนวน 10 โรงเรียน ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างการวิจัยได้อย่างครอบคลุมและ

เพียงพอต่อการอ้างอิงผลการวิจัย ที่สำคัญ นักเรียนโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาเป็นนักเรียนที่มีความสามารถสูง (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) ซึ่งกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนข้างต้นน่าจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นแนวทางการพัฒนากระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์แก่นักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ได้ต่อไป

## 2. คำถามวิจัย

1) นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร มีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดเป็นอย่างไร

2) กรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่ อย่างไร

3) นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีจะมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างไร

## 3. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร

2) เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครกับข้อมูลเชิงประจักษ์

3) เพื่อวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี

## 4. สมมติฐานการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงอิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

## 5. ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยการดำเนินการใน 2 ระยะ ขอบเขตการวิจัยจึงนำเสนอประชากร และกลุ่มตัวอย่าง ตัวแปรในการวิจัย และเนื้อหาในการวิจัย จำแนกตามการวิจัยทั้ง 2 ระยะ ดังนี้

### 1) การวิจัยระยะที่ 1

การวิจัยระยะที่ 1 ดำเนินการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด และวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

#### 1.1) ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

ประชากรในการวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษากรุงเทพมหานคร จำนวนประมาณ 4,000 คน

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2563 จำนวน 187 คน ได้มาจากการสุ่มแบบหลายชั้นตอน โดยสาเหตุที่กำหนดเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 เนื่องจากนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาการเคลื่อนที่แนวตรง ซึ่งเป็นเนื้อหาในการวิจัยมาในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งทำให้ระยะเวลาหลังการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหานี้ไม่น้อยเกินไปเทียบกับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 และไม่มากเกินไปเทียบกับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6 จึงมีความเหมาะสมในการกำหนดเป็นตัวแทนของประชากรในการวิจัย

#### 1.2) ตัวแปรในการวิจัย

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การรู้คิดมีแนวโน้มส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทำให้ตัวแปรต้นในการวิจัยคือการรู้คิด และตัวแปรตามในการวิจัยคือความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

#### 1.3) เนื้อหาในการวิจัย

การเคลื่อนที่แนวตรง



## 2) การวิจัยระยะที่ 2

การวิจัยระยะที่ 2 ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

### 2.1) นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2563 จากการวิจัยระยะที่ 1 ที่แก้ปัญหาได้ลำดับสูงสุด 3 ลำดับแรกจากโรงเรียน 3 โรงเรียน รวมเป็น 9 คน

### 2.2) ตัวแปรในการวิจัย

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการรู้คิด

### 2.3) เนื้อหาในการวิจัย

การเคลื่อนที่แนวตรง

## 6. คำจำกัดความในการวิจัย

### 1) ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง พฤติกรรมของนักเรียนในการหาความสัมพันธ์หรือปริมาณทางกายภาพที่ไม่ทราบค่าของปรากฏการณ์ซึ่งเป็นโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ วัดและประเมินโดยใช้แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์แบบอัตนัย ซึ่งดัดแปลงองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Nikat et al. (2017) เนื่องจากแนวคิดข้างต้นมีความชัดเจนในการวิเคราะห์คะแนนแยกองค์ประกอบ รวมถึงมีการพิจารณาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งในด้านกระบวนการและผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งองค์ประกอบการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีดังนี้

1) การระบุตัวแปร หมายถึง การวิเคราะห์และบ่งชี้ตัวแปรที่ต้องการทราบค่าและตัวแปรที่ทราบค่าแล้วจากปัญหาทางฟิสิกส์ที่กำหนด

2) การระบุสมการ หมายถึง การวิเคราะห์และบ่งชี้สมการที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม หมายถึง ขั้นตอนและวิธีการที่นักเรียนใช้ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

4) การระบุขนาดของคำตอบ หมายถึง การสรุปตัวเลขที่บ่งบอกถึงตัวแปรที่ต้องการทราบค่าภายหลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

5) การระบุหน่วยของคำตอบ หมายถึง การสรุปหน่วยของตัวแปรที่ต้องการทราบค่าภายหลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

## 2) การรู้คิด

การรู้คิด หมายถึง ความรู้และความสามารถของนักเรียนในการคิด วางแผน กำกับ ตรวจสอบ รวมถึงประเมินเกี่ยวกับความสามารถของตนเอง และกระบวนการคิดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อให้เกิดการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ วัดและประเมินโดยใช้แบบวัดการรู้คิดแบบมาตรฐานค่า 5 ระดับ ซึ่งกำหนดองค์ประกอบโดยใช้องค์ประกอบของการรู้คิดตาม Taasobshirazi, Bailey, & Farley (2015) เนื่องจากแนวคิดข้างต้นสอดคล้องกับการวิจัยนี้ที่ศึกษาการรู้คิดในบริบทการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ นอกจากนี้แนวคิดข้างต้นได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างเบื้องต้นสำหรับนักศึกษาฟิสิกส์ในประเทศสหรัฐอเมริกาว่าองค์ประกอบในการวัดการรู้คิดข้างต้นมีอยู่จริง โดยองค์ประกอบของการรู้คิดสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด หมายถึง สิ่งที่นักเรียนรู้เกี่ยวกับความคิดซึ่งประกอบด้วยความรู้ที่แตกต่างกัน 3 องค์ประกอบ ได้แก่

1.1) ความรู้เชิงประกาศ หมายถึง ความรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับตนเอง ในฐานะผู้เรียนรู้หรือผู้แก้ปัญหา

1.2) ความรู้เชิงกระบวนการ หมายถึง ความรู้เกี่ยวกับวิธีการในการทำภารกิจหรือกิจกรรมหนึ่ง ๆ

1.3) ความรู้เชิงเงื่อนไข หมายถึง ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์และเงื่อนไขเวลาที่เหมาะสมในการใช้ความรู้เชิงประกาศและความรู้เชิงกระบวนการหนึ่ง ๆ

2) การกำกับความคิด หมายถึง การลงมือปฏิบัติที่ช่วยกำกับหรือควบคุมการเรียนรู้และการแก้ปัญหา ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบย่อย 5 องค์ประกอบ ได้แก่

2.1) การวางแผน หมายถึง การตั้งเป้าหมายรวมถึงการออกแบบวิธีการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายก่อนทำภาระงานหนึ่ง ๆ

2.2) การจัดการสารสนเทศ หมายถึง กลยุทธ์เฉพาะซึ่งนักเรียนใช้แก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3) การกำกับควบคุม หมายถึง การประเมินอย่างสม่ำเสมอเกี่ยวกับเป้าหมาย งาน และการปฏิบัติงานของนักเรียน

2.4) การแก้ไขข้อผิดพลาด หมายถึง กลยุทธ์ที่ใช้แก้ไขการเรียนรู้และการแก้ไขปัญหาให้ถูกต้อง

2.5) การประเมินผล หมายถึง การตัดสินภาระงานของนักเรียนภายหลังการทำภาระงานเสร็จสิ้นแล้ว

### 3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง ขั้นตอน วิธีการ หลักการ หรือเทคนิคที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวิจัย 3 ฉบับ ได้แก่ แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียน แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัย และประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์พิจารณาขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ได้จากการสังเคราะห์จากแนวคิดของ Belikov (1989) Reif (1995) และ Gok (2010) ซึ่งเป็นดังนี้

1) การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง การทำความเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์โดยระบุคำศัพท์ หลักการ ขอบเขตของสมการ ลักษณะสำคัญของปัญหา รวมถึงเป้าหมายของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

2) การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง การใช้ความรู้ทางฟิสิกส์และความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยมีการแบ่งปัญหาทางฟิสิกส์เป็นปัญหาย่อย ๆ และแก้ปัญหาย่อย ๆ จนสามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้

3) การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง การประเมินว่าคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความถูกต้องและสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยพิจารณาได้จากประเด็นต่าง ๆ เช่น ความครบถ้วนและความสอดคล้องของคำตอบกับปัญหา รวมถึงความถูกต้องของหน่วยกับเครื่องหมายของคำตอบ ความสมเหตุสมผลของคำตอบกับเงื่อนไขของคำตอบ เป็นต้น

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร นำเสนอเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามประเด็นต่อไปนี้

1. ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
  - 1.1 ความสำคัญของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
  - 1.2 ความหมายของปัญหาทางฟิสิกส์
  - 1.3 ประเภทของปัญหาทางฟิสิกส์
  - 1.4 ความหมายของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
  - 1.5 ขั้นตอนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
  - 1.6 แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
2. การรู้คิด
  - 2.1 ความสำคัญของการรู้คิด
  - 2.2 ความหมายของการรู้คิด
  - 2.3 องค์ประกอบของการรู้คิด
  - 2.4 แนวทางการวัดและประเมินการรู้คิด
3. ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด
4. โมเดลสมการโครงสร้าง
  - 4.1 ความหมายของโมเดลสมการโครงสร้าง
  - 4.2 องค์ประกอบของโมเดลสมการโครงสร้าง
  - 4.3 พารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง
  - 4.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
  - 5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
  - 5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้คิด
6. กรอบแนวคิดการวิจัย

## 1. ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

### 1.1 ความสำคัญของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

นักการศึกษาระบุว่าความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความสำคัญอันเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการหลัก ดังนี้

1) ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ถือเป็นเป้าหมายของการศึกษา โดยหนึ่งในเป้าหมายของการศึกษาฟิสิกส์คือการพัฒนาให้นักเรียนสามารถในการแก้ปัญหาในโลกความจริงได้ โดยใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางฟิสิกส์ ทั้งในบริบทต่างประเทศ (Nikat et al., 2017; Niss, 2012, 2018) และในประเทศไทย ซึ่งระบุให้ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นเป้าหมายหนึ่งในการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

2) ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ฟิสิกส์ของนักเรียน (Niss, 2018) โดยครูจะให้นักเรียนประยุกต์มีนวัตกรรมทางฟิสิกส์ในการจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์ (Pol, 2009) ทั้งนี้ ผลลัพธ์ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นเกณฑ์สำคัญในการบ่งบอกถึงความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาสาระฟิสิกส์ในหัวข้อนั้น ๆ ซึ่งเป็นเหตุผลให้การทดสอบในรายวิชาฟิสิกส์มักใช้แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการทดสอบความรู้ของนักเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ร่วมด้วย (Deacon & Bamford, 1980)

จากแนวคิดของนักการศึกษาที่บ่งชี้ถึงความสำคัญของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความสำคัญและควรได้รับการพัฒนาในบริบทของการศึกษาฟิสิกส์เนื่องจากความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จัดเป็นเป้าหมายของการศึกษาฟิสิกส์ทั้งในบริบทไทยและต่างประเทศ นอกจากนี้ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีส่วนช่วยพัฒนาการเรียนรู้ฟิสิกส์ รวมถึงการประยุกต์ความรู้ความเข้าใจเนื้อหาสาระทางฟิสิกส์มาใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และนอกจากนี้ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถสะท้อนความเข้าใจในเนื้อหาสาระฟิสิกส์ได้เช่นกัน

### 1.2 ความหมายของปัญหาทางฟิสิกส์

นักการศึกษาได้ระบุความหมายของปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ดังนี้

Belikov (1989) ระบุว่า ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง แบบจำลองทางภาษาที่บุคคลกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ทางกายภาพอย่างเป็นรูปธรรมเมื่อบุคคลยังไม่ทราบปริมาณต่าง ๆ หรือปฏิสัมพันธ์ หรือความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นั้น

Pol (2009) ระบุว่า ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง สถานการณ์ทางฟิสิกส์ที่นักเรียนพิจารณาว่ามีความแตกต่างจากสถานการณ์เริ่มต้นที่นักเรียนคุ้นเคย

อมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558) ระบุว่า ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง สถานการณ์ในรูปแบบของคำถามที่ต้องการทราบปริมาณต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ โดยไม่สามารถใช้ประสบการณ์หรือสารสนเทศที่กำหนดให้ในการตอบคำถามนั้นได้โดยตรง

จากแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้น พบว่า Belikov (1989) และ Pol (2009) ระบุถึงความหมายของปัญหาทางฟิสิกส์ไว้สอดคล้องกันที่ว่า หมายถึงสถานการณ์หรือแบบจำลองที่กำหนดขึ้นเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ทางกายภาพ ทั้งนี้ Belikov (1989) ได้ขยายความว่า สถานการณ์นั้นจะมีปริมาณหรือความสัมพันธ์ของปริมาณทางฟิสิกส์ที่ไม่ทราบค่า ในขณะที่ Pol (2009) เพิ่มเติมรายละเอียดว่าสถานการณ์ทางฟิสิกส์นั้นจะต้องแตกต่างจากสถานการณ์ที่นักเรียนเคยพบเจอ ซึ่งอมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558) ได้ระบุความหมายของปัญหาทางฟิสิกส์ไว้สอดคล้องกับ Belikov (1989) และ Pol (2009) ทั้งในด้านการเป็นสถานการณ์ทางฟิสิกส์ที่ต้องการทราบปริมาณต่าง ๆ โดยสถานการณ์นั้นแตกต่างจากประสบการณ์เดิมหรือไม่สามารถหาคำตอบได้โดยตรง

แนวคิดข้างต้นทำให้กำหนดเป็นความหมายของปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยครั้งนี้ได้ว่า หมายถึง สถานการณ์ที่เป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพที่มีปริมาณหรือความสัมพันธ์ที่ต้องการทราบค่า ซึ่งไม่สามารถหาคำตอบได้โดยตรง

### 1.3 ประเภทของปัญหาทางฟิสิกส์

นักการศึกษาได้ระบุประเภทของปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ดังนี้

Belikov (1989) ระบุว่า ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถจำแนกตามเกณฑ์ 2 เกณฑ์ ดังนี้

1) ปัญหาทางฟิสิกส์เมื่อจำแนกตามวิธีการในการศึกษา จำแนกปัญหาเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.1) ปัญหาเชิงการทดลอง (Experimental Problem) หมายถึง ปัญหาที่จำเป็นต้องอาศัยการวัดค่าต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณหรือคำตอบที่ต้องการ

1.2) ปัญหาเชิงทฤษฎี (Theoretical Problem) หมายถึง ปัญหาที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ทางกายภาพโดยมีทั้งปริมาณที่ทราบค่าซึ่งกำหนดไว้และปริมาณที่ไม่ทราบค่าที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นั้น ๆ และสามารถแก้ปัญหาได้โดยไม่ต้องใช้การวัดค่าต่าง ๆ ทั้งนี้ ปัญหาเชิงทฤษฎีจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1.2.1) ปัญหาเชิงสมการ (Formulated Problem) หมายถึง ปัญหาที่มีข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณทางกายภาพมาให้ครบถ้วนแล้วและสามารถใช้กระบวนการทางความคิด (Idealization Process) ในการแก้ปัญหาได้โดยตรง

1.2.2) ปัญหาที่ไม่เจาะจง (Non-Specified Problem) หมายถึง ปัญหาที่ไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณทางกายภาพมาอย่างครบถ้วน หรือปัญหาที่ไม่สามารถใช้กระบวนการทางความคิด (Idealization Process) ในการแก้ปัญหาได้โดยตรง หรือปัญหาที่ทั้งไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณทางกายภาพมาอย่างครบถ้วนและไม่สามารถใช้กระบวนการทางความคิด แก้ปัญหาได้โดยตรง

2) ปัญหาทางฟิสิกส์เมื่อจำแนกตามเนื้อหาของปรากฏการณ์ทางกายภาพ จำแนกปัญหาเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1) ปัญหาทางฟิสิกส์ดั้งเดิม (Classical Physics Problem) เป็นปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาฟิสิกส์ดั้งเดิม

2.2) ปัญหาทางฟิสิกส์ควอนตัม (Quantum Physics Problem) เป็นปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาควอนตัมฟิสิกส์

Jonassen (1997) ระบุชนิดของปัญหาไว้ดังนี้

1) ปัญหาที่มีโครงสร้าง (Well-Structured Problem) เป็นปัญหาที่มีเงื่อนไขและมีแนวทางการแก้ไขหรือคำตอบที่จำกัดซึ่งจำเป็นต้องประยุกต์กฎและหลักการต่าง ๆ กับตัวแปรที่มีการระบุอย่างชัดเจน เช่น การแก้สมการยกกำลังสอง การให้แสงสว่างในการจัดเวทಿಯอย่างสมดุล เป็นต้น

2) ปัญหาที่ไม่มีโครงสร้าง (Ill-Structured Problem) เป็นปัญหาที่อาจมีคำตอบได้อย่างหลากหลายคำตอบ รวมถึงมีแนวทางการแก้ได้หลากหลายแนวทาง โดยมีตัวแปรต่าง ๆ ที่ไม่มากนักซึ่งไม่สามารถจัดกระทำได้ และมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับมโนทัศน์ รวมถึงกฎ และหลักการที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหา หรือมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับวิธีการจัดระบบปัญหาและคำตอบของปัญหาที่ดีที่สุด เช่น การตอบคำถามว่าควรขายรถที่มีอายุการใช้งาน 10 ปีหรือไม่ วิธีการลดน้ำหนัก หรือการระบุแนวทางการแก้ปัญหาที่ชัดเจนในสถานการณ์ปัญหาที่กำหนด

Niss (2012) ระบุว่า ปัญหาทางฟิสิกส์ประกอบด้วยปัญหามาตรฐาน และปัญหาในชีวิตจริง โดยให้รายละเอียดไว้ดังนี้

1) ปัญหามาตรฐาน (Standard Problem) หรือปัญหาที่ถูกระบุไว้อย่างชัดเจน (Well-Defined Problem) เป็นปัญหาที่นักศึกษาระบุว่า เป็นปัญหาในชีวิตจริงที่ถูกต้องเปลี่ยนแปลง และมีโครงสร้างที่ชัดเจน โดยมีการให้เหตุผลในบริบททางกายภาพของปัญหาไว้อย่างชัดเจนแล้ว ตัวอย่างปัญหามาตรฐานเป็นดังรูปที่ 1

**รูปที่ 1** ตัวอย่างปัญหามาตรฐาน (Niss, 2012)

### ปัญหาลูกตุ้ม

ลูกตุ้มประกอบด้วยลูกบอลขนาดเล็กติดอยู่กับลวดเบาที่มีความยาว  $L$  โดยที่ปลายอีกด้านของลูกตุ้มถูกยึดไว้กับขอเกี่ยวที่ยึดกับกำแพง วัตถุหนึ่งถูกยึดไว้ได้ขอเกี่ยวโดยมีระยะห่างสั้นกว่า  $L$  ลูกบอลขนาดเล็กถูกดึงให้หยุดนิ่งโดยที่ลวดมีความตึงและวางตัวในแนวระดับ จากนั้นลูกปล่อยให้เคลื่อนที่ ระยะห่างมากที่สุดระหว่างขอเกี่ยวกับวัตถุจะเป็นเท่าไรถึงจะทำให้ลวดยังคงตึงเมื่อลูกบอลอยู่เหนือวัตถุนั้นในแนวตั้งพอดี

2) ปัญหาในชีวิตจริง (Real-World Problem) หรือปัญหาที่ถูกระบุไว้อย่างไม่ชัดเจน (Ill-Defined Problem) หมายถึง ปัญหาที่สมมติหรือจำลองขึ้นที่สามารถพบได้ในโลกแห่งความจริง โดยมีลักษณะสำคัญดังนี้ และตัวอย่างปัญหาในชีวิตจริงเป็นดังรูปที่ 2

- 1) เหตุการณ์ในปัญหาเกิดขึ้นจริง หรือมีโอกาสเกิดขึ้นจริง
- 2) คำถามที่อยู่ในปัญหาต้องเป็นคำถามที่สามารถถูกถามได้ในชีวิตจริง
- 3) ข้อมูลในปัญหามีความสมจริง
- 4) คำตอบของปัญหามีความสอดคล้องกับลักษณะคำตอบที่เหมาะสมกับ

สถานการณ์จริงที่อยู่นอกเหนือบริบทของโรงเรียน

**รูปที่ 2** ตัวอย่างปัญหาในชีวิตจริง (Højgaard, 2003; Højgaard, 2004 อ้างถึงใน Niss, 2012)

### ปัญหากระสุนปืนใหญ่

กำลังในการยิงกระสุนปืนใหญ่มีความสัมพันธ์กับความยาวของกระบอกปืนใหญ่อย่างไร

### ปัญหากำลังของปลั๊กไฟ

ปลั๊กไฟถูกเชื่อมกับเครื่องทำน้ำอุ่น ความร้อนถูกถ่ายโอนจากปลั๊กไฟไปยังเครื่องทำน้ำอุ่นผ่านการเชื่อมโยงของสายไฟอย่างหลวม ๆ ความร้อนที่ปลั๊กไฟสามารถถ่ายโอนได้เป็นเท่าไร

### ปัญหาก็อกน้ำ

สายน้ำที่พุ่งออกจากก็อกน้ำจะมีความกว้างเท่าไร



Milbourne & Wiebe (2018: 166 - 170) ทำการศึกษาแนวคิดของนักการศึกษา แล้วพบว่า ลักษณะของปัญหาที่พบได้จะอยู่ระหว่างปัญหาที่มีโครงสร้างกับปัญหาที่ไม่มีโครงสร้าง โดยปัญหาที่มีเงื่อนไขน้อยหรือมีเงื่อนไขที่เปิดจะมีความใกล้เคียงกับปัญหาที่ไม่มีโครงสร้าง ในขณะที่ปัญหาที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับวิธีการในการแก้ที่มากจะมีความใกล้เคียงกับปัญหาที่มีโครงสร้าง ทั้งนี้ ตัวอย่างคำถามเกี่ยวกับปัญหาทางฟิสิกส์เป็นดังรูปที่ 3

**รูปที่ 3** คำถามสำหรับปัญหาทางฟิสิกส์ (Milbourne & Wiebe, 2018: 166 - 170)

**คำถามที่ 1**

ความถี่เสียงต่ำสุดที่หูของมนุษย์สามารถรับรู้ได้คือ 20 เฮิรตซ์ ความยาวคลื่นเสียงจะมีค่าเป็นเท่าไรเมื่อเสียงเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 340 เมตร/วินาที

**คำถามที่ 2**

ความยาวคลื่นในการแผ่รังสีหรือสัญญาณที่ออกจากโทรศัพท์เคลื่อนที่มีค่าเป็นเท่าไร

**คำถามที่ 3**

สมมติว่านักเรียนกำลังยืนอยู่ใกล้ชายหาดโดยยืนอยู่บนสะพานสำหรับตกปลาแล้วมองไปยังคลื่นน้ำที่เคลื่อนมาจากมหาสมุทร ความยาวคลื่นโดยทั่วไปของมหาสมุทรจะเป็นเท่าไร

จากรูปที่ 3 Milbourne & Wiebe (2018: 169 - 170) ระบุว่า

1) คำถามที่ 1 เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างอย่างชัดเจนมากกว่าคำถามที่ 2 และ 3 เนื่องจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหาถูกระบุไว้แล้ว และแนวทางการแก้ปัญหาได้เพียงหนึ่งแนวทางเท่านั้น ทั้งนี้ ค่าของตัวแปรที่กำหนดมาให้จะกำหนดแนวทางการแก้ปัญหา ซึ่งนักเรียนอาจใช้วิธีการย่อย ๆ ในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน (เช่น การวิเคราะห์หน่วย การวิเคราะห์มิติ) อย่างไรก็ตาม แนวทางการแก้ปัญหาขาดความยืดหยุ่นในการใช้แนวทางอื่น ๆ

2) คำถามที่ 2 เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างน้อยกว่าคำถามที่ 1 เนื่องจากคำถามไม่ได้แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องไว้ทั้งหมด นักเรียนจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลหรือประมาณค่าอัตราเร็วคลื่นหรือความถี่ของคลื่นที่เกี่ยวข้องกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ อย่างไรก็ตาม คำถามที่ 2 เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างมากกว่าคำถามที่ 3 เนื่องจากมีช่วงคำตอบที่ถูกต้องอยู่ซึ่งขึ้นกับช่วงความถี่จริงของคลื่นจากโทรศัพท์เคลื่อนที่

3) คำถามที่ 3 เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างมากกว่าคำถามที่ 1 และ 2 เนื่องจากคำถามกำหนดเงื่อนไขให้น้อยที่สุด และคำตอบที่เป็นไปได้มีค่าได้อย่างหลากหลายมากกว่าคำตอบสำหรับคำถามที่ 1 และ 2 ทั้งนี้ คำถามที่ 3 ขาดการให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาซึ่งทำให้นักเรียนต้อง

กำหนดค่าความยาวคลื่นและอัตราเร็วคลื่น นอกจากนี้ เนื่องจากอัตราเร็วคลื่นและความถี่คลื่นมีความแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมในท้องถิ่น นักเรียนจำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนไขเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมนี้ซึ่งทำให้คำตอบที่ถูกต้องสามารถเป็นได้อย่างหลากหลายคำตอบ

จากแนวคิดของนักการศึกษาเกี่ยวกับประเภทของปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้น พบว่า แนวคิดของ Belikov (1989) ระบุเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของปัญหาทางฟิสิกส์ใน 2 เกณฑ์ ได้แก่ วิธีการศึกษา และเนื้อหา ซึ่งเกณฑ์วิธีการศึกษา มีความสอดคล้องกับแนวคิดของ Jonassen (1997) และ Niss (2012) ซึ่งพิจารณาว่าปัญหาทางฟิสิกส์มี 2 ประเภท ได้แก่ ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีโครงสร้างซึ่งมีคำตอบที่ชัดเจน สามารถหาคำตอบได้โดยใช้วิธีการหาคำตอบที่จำกัด และปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่มีโครงสร้างซึ่งมีคำตอบได้หลากหลาย และสามารถใช้วิธีการหาคำตอบได้อย่างหลากหลาย นอกจากนี้ Milbourne & Wiebe (2018: 166 - 170) ได้ระบุว่าประเภทของปัญหาทางฟิสิกส์มีความต่อเนื่องระหว่างปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีโครงสร้างและปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่มีโครงสร้าง

จากแนวคิดเกี่ยวกับปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถจำแนกโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

1) เกณฑ์วิธีการในการศึกษา สามารถจำแนกปัญหาทางฟิสิกส์ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัญหาเชิงการทดลองซึ่งต้องใช้การวัดค่าต่าง ๆ เพื่อหาคำตอบ และปัญหาเชิงทฤษฎี ซึ่งไม่ต้องการวัดค่าต่าง ๆ ในการหาคำตอบ

2) เกณฑ์เนื้อหาของปรากฏการณ์ทางกายภาพ สามารถจำแนกปัญหาทางฟิสิกส์ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัญหาทางฟิสิกส์ดั้งเดิม และปัญหาทางฟิสิกส์ควอนตัม ซึ่งเกี่ยวข้องกับเนื้อหาสาระฟิสิกส์ดั้งเดิม และเนื้อหาสาระฟิสิกส์ควอนตัม ตามลำดับ

3) เกณฑ์บริบทของปัญหาทางฟิสิกส์ สามารถจำแนกปัญหาทางฟิสิกส์ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัญหาในชีวิตจริง และปัญหาที่ไม่พบในชีวิตจริง

4) เกณฑ์ลักษณะของคำตอบและเงื่อนไขของปัญหาทางฟิสิกส์ สามารถจำแนกปัญหาทางฟิสิกส์ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัญหาที่มีโครงสร้าง (Well-Structured Problem) ซึ่งมีคำตอบที่จำกัด ใช้ความรู้อย่างจำกัดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงมีแนวทางการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่จำกัด และปัญหาที่ไม่มีโครงสร้าง (Ill-Structured Problem) ซึ่งมีคำตอบได้หลากหลาย ใช้ความรู้ที่หลากหลายในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงมีแนวทางการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้อย่างหลากหลาย ทั้งนี้ ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถมีลักษณะร่วมระหว่างปัญหาที่มีโครงสร้างกับปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างได้เช่นกันซึ่งพิจารณาได้จากปริมาณเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์

ประเภทของปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นปัญหาทางฟิสิกส์แบบมีโครงสร้าง เนื่องจากพิจารณาว่าเป็นปัญหาทางฟิสิกส์ที่เป็นพื้นฐานในการศึกษาทางฟิสิกส์ โดยมีลักษณะเป็นสถานการณ์ทางฟิสิกส์ที่มีการกำหนดตัวแปรที่ทราบค่าไว้อย่างชัดเจนและต้องการทราบตัวแปรที่ไม่ได้ระบุค่าไว้

#### 1.4 ความหมายของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

นักการศึกษาได้ระบุความหมายของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ดังนี้

Belikov (1989: 18) ระบุว่า การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง การแสวงหาความสัมพันธ์ หรือปริมาณทางกายภาพที่ไม่ทราบค่าต่าง ๆ ของปรากฏการณ์ทางกายภาพ

Hollabaugh (1995) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งพิจารณาว่าการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง กระบวนการที่บุคคลใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาซึ่งประกอบด้วยชุดของขั้นตอนต่าง ๆ ในการหาคำตอบสำหรับปัญหา

Niss (2018: 358) ระบุว่า สมรรถนะการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึงความสามารถในการจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์

อมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558: 9, 20) ระบุว่า ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง ความสามารถในการดำเนินการตามขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยมีการเชื่อมโยงรวมถึงประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์ในการหาปริมาณต่าง ๆ ที่ไม่ทราบค่าจากปัญหาทางฟิสิกส์

จากแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้น พบว่า Belikov (1989) Hollabaugh (1995) Niss (2018) และอมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558) ระบุความหมายของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไว้สอดคล้องกันว่าหมายถึงความสามารถในการจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งเป็นการหาปริมาณที่ไม่ทราบค่าจากปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ Hollabaugh (1995) ขยายความว่าการจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์จะมีการดำเนินการตามขั้นตอนต่าง ๆ นอกจากนี้ อมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558) เพิ่มเติมรายละเอียดว่าจะมีการเชื่อมโยงรวมถึงใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ในการจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์

จากความหมายของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้นจึงสรุปเป็นความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยครั้งนี้ว่า หมายถึง พฤติกรรมของบุคคลในการหาความสัมพันธ์หรือปริมาณทางกายภาพที่ไม่ทราบค่าของปรากฏการณ์ซึ่งเป็นโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

#### 1.5 ขั้นตอนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

นักการศึกษาได้ระบุขั้นตอนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ดังนี้

Belikov (1989: 21) ระบุขั้นตอนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่เป็นปัญหาเชิงสมการ (Formulated Problem) ว่ามี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นการพิจารณาปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Physical Stage)

ขั้นการพิจารณาปัญหาในเชิงฟิสิกส์เริ่มจากการระบุคำศัพท์หรือสมมติฐานของปัญหา ไปสิ้นสุดที่กำหนดขอบเขตของสมการที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ปรากฏในปัญหา ทั้งนี้สมการที่เกี่ยวข้องจะประกอบด้วยปริมาณที่ทราบค่าและปริมาณที่ไม่ทราบค่า ถ้าสามารถกำหนดขอบเขตของสมการที่เกี่ยวข้องข้างต้นได้ แสดงว่าปัญหานี้สามารถแก้ได้ในมุมมองทางฟิสิกส์

2) ขั้นการพิจารณาปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Stage)

ขั้นการพิจารณาปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์เริ่มจากการแก้สมการต่าง ๆ ไปสิ้นสุดที่การได้มาซึ่งคำตอบเชิงตัวเลข ซึ่งแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) การหาคำตอบในรูปแบบทั่วไป (General Form)

2.2) การหาคำตอบเชิงตัวเลข (Numerical Answer)

ทั้งนี้ ปัญหาที่ถูกแก้ไขได้อย่างถูกต้องจะต้องได้ทั้งคำตอบในรูปแบบทั่วไป และคำตอบเชิงตัวเลขที่ถูกต้อง

3) ขั้นการวิเคราะห์คำตอบ (Analysis of Solution Stage)

ขั้นการวิเคราะห์คำตอบเป็นขั้นตอนการพิจารณาความเป็นไปได้ของคำตอบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่อไปนี้

3.1) การวิเคราะห์หน่วยของคำตอบ

3.2) การตรวจสอบว่าปริมาณที่ได้มีความหมายในเชิงฟิสิกส์และสอดคล้องกับค่าของปริมาณที่เป็นไปได้ (เช่น ความเร็วของวัตถุที่คำนวณได้เกินความเร็วแสงในสุญญากาศเป็นคำตอบที่ไม่ถูกต้อง)

3.3) การตรวจสอบความสอดคล้องของคำตอบกับบริบทของปัญหา ถ้าคำตอบที่ได้มีหลากหลาย

Reif (1995) ระบุขั้นตอนสำคัญในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ดังนี้

1) การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis)

การวิเคราะห์ปัญหามีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถดำเนินการแก้ปัญหาตามแนวทางการแก้ปัญหาย่อย ๆ ได้ ทั้งนี้ นักเรียนต้องมีการระบุปัญหาโดยบรรยายสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจใช้แผนภาพหรือสัญลักษณ์ที่จำเป็น และสรุปเป้าหมายของการแก้ปัญหา นอกจากนี้

การระบุปัญหาอาจทำโดยการลำดับเหตุการณ์ต่าง ๆ จากปัญหาตามลำดับของเวลา และบรรยายปัญหาด้วยคำศัพท์ทางฟิสิกส์ที่มีความเฉพาะเจาะจง เช่น ความเร็ว ความเร่ง แรง เป็นต้น

## 2) การหาคำตอบ (Construction of a Solution)

การหาคำตอบอย่างมีประสิทธิภาพทำได้โดยการแบ่งปัญหาเป็นปัญหาย่อย ๆ ซึ่งการดำเนินการแก้ปัญหาก็เกี่ยวข้องกับการดำเนินการซ้ำ ๆ ระหว่างการเลือกชุดของปัญหาย่อย ๆ ที่เหมาะสม และการดำเนินการแก้ปัญหาย่อย ๆ

## 3) การตรวจสอบคำตอบ (Checking Solution)

การตรวจสอบคำตอบดำเนินการเพื่อพิจารณาว่าคำตอบมีความถูกต้องหรือไม่ และเพื่อปรับปรุงคำตอบถ้าหากพบว่าแนวทางการแก้ปัญหามีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งการตรวจสอบคำตอบสามารถพิจารณาจากประเด็นต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.1) การแก้ปัญหาคำตอบที่ได้มาซึ่งเป้าหมายหรือคำตอบที่ต้องการครบถ้วนหรือไม่

3.2) คำตอบมีความชัดเจนหรือไม่ ทั้งในแง่ของหน่วย การระบุคำตอบในรูปของปริมาณที่ทราบค่า ขนาดและทิศทางของปริมาณเวกเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

3.3) การแก้ปัญหามีความคล้อยกันทั้งหมดหรือไม่ ทั้งในแง่ของหน่วยในสมการ เครื่องหมาย หรือทิศทางของปริมาณต่าง ๆ ในสมการที่เกี่ยวข้อง

3.4) คำตอบมีความสอดคล้องกับสารสนเทศอื่น ๆ หรือไม่ ทั้งในแง่ของความสมเหตุสมผลของคำตอบ ความสอดคล้องของคำตอบกับเงื่อนไขต่าง ๆ ความสอดคล้องระหว่างคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาวัยวิธีการปัจจุบันกับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาวัยวิธีการอื่น

3.5) คำตอบและแนวทางการแก้ปัญหามีความชัดเจนหรือไม่ รวมถึงคำตอบอยู่ในรูปทั่วไปทางพีชคณิตหรือไม่

Gok (2010) ได้ศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้ปัญหาวัยฟิสิกส์จาก Reif (1995) และนักการศึกษาท่านอื่น ๆ แล้วสรุปกลยุทธ์การแก้ปัญหาวัยฟิสิกส์ที่มีลักษณะเป็นขั้นตอนในการแก้ปัญหาวัยฟิสิกส์ไว้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

### 1) การระบุหลักการพื้นฐาน (Identifying the Fundamental Principle)

การระบุหลักการพื้นฐานเป็นการระบุปัญหาและทำความเข้าใจปัญหาอย่างชัดเจน โดยที่มีการบอกลักษณะของปัญหาทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ รวมถึงตีความปัญหาด้วย

ความรู้และความเข้าใจของนักเรียน ซึ่งช่วยให้สามารถจำแนกสารสนเทศที่สำคัญออกจากสารสนเทศที่ไม่สำคัญ โดยการระบุหลักการพื้นฐานประกอบการดำเนินการดังนี้

1.1) การทำให้สถานการณ์ปัญหาที่มีความง่ายในการแก้มากขึ้น โดยอาจใช้การวาดแผนภาพแสดงวัตถุทางกายภาพและระบุปริมาณทางกายภาพที่สำคัญ

1.2) การระบุสิ่งที่ต้องการทราบโดยกำหนดเป็นตัวแปรทางคณิตศาสตร์

1.3) การนำเสนอปัญหาด้วยมโนทัศน์ที่เป็นทางการและหลักการที่เกี่ยวข้อง

## 2) การแก้ปัญหา (Solving)

ขั้นตอนการแก้ปัญหาเป็นขั้นตอนที่นักเรียนทำความเข้าใจเชิงคุณภาพเกี่ยวกับปัญหาในการดำเนินการแก้ปัญหาเชิงปริมาณ โดยกลยุทธ์การแก้ปัญหาหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาคือการแบ่งปัญหาเป็นปัญหาย่อย ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับขั้นตอนที่อาจเกิดขึ้น ๆ ดังนี้

2.1) การเลือกปัญหาย่อย ๆ ที่เป็นประโยชน์

2.2) การลงมือแก้ปัญหาย่อย ๆ

## 3) ขั้นตอนการตรวจสอบ (Checking)

ขั้นตอนการตรวจสอบเป็นขั้นตอนที่นักเรียนตรวจสอบคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาเพื่อประเมินว่าคำตอบมีความถูกต้องหรือไม่ รวมถึงเพื่อปรับปรุงคำตอบเมื่อพบว่ามี การดำเนินการแก้ปัญหานั้นผิดพลาด โดยขั้นตอนการตรวจสอบสามารถพิจารณาตามประเด็นดังนี้

3.1) นักเรียนสามารถหาปริมาณที่ต้องการทราบค่าได้ครบถ้วนหรือไม่

3.2) คำตอบที่ได้ถูกนำเสนอในรูปของปริมาณที่ทราบค่าแล้วใช่หรือไม่

3.3) หน่วย รวมถึงเครื่องหมายหรือทิศทางของปริมาณในสมการต่าง ๆ มีความสอดคล้องกันหรือไม่

3.4) คำตอบที่ได้สอดคล้องกับเงื่อนไขของปริมาณนั้น ๆ หรือไม่

3.5) คำตอบและวิธีการแก้ปัญหาที่ใช้มีความชัดเจนและเข้าใจง่ายหรือไม่

3.6) คำตอบที่ได้อยู่ในรูปทั่วไปทางพีชคณิตหรือไม่

จากแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้ปัญหามathematics ข้างต้น พบว่า ขั้นตอนการแก้ปัญหามathematics ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ปัญหามathematics 2) การดำเนินการแก้ปัญหามathematics และ 3) การตรวจสอบผลการแก้ปัญหามathematics ซึ่งสามารถวิเคราะห์ขั้นตอนการแก้ปัญหามathematics ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ขั้นตอน	รายละเอียดขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามแนวคิดนักการศึกษา		
	Belikov (1989)	Reif (1995)	Gok (2010)
1) การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์	–	–	การวาดแผนภาพ แสดงวัตถุทาง กายภาพ
	การทำความเข้าใจปัญหาหรือระบุปัญหาโดยระบุคำศัพท์ หลักการ ขอบเขตของสมการ ลักษณะสำคัญของปัญหา รวมถึงเป้าหมายของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์		
2) การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์	การหาคำตอบในรูปทั่วไป และการหาคำตอบเชิงตัวเลข	–	–
	การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์	ลงมือแก้ปัญหาทางฟิสิกส์	การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์
	– การแบ่งปัญหาย่อย ๆ แล้วดำเนินการแก้ปัญหาย่อย ๆ		
3) การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์	การพิจารณาความถูกต้องและเหมาะสมของคำตอบ เช่น การวิเคราะห์หน่วย การตรวจสอบความเป็นไปได้ของคำตอบ เป็นต้น		

จากตารางที่ 1 จึงสรุปได้ว่า ขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นดังนี้

1) การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์

การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์หมายถึงการทำความเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์โดยระบุคำศัพท์ หลักการ ขอบเขตของสมการ ลักษณะสำคัญของปัญหา รวมถึงเป้าหมายของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

2) การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์หมายถึงการใช้ความรู้ทางฟิสิกส์และความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยมีการแบ่งปัญหาทางฟิสิกส์เป็นปัญหาย่อย ๆ และแก้ปัญหาย่อย ๆ จนสามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้

### 3) การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นการประเมินว่าคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความถูกต้องและสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยพิจารณาได้จากประเด็นต่าง ๆ เช่น ความครบถ้วนและความสอดคล้องของคำตอบกับปัญหา รวมถึงความถูกต้องของหน่วยกับเครื่องหมายของคำตอบ ความสมเหตุสมผลของคำตอบกับเงื่อนไขของคำตอบ เป็นต้น

#### 1.6 แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

นักการศึกษาได้ระบุแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ดังนี้

Nikat et al. (2017: 1241) เสนอรายละเอียดเกี่ยวกับกลยุทธ์ในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งได้ดัดแปลงจากแนวคิดของ Hill (2016) โดยใช้แบบทดสอบแบบอัตนัย 2 ตอน โดยนำหน้าห้องค์ประกอบในการประเมิน และเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นดังตารางที่ 2 ตารางที่ 2 นำหน้าห้องค์ประกอบในการประเมิน และเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (Nikat et al., 2017)

องค์ประกอบ การประเมิน	1 คะแนน	0.5 คะแนน	0.25 คะแนน	0 คะแนน
1. กระบวนการ และผลลัพธ์โดย ภาพรวม (Magnitude, M) น้ำหนัก 10%	ให้คำตอบที่ ถูกต้อง และมี ลำดับการ แก้ปัญหาที่ถูกต้อง	ให้คำตอบถูกต้อง, มี ลำดับการแก้ปัญหาที่ ผิดพลาดในด้านขนาด เครื่องหมาย หรือ ทิศทางของเวกเตอร์	ให้คำตอบผิด, มีลำดับการ แก้ปัญหาที่ ถูกต้องในด้าน ขนาด เครื่องหมาย หรือทิศทาง ของเวกเตอร์	ให้คำตอบผิด, มี ลำดับการ แก้ปัญหา ผิดพลาดในด้าน ขนาด เครื่องหมาย หรือทิศทางของ เวกเตอร์
2. คำตอบ (Answer, A) น้ำหนัก 10%	ระบุคำตอบที่ ถูกต้อง และ วงกลมเลือก คำตอบที่ถูกต้อง	ระบุคำตอบที่ ถูกต้อง		



องค์ประกอบ การประเมิน	1 คะแนน	0.5 คะแนน	0.25 คะแนน	0 คะแนน
3. หน่วย (Units, U) น้ำหนัก 20%	ระบุหน่วยของ คำตอบ และแสดง การวิเคราะห์หา หน่วยของคำตอบ	1) ระบุหน่วยของ คำตอบ หรือ 2) แสดงการวิเคราะห์ หาหน่วยของคำตอบ		
4. ตัวแปร (Variable, V) น้ำหนัก 20%	ให้รายละเอียดตัว แปรที่สอดคล้อง กับปัญหา และ เขียนรายการ ตัวเลขที่เกี่ยวข้อง กับสมการ	1) ให้รายละเอียด ตัวแปรที่สอดคล้องกับ ปัญหา หรือ 2) เขียนรายการแสดง ตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับ สมการ		
5. สมการ (Equation, E) น้ำหนัก 40%	เขียนสมการที่ ถูกต้อง และ สอดคล้องกับ ความสัมพันธ์ของ ตัวแปรที่ต้องการ หาคำตอบ	เขียนสมการได้ถูกต้อง		

ทั้งนี้ Nikat et al. (2017: 1244) ได้ระบุเกณฑ์การประเมินระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนไว้ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** เกณฑ์การประเมินระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับช่วงคะแนนต่าง ๆ (Nikat et al., 2017)

องค์ประกอบในการประเมิน	เกณฑ์ช่วงคะแนน	ระดับ
1. กระบวนการและผลลัพธ์โดยภาพรวม (น้ำหนัก 10%)	7 – 10%	เป็นที่น่าพอใจมาก
	4 – 7%	เป็นที่น่าพอใจ
2. คำตอบ (น้ำหนัก 10%)	0 – 7%	เป็นที่น่าพอใจน้อย
3. หน่วย (น้ำหนัก 20%)	14 – 20%	เป็นที่น่าพอใจมาก
4. ตัวแปร (น้ำหนัก 20%)	7 – 14%	เป็นที่น่าพอใจ
	0 – 7%	เป็นที่น่าพอใจน้อย
5. สมการ (น้ำหนัก 40%)	28 – 40%	เป็นที่น่าพอใจมาก
	14 – 28%	เป็นที่น่าพอใจ

องค์ประกอบในการประเมิน	เกณฑ์ช่วงคะแนน	ระดับ
	0 – 14%	เป็นที่น่าพอใจน้อย

นอกจากแนวคิดของ Nikat et al. (2017) แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่พบในงานวิจัยต่าง ๆ ในประเทศไทยเป็นดังนี้

อมรรัตน์ บุบผโชติ (2558) ใช้แนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของ Belikov (1989) ในการพัฒนาแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในรูปแบบของแบบทดสอบแบบอัตนัย โดยกำหนดปัญหาทางฟิสิกส์ในเนื้อหาความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊สและให้นักเรียนวาดแผนภาพประกอบพร้อมทั้งเขียนระบุคำตอบใน 6 ขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบคำตอบ (1 คะแนน)
- 2) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ (1 คะแนน)
- 3) เขียนสูตร หรือสมการที่เกี่ยวข้อง (2 คะแนน)
- 4) แสดงการแทนค่าในสูตร หรือสมการ (1 คะแนน)
- 5) แสดงการคิดคำนวณหาคำตอบ (4 คะแนน)
- 6) เขียนคำตอบตามที่โจทย์ต้องการ พร้อมทั้งระบุหน่วย (1 คะแนน)

พัฒน์นิดา มิ่งมิตร (2559) พัฒนาแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในรูปแบบของแบบทดสอบแบบอัตนัยโดยอ้างอิงแนวคิดของ Docktor (2009) โดยกำหนดเป็นปัญหาทางฟิสิกส์ในเนื้อหาแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน 6 ระดับ (ตั้งแต่ 0 ถึง 6) ตามประเด็นดังนี้

- 1) การบรรยายปัญหาทางฟิสิกส์ (Useful Description) ประเมินเกี่ยวกับการจัดกระทำข้อมูลจากปัญหา ซึ่งอาจเป็นรูปการกำหนดตัวแปรหรือการวาดแผนภาพเกี่ยวกับปัญหา
- 2) แนวคิดทางฟิสิกส์ (Physics Approach) ประเมินการเลือกมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหา
- 3) การประยุกต์ใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ (Specification Application of Physics) ประเมินการประยุกต์มโนทัศน์ทางฟิสิกส์ในการเลือกแนวทางที่สอดคล้องกับการแก้ปัญหา โดยระบุในลักษณะของสมการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์
- 4) กระบวนการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Procedure) ประเมินขั้นตอนการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับการแก้ปัญหา

5) ความสมเหตุสมผลของการแก้ปัญหา (Logical Progression) ประเมิน  
ความสอดคล้องระหว่างคำตอบของปัญหากับความเหมาะสมกับวิธีแก้ปัญหา

เมื่อทำการศึกษาองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และ  
เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Docktor (2009)  
เพิ่มเติม พบว่า องค์ประกอบและเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตาม  
องค์ประกอบเป็นดังตารางที่ 4



ตารางที่ 4 องค์ประกอบและเกณฑ์การให้คะแนนความสามารภในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Docktor (2009)

องค์ประกอบ	5 คะแนน	4 คะแนน	3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
1. การบรรยายปัญหาทางฟิสิกส์	สิ่งที่ระบุเพื่อบรรยาย ปัญหามีประโยชน์ เหมาะสม และ สมบูรณ์	สิ่งที่ระบุเพื่อบรรยาย ปัญหามีประโยชน์แต่มี ความคลุมเครือ/ความ ผิดพลาดเล็กน้อย	สิ่งที่ระบุเพื่อบรรยาย บางส่วนไม่เป็นประโยชน์ ข้อมูลสูญหาย/มีความ ผิดพลาด	สิ่งที่ระบุเพื่อบรรยาย ปัญหาส่วนมากไม่เป็น ประโยชน์/มี ข้อผิดพลาด	สิ่งที่ระบุเพื่อบรรยาย ปัญหาทั้งหมดไม่เป็น ประโยชน์และพบ ข้อผิดพลาด	ไม่แสดงสิ่งระบุเพื่อ บรรยายปัญหาที่จำเป็นต่อ การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
2. แนวคิดทางฟิสิกส์	แนวคิดทางฟิสิกส์ เหมาะสมและสมบูรณ์	แนวคิดทางฟิสิกส์มี บางส่วนคลุมเครือหรือมี ความผิดพลาดเล็กน้อย	แนวคิดทางฟิสิกส์บางส่วน ขาดหายไป/ไม่เหมาะสม ไม่เหมาะสม	แนวคิดทางฟิสิกส์ ส่วนมากขาดหายไป/ ไม่เหมาะสม	แนวคิดทางฟิสิกส์ ทั้งหมดไม่เหมาะสม ที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์	ไม่แสดงแนวคิดทางฟิสิกส์ ที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์
3. การประยุกต์ใช้ความรู้ทางฟิสิกส์	สมการทางฟิสิกส์ที่ใช้ มีความเหมาะสมและ ครบถ้วน	สมการทางฟิสิกส์ที่ใช้มี ความคลุมเครือหรือความ ผิดพลาดเล็กน้อย	สมการทางฟิสิกส์บางส่วน ขาดหายไป/ไม่เหมาะสม ไม่เหมาะสม	สมการทางฟิสิกส์ ส่วนมากขาดหายไป/ ไม่เหมาะสม	สมการทางฟิสิกส์ ทั้งหมดไม่เหมาะสม ที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์	ไม่แสดงสมการทางฟิสิกส์ที่ จำเป็นต่อการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์
4. กระบวนการทางคณิตศาสตร์	กระบวนการทาง คณิตศาสตร์ที่ใช้มี ความเหมาะสมและ ครบถ้วน	กระบวนการทาง คณิตศาสตร์ที่ใช้มีความ คลุมเครือหรือความ ผิดพลาดเล็กน้อย	กระบวนการทาง คณิตศาสตร์ที่ใช้บางส่วน ขาดหายไป/ไม่เหมาะสม ไม่เหมาะสม	กระบวนการทาง คณิตศาสตร์ที่ใช้ ส่วนมากขาดหายไป/ ไม่เหมาะสม	กระบวนการทาง คณิตศาสตร์ที่ใช้ ทั้งหมดไม่เหมาะสม ที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์	ไม่แสดงกระบวนการทาง คณิตศาสตร์ที่จำเป็นต่อ การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
5. ความสมเหตุสมผลของการแก้ปัญหา	วิธีการแก้ปัญหาทาง ฟิสิกส์ภาพรวมทั้งหมด มีความชัดเจน ตรง ประเด็น และเชื่อมโยง อย่างมีเหตุผล	วิธีการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ภาพรวมทั้งหมดมีความ ชัดเจน และตรงประเด็น โดยมีความไม่สอดคล้อง กันเล็กน้อย	วิธีการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ภาพรวมทั้งหมดบางส่วนไม่ ชัดเจน ไม่ตรงประเด็น/ไม่ สอดคล้องกัน	วิธีการแก้ปัญหาทาง ฟิสิกส์ภาพรวมทั้งหมด ส่วนมากไม่ชัดเจน ไม่ ตรงประเด็น/ ไม่สอดคล้องกัน	วิธีการแก้ปัญหาทาง ฟิสิกส์ภาพรวมทั้งหมด ไม่ชัดเจน ไม่ตรง ประเด็น/ ไม่สอดคล้องกัน	ไม่ระบุวิธีการแก้ปัญหาทาง ฟิสิกส์ที่จำเป็นต่อ การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

จากแนวคิดเกี่ยวกับแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ข้างต้น พบว่า Nikat et al. (2017) รวมถึงอมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558) และพัฒนิดา มิ่งมิตร (2559) ใช้แบบทดสอบแบบอัตนัยในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งมีทั้งการประเมิน ส่วนกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น การระบุสิ่งที่ต้องการทราบ การแสดงแทนค่าในสมการ เป็นต้น รวมถึงมีการประเมินส่วนผลลัพธ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น การระบุคำตอบพร้อมหน่วย ทั้งนี้ นักการศึกษาข้างต้นได้ระบุองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ไว้สอดคล้องกันแต่มีการกำหนดคะแนนในการประเมินที่แตกต่างกันไป

จากแนวคิดเกี่ยวกับแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ข้างต้น จึงดัดแปลงองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จากแนวคิด ของ Nikat et al. (2017) เนื่องจากแนวคิดข้างต้นมีความชัดเจนในการวิเคราะห์คะแนนแยกตาม องค์ประกอบ รวมถึงมีการพิจารณาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งในด้านกระบวนการ และผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งองค์ประกอบการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์ในการวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

- 1) การระบุตัวแปร หมายถึง การวิเคราะห์และบ่งชี้ตัวแปรที่ต้องการทราบค่าและตัวแปรที่ทราบค่าแล้วจากปัญหาทางฟิสิกส์ที่กำหนด
- 2) การระบุสมการ หมายถึง การวิเคราะห์และบ่งชี้สมการที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม หมายถึง ขั้นตอนและวิธีการที่นักเรียนใช้ในระหว่างแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 4) การระบุขนาดของคำตอบ หมายถึง การสรุปตัวเลขที่บ่งบอกถึงตัวแปรที่ต้องการทราบค่าภายหลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 5) การระบุหน่วยของคำตอบ หมายถึง การสรุปหน่วยของตัวแปรที่ต้องการทราบค่า ภายหลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ทั้งนี้ การวิจัยครั้งนี้ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยใช้ แบบทดสอบอัตนัยเนื่องจากสามารถให้ข้อมูลตามองค์ประกอบในการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้อย่างครอบคลุม และดัดแปลงเกณฑ์การให้คะแนนและเกณฑ์การประเมิน ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จากแนวคิดของ Nikat et al. (2017) เนื่องจากแนวคิด

ข้างต้นมีความชัดเจนในรายละเอียดการให้คะแนนรวมถึงมีการระบุเกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ชัดเจนทั้งภาพรวมและรายองค์ประกอบ

## 2. การรู้คิด

นักการศึกษาได้ใช้คำว่า การรู้คิด อภิปัญญา รวมถึงการตระหนักรู้การรู้คิด ในภาษาไทย ในการแทนคำว่า Metacognition ในภาษาอังกฤษ เอกสารเกี่ยวกับการรู้คิดในที่นี้จะใช้คำว่า การรู้คิด เป็นหลักแทนคำที่กล่าวมาข้างต้น และนำเสนอตามประเด็นต่อไปนี้

### 2.1 ความสำคัญของการรู้คิด

การรู้คิดมีความสำคัญต่อบุคคลทุกช่วงวัย (Martinez, 2006) เนื่องจากการรู้คิดทำให้บุคคลสามารถกำกับและตรวจสอบกระบวนการคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ambrose & Lovett, 2014; Schraw & Graham, 1997) ทำให้บุคคลคิดย้อนกลับไปที่การกระทำของตนเองซึ่งช่วยให้สะท้อนความคิดในระดับต่าง ๆ ในการเปิดมุมมองและการเรียนรู้ใหม่ รวมถึงการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Grotzer & Mittlefehldt, 2012) นอกจากนี้ เมื่อนักเรียนมีการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น นักเรียนต้องมีความรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตนเองมากขึ้น ซึ่งนักเรียนจำเป็นต้องระบุสิ่งที่จำเป็นในการเรียนรู้ ใช้วิธีการต่าง ๆ ในการเรียนรู้อย่างอิสระ และกำกับรวมถึงเปลี่ยนแปลงวิธีการนั้น ๆ ตลอดระยะเวลาการเรียนรู้ (Ambrose & Lovett, 2014) และนอกจากนี้ การปฏิบัติงานทางความคิดที่ประสบความสำเร็จนอกจากต้องอาศัยความรู้ที่เพียงพอ บุคคลต้องอาศัยความตระหนักและการควบคุมความรู้นั้น ๆ อย่างเพียงพอเช่นกัน (Garofalo & Lester Jr, 1985) จึงกล่าวได้ว่าการรู้คิดมีความสำคัญ

เมื่อพิจารณาความสำคัญของการรู้คิดที่มีต่อการศึกษาวิทยาศาสตร์ พบว่า การให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์อย่างประสบความสำเร็จจำเป็นต้องอาศัยการพัฒนาความสามารถในการรู้คิด เช่น ความสามารถในการใช้แบบจำลองทางความคิด และตรวจสอบความเข้าใจ (White et al., 2009) และที่สำคัญ การเตรียมความพร้อมให้นักเรียนอาศัยอยู่ในโลกที่มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์มีความซับซ้อนนั้นจะต้องใช้การสนับสนุนให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่างรู้คิด (Grotzer & Mittlefehldt, 2012)

จากความสำคัญของการรู้คิดทั้งในด้านการศึกษาและการศึกษาวิทยาศาสตร์ จึงกล่าวได้ว่าการพัฒนาให้นักเรียนมีการรู้คิดเป็นเป้าหมายสำคัญของการศึกษา (Thomas, 2003) และเป็นเป้าหมายหนึ่งในการเริ่มต้นเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 (Ozturk, 2017) หลักสูตรต่าง ๆ จึงควรส่งเสริมให้นักเรียนมีการพัฒนาทักษะการรู้คิด (National Research Council, 2000) ซึ่งรวมถึงการส่งเสริมให้

นักเรียนมีการรู้คิดในระหว่างการเรียนรู้การสอนรายวิชาฟิสิกส์ (Lukie, 2015; Pimvichai, Yuenyong, Thomas, & Art-in, 2015)

## 2.2 ความหมายของการรู้คิด

นักการศึกษาและองค์กรทางการศึกษาได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับความหมายของการรู้คิดไว้ อย่างหลากหลาย โดยสามารถจัดกลุ่มความหมายของการรู้คิดได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ความหมายของการรู้คิดในแง่มุมมองความสามารถเกี่ยวกับการคิด โดยนักการศึกษา ท่านต่าง ๆ ได้ระบุความหมายของการรู้คิดในแง่มุมมองความสามารถเกี่ยวกับการคิด ไว้ดังนี้

1) Flavell (1985: 104 อ้างถึงใน Taasobshirazi & Farley, 2013b: 453 – 454 ) ระบุว่า การรู้คิดเป็นกิจกรรมทางความคิดที่ควบคุมกิจกรรมทางความคิดต่าง ๆ

2) Schraw & Dennison (1994: 460) ระบุว่า การรู้คิด หมายถึง ความสามารถ ของบุคคลในการสะท้อน เข้าใจ และกำกับการเรียนรู้ของตนเอง

3) National Research Council (2000: 12 - 97) ระบุว่า การรู้คิด หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการทำนายความสามารถของตนเองในการปฏิบัติภาระงานที่หลากหลาย (เช่น ความสามารถในการจดจำสิ่งเร้าต่าง ๆ) รวมถึงความสามารถในการตรวจสอบระดับ ความชำนาญและความเข้าใจของตนเองที่มีอยู่และความสามารถในการประเมินว่าความเข้าใจของ ตนเองนั้นเพียงพอหรือไม่ นอกจากนี้การรู้คิดหมายความถึงความสามารถในการสะท้อน การปฏิบัติงานของบุคคลหนึ่ง ๆ

จากความหมายของการรู้คิดในแง่มุมมองความสามารถเกี่ยวกับการคิดข้างต้นสามารถ สรุปความหมายของการรู้คิดได้ว่า การรู้คิด หมายถึง ความสามารถในการคิด วางแผน กำกับ ตรวจสอบ ประเมิน และสะท้อนเกี่ยวกับการเรียนรู้ กระบวนการคิด การปฏิบัติงาน และ ความสามารถของตนเอง

กลุ่มที่ 2 ความหมายของการรู้คิดในแง่มุมมองความรู้ หรือความสามารถเกี่ยวกับการคิด เพื่อให้ เกิดผลลัพธ์ที่พึงประสงค์ โดยนักการศึกษาได้ขยายความจากความหมายของการรู้คิดในกลุ่มที่ 1 ทั้งนี้ นักการศึกษาได้ระบุความหมายของการรู้คิดในแง่มุมมองความรู้ หรือความสามารถเกี่ยวกับการคิด เพื่อให้ เกิดผลลัพธ์ที่พึงประสงค์ ไว้ดังนี้

1) Jordan & Porath (2006: 124) ระบุว่า การรู้คิด หมายถึง การตระหนักถึงสิ่งที่บุคคลรู้ และการตระหนักถึงวิธีการที่บุคคลคิดว่าจะนำไปสู่การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดี

2) Ormrod, Anderman, & Anderman (2006: 46) ระบุว่า การรู้คิด หมายถึง ความรู้และความเชื่อของบุคคลเกี่ยวกับกระบวนการทางความคิด รวมถึงความพยายามของบุคคลในการจัดการกับกระบวนการทางปัญญานั้น ๆ เพื่อให้สามารถเกิดการเรียนรู้และการจดจำได้ดีที่สุด

3) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2555: 120) ระบุว่า อภิปัญญา (การรู้คิด) หมายถึง ความสามารถของบุคคลเกี่ยวกับกระบวนการคิด ซึ่งได้แก่การตระหนักถึงสิ่งที่เหมาะสมกับตนเองในการเรียนรู้ รวมถึงการเลือกกลยุทธ์เกี่ยวกับการวางแผน ตรวจสอบ และประเมินเกี่ยวกับการเรียนรู้ของตนเองรวมถึงการปฏิบัติงานของตนเอง เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ อย่างมีประสิทธิภาพ

จากความหมายของการรู้คิดทั้ง 2 กลุ่มข้างต้น ทำให้สามารถสรุปความหมายของการรู้คิดได้ ว่า การรู้คิด หมายถึง ความรู้และความสามารถของบุคคลในการคิด วางแผน กำกับ ตรวจสอบ รวมถึงประเมินเกี่ยวกับความสามารถของตนเอง รวมถึงการเรียนรู้ กระบวนการคิด หรือ การปฏิบัติงาน เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ หรือการปฏิบัติงานต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ศึกษาการรู้คิดในบริบทการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ จึงกำหนดความหมายของการรู้คิดในการวิจัยครั้งนี้ว่า หมายถึง ความรู้และความสามารถของบุคคลในการคิด การวางแผน การกำกับ การตรวจสอบ รวมถึงการประเมินเกี่ยวกับความสามารถของตนเองและกระบวนการคิดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อให้เกิดการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.3 องค์ประกอบของการรู้คิด

นักการศึกษาและองค์กรทางการศึกษาได้กำหนดองค์ประกอบของการรู้คิดไว้ดังนี้

Flavell (1979: 906) ระบุว่า การตรวจสอบความคิด หรือการรู้คิด เกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่อไปนี้

1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (Metacognitive Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับโลกของบุคคลหนึ่ง ๆ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับบุคคลต่าง ๆ รวมถึงเป้าหมาย ภารกิจ การปฏิบัติ และประสบการณ์ทางปัญญาที่หลากหลาย



2) ประสบการณ์การรู้คิด (Metacognitive Experience) หมายถึง ประสบการณ์ที่บุคคลรับรู้ได้ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับปัญหา

3) เป้าหมาย หรือภารกิจ (Goals or Tasks) หมายถึง วัตถุประสงค์ของกิจกรรมทางปัญญาด่าง ๆ

4) การปฏิบัติ หรือกลยุทธ์ (Actions or Strategies) หมายถึง ความคิดหรือพฤติกรรมที่บุคคลหนึ่ง ๆ ใช้ในการบรรลุเป้าหมายหรือภารกิจต่าง ๆ

Schraw & Dennison (1994: 474) ได้ศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดจากนักการศึกษาต่าง ๆ ซึ่งรวมถึง Flavell (1979) แล้วพิจารณาองค์ประกอบของการรู้คิดเป็น 2 องค์ประกอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Knowledge of Cognition) เป็นความรู้ที่สะท้อนถึงการรู้คิด ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบย่อย ได้แก่

1.1) ความรู้เชิงประกาศ (Declarative Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับทักษะ แหล่งเรียนรู้ และความสามารถของบุคคลหนึ่ง ๆ ในฐานะที่เป็นผู้เรียน

1.2) ความรู้เชิงกระบวนการ (Procedural Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับวิธีการ (How) ในการใช้กระบวนการเรียนรู้ต่าง ๆ

1.3) ความรู้เชิงเงื่อนไข (Conditional Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์และเงื่อนไข (When and Why) ในการใช้งานกระบวนการเรียนรู้ต่าง ๆ

2) การกำกับความคิด (Regulation of Cognition) เป็นกระบวนการที่สนับสนุนให้เกิดการควบคุมการเรียนรู้ซึ่งประกอบด้วย 5 องค์ประกอบย่อย ได้แก่

2.1) การวางแผน (Planning) เป็นการกำหนดแผนงาน ตั้งเป้าหมาย และรวบรวมแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ก่อนเรียนรู้

2.2) การจัดการสารสนเทศ (Information Management) เป็นลำดับของทักษะหรือกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่ใช้ระหว่างการปฏิบัติงานในการประมวลสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การจัดระบบ การขยายความของข้อมูล การสรุปย่อ การเลือกจุดเน้น เป็นต้น

2.3) การกำกับควบคุม (Monitoring) เป็นการประเมินการใช้งานกลยุทธ์ต่าง ๆ

2.4) การแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging) เป็นกลยุทธ์ที่ใช้ในการแก้ไขความเข้าใจรวมถึงการปฏิบัติงานที่ผิดพลาดให้ถูกต้อง

2.5) การประเมินผล (Evaluation) เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานหรือกลยุทธ์ต่าง ๆ หลังการเรียนรู้

Taasobshirazi & Farley (2013b: 453 - 454) และ Taasobshirazi et al. (2015) ได้ศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดจากนักการศึกษาต่าง ๆ ซึ่งรวมถึง Flavell (1979) และ Schraw & Dennison (1994) จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของการรู้คิดในบริบทของฟิสิกส์โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจในปี 2013 และใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในปี 2015 ซึ่งพบว่า การรู้คิดทางฟิสิกส์มีองค์ประกอบดังนี้

1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Knowledge of Cognition) เป็นสิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับความคิดซึ่งประกอบด้วยความรู้ที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ซึ่งได้แก่

1.1) ความรู้เชิงประกาศ (Declarative Knowledge) เป็นความรู้ของบุคคลเกี่ยวกับตนเองในฐานะผู้เรียนรู้หรือผู้แก้ปัญหา

1.2) ความรู้เชิงกระบวนการ (Procedural Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับวิธีการในการทำภารกิจหรือกิจกรรมหนึ่ง ๆ

1.3) ความรู้เชิงเงื่อนไข (Conditional Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์และเงื่อนไขเวลาที่เหมาะสมในการใช้ความรู้เชิงประกาศและความรู้เชิงกระบวนการหนึ่ง ๆ

2) การกำกับความคิด (Regulation of Cognition) เป็นการลงมือปฏิบัติที่ช่วยกำกับหรือควบคุมการเรียนรู้และการแก้ปัญหา ซึ่งมีองค์ประกอบย่อย 5 องค์ประกอบ ได้แก่

2.1) การวางแผน (Planning) เป็นการตั้งเป้าหมายและออกแบบวิธีการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายก่อนทำภาระงานหนึ่ง ๆ

2.2) การจัดการสารสนเทศ (Information Management) เป็นกลยุทธ์ที่เฉพาะที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3) การกำกับควบคุม (Monitoring) เป็นการประเมินอย่างสม่ำเสมอเกี่ยวกับเป้าหมาย งาน และการปฏิบัติงานของบุคคลหนึ่ง ๆ

2.4) การแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging) เป็นกลยุทธ์ที่ใช้แก้ไขการเรียนรู้ และการแก้ไขปัญหาให้ถูกต้อง

2.5) การประเมินผล (Evaluation) เป็นการตัดสินภาระงานของบุคคล หนึ่ง ๆ ภายหลังจากการทำภาระงานเสร็จสิ้นแล้ว

จากแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดข้างต้น พบว่า จากแนวคิดเริ่มต้นเกี่ยวกับ องค์ประกอบของการรู้คิดของ Flavell (1979) นั้น Taasobshirazi & Farley (2013b: 453 - 454) และ Taasobshirazi et al. (2015) ได้ระบุองค์ประกอบของการรู้คิดในภาพรวมไว้สอดคล้องกับ Schraw & Dennison (1994) ซึ่งพิจารณาว่าการรู้คิดประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับการคิด และการ กำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ Schraw & Dennison (1994) พิจารณาการรู้คิดในบริบทของ การเรียนรู้ ในขณะที่ Taasobshirazi & Farley (2013b: 453 - 454) และ Taasobshirazi et al. (2015) จะมีการพิจารณาการรู้คิดในบริบทของการแก้ปัญหาเพิ่มเติมจากแนวคิดของ Schraw & Dennison (1994)

จากแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดที่นักการศึกษาและองค์กรทางการศึกษาได้ระบุ ไว้ข้างต้น สามารถจัดกลุ่มองค์ประกอบของการรู้คิดได้เป็น 2 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับ การคิด และการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความหมายของความรู้เกี่ยวกับการคิด และ การกำกับควบคุมการคิด ที่ปรากฏในแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดแนวคิดต่าง ๆ ได้ ดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ความหมายของความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด ที่ปรากฏในแนวคิด เกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดแนวคิดต่าง ๆ

นักการศึกษา	ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Knowledge of Cognition)	การกำกับควบคุมการคิด (Regulation of Cognition)
1) Flavell (1979)	ความรู้เกี่ยวกับบุคคล/ เป้าหมาย/ภารกิจ/การปฏิบัติ/ ประสบการณ์ทางปัญญา	วัตถุประสงค์ของงาน รวมถึง ความคิด/พฤติกรรมที่ใช้บรรลุ เป้าหมาย
2) Schraw & Dennison (1994)	ความรู้ที่สะท้อนถึงการรู้คิด	กระบวนการที่สนับสนุนการควบคุม การเรียนรู้
3) Taasobshirazi & Farley (2013b) และ	สิ่งที่รู้เกี่ยวกับความคิด	การลงมือปฏิบัติที่ช่วยกำกับ/ควบคุม การเรียนรู้และการแก้ปัญหา

นักการศึกษา	ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Knowledge of Cognition)	การกำกับควบคุมการคิด (Regulation of Cognition)
-------------	--	---

Taasoobshirazi et  
al. (2015)

จากตารางที่ 5 ทำให้สรุปได้ว่า การรู้คิดมี 2 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Knowledge of Cognition) เป็นความรู้เกี่ยวกับกระบวนการคิดของบุคคลหนึ่ง ๆ ในการเรียนรู้หรือการปฏิบัติงาน และ 2) การกำกับควบคุมการคิด (Regulation of Cognition) เป็นกระบวนการในการตรวจสอบรวมถึงการกำกับและควบคุมการเรียนรู้ การแก้ปัญหา หรือการปฏิบัติงานต่าง ๆ

เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด สามารถวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



ตารางที่ 6 รายละเอียดขององค์ประกอบของความรู้เกี่ยวกับการคิด ในแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของความรู้คิดแนวคิดต่าง ๆ

นักการศึกษา	องค์ประกอบของความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (Metacognitive Knowledge)		
	ความรู้เชิงประกาศ (Declarative Knowledge)	ความรู้เชิงกระบวนการ (Procedural Knowledge)	ความรู้เชิงเงื่อนไข (Conditional Knowledge)
1) Flavell (1979)		ความรู้เกี่ยวกับเป้าหมาย ภารกิจ การปฏิบัติ และประสบการณ์ทางปัญญา	
2) Schraw & Dennison (1994)	ความรู้เกี่ยวกับทักษะ/แหล่งเรียนรู้/ความสามารถ	ความรู้เกี่ยวกับวิธีการใช้กระบวนการ	ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์และเงื่อนไขการใช้กระบวนการ
3) Taasobshirazi & Farley (2013b) และ Taasobshirazi et al. (2015)	ความรู้เกี่ยวกับตนเองในฐานะผู้เรียน/ผู้แก้ปัญหา	ความรู้เกี่ยวกับวิธีการทำภารกิจ	ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์และเงื่อนไขในการใช้ความรู้

**ตารางที่ 7** รายละเอียดขององค์ประกอบของการกำกับควบคุมการคิด ในแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของการรู้คิดแนวคิดต่าง ๆ

นักการศึกษา	องค์ประกอบของการกำกับควบคุมการคิด (Regulation of Cognition)				
	การวางแผน (Planning)	การกำกับควบคุม (Monitoring)	การประเมินผล (Evaluation)	การแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging)	การจัดการสารสนเทศ (Information Management)
1) Flavell (1979)	เป้าหมาย	การปฏิบัติ	-	-	-
2) Schraw & Dennison (1994)	การกำหนดแผนงาน/ ตั้งเป้าหมาย/ รวบรวม แหล่งข้อมูล	การประเมิน การใช้งานกลยุทธ์	การวิเคราะห์ ประสิทธิภาพ การปฏิบัติงาน/ กลยุทธ์หลัง การเรียนรู้	กลยุทธ์ที่ใช้แก้ไข ความเข้าใจ/ การปฏิบัติงาน	ลำดับทักษะ/กลยุทธ์ที่ใช้ระหว่าง ปฏิบัติงานในการประมวล สารสนเทศ
3) Taasobshirazi & Farley (2013b) และ Taasobshirazi et al. (2015)	การตั้งเป้าหมาย และออกแบบ วิธีการ	การประเมินเป้าหมาย และการปฏิบัติ อย่างสม่ำเสมอ	การตัดสินใจ การตัดสินใจ การตัดสินใจ การตัดสินใจ	กลยุทธ์ที่ใช้แก้ไข การเรียนรู้/แก้ไข ปัญหาให้ถูกต้อง	กลยุทธ์เฉพาะที่ใช้แก้ปัญหาอย่างมี ประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 6 และ 7 ทำให้สามารถสรุปองค์ประกอบ และรายละเอียดขององค์ประกอบของการรู้คิด ได้ดังนี้

1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Knowledge of Cognition) เป็นความรู้เกี่ยวกับกระบวนการคิดของบุคคลหนึ่ง ๆ ในการเรียนรู้หรือการปฏิบัติงาน ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่

1.1) ความรู้เชิงประกาศ (Declarative Knowledge) เป็นความรู้ของบุคคลเกี่ยวกับลักษณะของภาระงาน และความรู้เกี่ยวกับความสามารถของตนเองในการทำภาระงาน

1.2) ความรู้เชิงกระบวนการ (Procedural Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับวิธีการ (How) ในการใช้งานกลยุทธ์หรือกระบวนการต่าง ๆ ในการทำภาระงาน

1.3) ความรู้เชิงเงื่อนไข (Conditional Knowledge) เป็นความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขของเวลาและสถานการณ์ (When and Why) ในการใช้กลยุทธ์รวมถึงกระบวนการต่าง ๆ ในการทำภาระงาน

2) การกำกับควบคุมการคิด (Regulation of Cognition) เป็นกระบวนการในการตรวจสอบ รวมถึงการกำกับและควบคุมการเรียนรู้ การแก้ปัญหา หรือการปฏิบัติงานต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่

2.1) การวางแผน (Planning) เป็นการกำหนดเป้าหมายและวิธีการในการทำภาระงานหนึ่ง ๆ

2.2) การจัดการสารสนเทศ (Information Management) เป็นกลยุทธ์หรือกระบวนการเฉพาะที่ใช้จัดการกับสารสนเทศต่าง ๆ

2.3) การกำกับควบคุม (Monitoring) เป็นการประเมินเป้าหมายและการปฏิบัติงานในขณะที่กำลังปฏิบัติงานอย่างสม่ำเสมอ

2.4) การแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging) เป็นการใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ในการจัดการกับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้ถูกต้อง

2.5) การประเมินผล (Evaluation) เป็นตัดสินผลการปฏิบัติงานภายหลังการปฏิบัติงาน

องค์ประกอบของการรู้คิดที่ใช้ในการวิจัยนี้มีการดัดแปลงจากแนวคิดของ Taasobshirazi & Farley (2013b) และ Taasobshirazi et al. (2015) เนื่องจากเป็นแนวคิดที่มีความชัดเจนในรายละเอียดขององค์ประกอบและองค์ประกอบย่อย นอกจากนี้รายละเอียดมีความสอดคล้องกับบริบทของการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการรู้คิดในบริบทของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

## 2.4 แนวทางการวัดและประเมินการรู้คิด

### 2.4.1 วิธีการในการวัดและประเมินการรู้คิด

จากการศึกษาแนวทางการวัดและประเมินการรู้คิดจากนักการศึกษาท่านต่าง ๆ พบว่าแนวทางการวัดและประเมินการรู้คิดสามารถทำได้หลากหลาย ซึ่ง Veenman (2012: 23 - 28) พบว่าแนวทางการวัดและประเมินความรู้เกี่ยวกับการคิด หรือความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (Knowledge of Cognition หรือ Metacognitive Knowledge) และการกำกับควบคุมการคิด หรือทักษะการรู้คิด (Regulation of Cognition หรือ Metacognitive Knowledge) มี 2 แนวทางได้แก่

1) การวัดและประเมินระหว่างการปฏิบัติงาน หรือการประเมินแบบออนไลน์ (On-line Assessment) เป็นการวัดและประเมินการรู้คิดระหว่างที่มีการปฏิบัติงานจริงโดยใช้การสังเกต การคิดออกเสียง เป็นต้น

2) การวัดและประเมินก่อนหรือหลังการปฏิบัติงาน หรือการประเมินแบบออฟไลน์ (Off-line Assessment) เป็นการวัดและประเมินที่ใช้มีการใช้แบบวัดหรือการสัมภาษณ์โดยผู้ได้รับการประเมินไม่มีการปฏิบัติงานจริงในขณะเก็บรวบรวมข้อมูล

จากแนวทางการวัดและประเมินประเมินการรู้คิดข้างต้น เมื่อทำการศึกษาวิธีการต่าง ๆ ในการวัดและประเมินการรู้คิด พบว่าวิธีการวัดและประเมินการรู้คิดสามารถทำได้หลากหลาย โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2555) ได้ระบุรายละเอียดของวิธีการต่าง ๆ ในการประเมินการรู้คิดไว้ดังนี้

1) การสัมภาษณ์ (Interviewing Technique) ซึ่งจำแนกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง และการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง ทั้งนี้ การประเมินการรู้คิดโดยการสัมภาษณ์จะมีการถามให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นในสิ่งที่ได้กระทำภายหลังทำภาระกิจโดยไม่ทิ้งช่วงเวลาในการสัมภาษณ์นานเกินไปเนื่องจากนักเรียนอาจจดจำข้อมูลผิดพลาดหรือน้อยกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้การประเมินการรู้คิดโดยการสัมภาษณ์อาจทำให้เกิดปัญหาด้านการใช้ภาษาหรือการสื่อสารเพื่อให้ผู้ฟังเข้าใจการรู้คิดของนักเรียน

2) การคิดแบบออกเสียง (Think Aloud Procedure) เป็นการให้ภาระงานแก่นักเรียน จากนั้นครูให้นักเรียนคิดแบบออกเสียงหรือพูดแสดงสิ่งที่นักเรียนได้คิดขณะทำภาระงาน โดยครูต้องมีการจดบันทึกพฤติกรรมทางกายของนักเรียนที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำภาระงาน สิ่งที่ครูควรระวังคือครูต้องไม่ก่อให้เกิดการรบกวนนักเรียนขณะคิด นอกจากนี้ควรฝึกให้นักเรียนสามารถคิดออกเสียงได้อย่างชำนาญและสามารถทำได้เองก่อนที่ครูต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจริง นอกจากนี้ ครูควร



ตระหนักว่าการให้นักเรียนสื่อสารขณะคิดอาจรบกวนการคิดของนักเรียนได้ซึ่งทำให้กระบวนการในการคิดที่นักเรียนสื่อสารอาจด้อยประสิทธิภาพกว่ากระบวนการคิดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

3) การใช้แบบรายงานตนเอง (Self-Report) เป็นการให้นักเรียนตอบคำถามตามความคิดเห็นของตนเองซึ่งใช้ระหว่างการทำภาระงานหรือภายหลังการทำภาระงาน ทั้งนี้แบบรายงานตนเองที่สร้างขึ้นต้องครอบคลุมองค์ประกอบของการรู้คิดที่ครูต้องการทราบ ครูควรใช้ข้อคำถามหรือข้อความทั้งทางบวกและทางลบในการสร้างแบบรายงานตนเอง นอกจากนี้ ครูอาจให้กำหนดระดับความถี่ของการปฏิบัติงานเป็น 4 ระดับ ซึ่งได้แก่ ทุกครั้ง/เกือบทุกครั้ง บ่อยครั้ง บางครั้ง และไม่เคย/นาน ๆ ครั้ง เพื่อให้นักเรียนเลือกตอบ ทั้งนี้ระดับความถี่อาจขึ้นกับความเหมาะสมในบริบทการใช้งาน

4) การใช้แบบทดสอบ (Test) เป็นการให้นักเรียนทำแบบทดสอบซึ่งทำให้ทราบว่านักเรียนแต่ละคนมีการรู้คิดเป็นอย่างไร โดยให้นักเรียนแสดงการกำกับความคิดของตนเองระหว่างการหาคำตอบจากปัญหาหรือสถานการณ์ผ่านการเขียนสอบ ทั้งนี้ครูอาจใช้เลือกข้อคำถามจากแบบทดสอบที่วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ไม่ยากเกินไป จากนั้นทำการเพิ่มเติมข้อคำถามสำหรับวัดการรู้คิดในแบบทดสอบนั้น หรือครูอาจสร้างแบบทดสอบที่วัดการรู้คิดโดยเฉพาะขึ้นมา แบบทดสอบแบบเขียนตอบที่สามารถใช้ในการวัดการรู้คิดมีองค์ประกอบสำคัญ 3 องค์ประกอบ ได้แก่

4.1) สถานการณ์และคำถาม ซึ่งต้องมีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่นักเรียนได้เรียน และควรมีความน่าดึงดูดรวมถึงสามารถกระตุ้นนักเรียนให้แสดงพฤติกรรมบ่งชี้การรู้คิด ทั้งนี้สถานการณ์ต้องไม่ลำเอียงเกี่ยวกับภูมิหลังของนักเรียน

4.2) แนวคำตอบ เป็นหลักคิดหรือแนวทางของคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งครูต้องกำหนดแนวคำตอบที่ชัดเจน

4.3) เกณฑ์การให้คะแนน เป็นเกณฑ์ที่ครูกำหนดขึ้นเพื่อให้คะแนน ซึ่งพิจารณาคำตอบในแง่ของความครบถ้วน ความถูกต้อง รวมถึงความสมบูรณ์

การใช้แบบทดสอบในการวัดและประเมินการรู้คิดจะให้นักเรียนแสดงกระบวนการคิดของตนเองในแบบทดสอบ ถ้านักเรียนต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงกระบวนการคิดหรือคำตอบของตนเอง ครูต้องให้นักเรียนขีดเส้นทับกระบวนการคิดหรือคำตอบเดิมโดยไม่ต้องลบทิ้งเพื่อให้ครูพิจารณาร่องรอยของวิธีการคิดของนักเรียน

จากแนวทางและวิธีการวัดและประเมินการรู้คิดจะพบว่า แนวทางการวัดและประเมินการรู้คิดแบ่งเป็น 2 แนวทาง ได้แก่ การวัดและประเมินการรู้คิดขณะปฏิบัติงาน (On-Line Assessment) โดยใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น การสังเกต การคิดออกเสียง และการวัดและประเมินการรู้คิด

ก่อนหรือหลังปฏิบัติงาน (Off-Line Assessment) โดยใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้แบบสอบถาม การสัมภาษณ์

## 2.4.2 ตัวอย่างเครื่องมือในการวัดและประเมินการรู้คิด

นักการศึกษาได้ทำการสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินการรู้คิดไว้ดังนี้

Schraw & Dennison (1994: 473 - 474) ได้พัฒนาแบบวัดการตระหนักรู้การรู้คิด (Metacognitive Awareness Inventory, MAI) ในการวัดการรู้คิด โดยพิจารณาว่าการรู้คิดหมายถึงความสามารถของบุคคลในการสะท้อน เข้าใจ และกำกับการเรียนรู้ของตนเอง และพิจารณาองค์ประกอบของการรู้คิดเป็น 2 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (ประกอบด้วย ความรู้เชิงประกาศ ความรู้เชิงกระบวนการ ความรู้เชิงเงื่อนไข) และ 2) การกำกับการควบคุมการคิด (ประกอบด้วย การวางแผน การจัดการสารสนเทศ การกำกับการควบคุม การแก้ไขข้อผิดพลาด และการประเมินผล) ทั้งนี้ แบบวัดการตระหนักรู้การรู้คิดเป็นแบบวัดแบบมาตราส่วนค่า 5 ระดับ โดยตัวอย่างข้อคำถามที่ใช้เป็นดังตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** ตัวอย่างข้อคำถามที่ใช้เป็นดังตารางที่ 8 (Schraw & Dennison, 1994: 473 - 474)

องค์ประกอบย่อย	ลำดับ	ข้อคำถาม
1. ความรู้เชิงประกาศ (Declarative Knowledge)	1.1	ฉันเข้าใจข้อดีและข้อจำกัดทางปัญญาของตนเอง
	1.2	ฉันรู้ว่า ข้อมูลในลักษณะใดที่มีความสำคัญกับการเรียนรู้มากที่สุด
	1.3	ฉันเก่งในการจัดการกับสารสนเทศต่าง ๆ
	1.4	ฉันรู้ว่า ครูคาดหวังให้ฉันเรียนรู้อะไร
2. ความรู้เชิงกระบวนการ (Procedural Knowledge)	2.1	ฉันพยายามใช้กลยุทธ์ที่เคยใช้ได้ผลในอดีต
	2.2	ฉันมีวัตถุประสงค์ที่เจาะจงสำหรับกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่ใช้
	2.3	ฉันรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์ที่ฉันใช้ในการศึกษา
	2.4	ฉันพบว่าฉันมีการใช้กลยุทธ์การเรียนรู้ที่มีประโยชน์อย่างอัตโนมัติ
3. ความรู้เชิงเงื่อนไข (Conditional Knowledge)	3.1	ฉันเรียนรู้ได้ดีที่สุดเมื่อฉันรู้รายละเอียดเกี่ยวกับหัวข้อที่เรียนรู้
	3.2	ฉันใช้กลยุทธ์การเรียนรู้ที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์
	3.3	เมื่อฉันต้องการแรงจูงใจในการเรียนรู้ ฉันสามารถสร้างแรงจูงใจให้กับตนเองได้
	3.4	ฉันใช้จุดแข็งทางสติปัญญาของตนเองในการชดเชยกับจุดอ่อน
	4.1	ฉันกำกับตนเองระหว่างการเรียนรู้เพื่อให้มีเวลาอย่างเพียงพอ

องค์ประกอบย่อย	ลำดับ	ข้อความคำถาม
4. การกำกับ ควบคุมการคิด: การวางแผน (Planning)	4.2	ฉันคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ฉันต้องการเรียนรู้จริง ๆ ก่อนเริ่มทำภาระงาน หนึ่ง ๆ
	4.3	ฉันตั้งเป้าหมายที่มีความเฉพาะเจาะจงก่อนเริ่มทำภาระงาน
	4.4	ฉันถามตนเองเกี่ยวกับวัสดุการเรียนรู้ก่อนฉันเริ่มเรียนรู้
5. การกำกับ ควบคุมการคิด: การจัดการ สารสนเทศ (Information Management)	5.1	ฉันลดความเร็วในการเรียนรู้ให้ช้าลงเมื่อฉันต้องจัดการกับ สารสนเทศที่สำคัญ
	5.2	ฉันให้ความสนใจจดจ่อกับข้อมูลสำคัญ
	5.3	ฉันจดจ่อกับความหมายและความสำคัญของสารสนเทศใหม่
	5.4	ฉันสร้างตัวอย่างด้วยตนเองเพื่อให้สารสนเทศมีความหมาย มากขึ้น
6. การกำกับ ควบคุมการคิด: การกำกับควบคุม (Monitoring)	6.1	ฉันพิจารณาทางเลือกต่าง ๆ สำหรับปัญหาก่อนตอบปัญหา
	6.2	ในการแก้ปัญหา ฉันถามตนเองว่า ฉันได้พิจารณาทางเลือก ทั้งหมดแล้วหรือยัง
	6.3	ฉันทบทวนตนเองอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ที่ สำคัญ
	6.4	ฉันพบว่า ฉันมีการวิเคราะห์ข้อดีของกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระหว่าง การเรียนรู้
7. การกำกับ ควบคุมการคิด: การแก้ไข ข้อผิดพลาด (Debugging)	7.1	ฉันขอความช่วยเหลือจากผู้อื่นเมื่อฉันไม่เข้าใจบางสิ่งบางอย่าง
	7.2	ฉันเปลี่ยนแปลงกลยุทธ์เมื่อฉันล้มเหลวในการทำความเข้าใจ
	7.3	ฉันทบทวนข้อสันนิษฐานของตนเองซ้ำเมื่อฉันเกิดความสับสน
	7.4	ฉันหยุดและกลับไปศึกษาข้อมูลใหม่ที่ไม่ชัดเจน
8. การกำกับ ควบคุมการคิด: การประเมินผล (Evaluation)	8.1	เมื่อฉันทำแบบทดสอบเสร็จแล้ว ฉันจะรู้ว่าฉันทำแบบทดสอบได้ดี เพียงใด
	8.2	ฉันถามตนเองภายหลังทำภาระงานว่า มีวิธีการที่ง่ายกว่านี้ หรือไม่
	8.3	ฉันสรุปสิ่งที่ฉันได้เรียนรู้ภายหลังฉันเรียนรู้เสร็จ
	8.4	เมื่อฉันบรรลุเป้าหมาย ฉันถามตนเองว่าฉันประสบความสำเร็จใน การบรรลุเป้าหมายเพียงใด

Taasobshirazi & Farley (2013b: 453 - 454) ได้พัฒนาแบบวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์ โดยใช้ความหมายของการรู้คิดตาม Flavell (1985: 104 อ้างถึงใน Taasobshirazi & Farley, 2013b: 453 - 454) ที่ว่า การรู้คิดเป็นกิจกรรมทางความคิดที่ควบคุมกิจกรรมทางความคิดต่าง ๆ โดยมีองค์ประกอบ 6 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (ประกอบด้วย ความรู้เชิงประกาศ ความรู้เชิงกระบวนการ ความรู้เชิงเงื่อนไข) และ 2) การกำกับควบคุมการคิด (ประกอบด้วย การวางแผน การจัดการสารสนเทศ การกำกับควบคุม การแก้ไขข้อผิดพลาด และการประเมินผล) ทั้งนี้ แบบวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์มีลักษณะเป็นแบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ

ทั้งนี้ Taasobshirazi et al. (2015) ได้ดัดแปลงแบบวัดการรู้คิดจากแนวคิดของ Taasobshirazi & Farley (2013b) โดยใช้ความหมายและองค์ประกอบของการรู้คิดตามแนวคิดของ Taasobshirazi & Farley (2013b) แต่มีการเพิ่มเติมข้อคำถามในองค์ประกอบ “การกำกับความคิด: การประเมิน” และ “การกำกับความคิด: การแก้ไขข้อผิดพลาด” องค์ประกอบละ 1 ข้อคำถาม ทั้งนี้ รายละเอียดของตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Taasobshirazi et al. (2015) เป็นตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** รายละเอียดของตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์ (ปรับจาก Taasobshirazi et al., 2015)

องค์ประกอบย่อย	ลำดับ	ข้อคำถาม
1. ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด: ความรู้เชิงประกาศ ความรู้เชิงกระบวนการ และความรู้เชิงเงื่อนไข	1.1	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ถึงวิธีการที่ทำให้ฉันทำงานได้อย่างดีที่สุด (ความรู้เชิงประกาศ)
	1.2	ฉันสามารถตัดสินได้ดีว่า ฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีเพียงใด (ความรู้เชิงประกาศ)
	1.3	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ถึงวิธีการในการใช้กลยุทธ์หนึ่ง ๆ ในการแก้ปัญหาฟิสิกส์ให้ประสบความสำเร็จ (ความรู้เชิงกระบวนการ)
	1.4	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันมีวัตถุประสงค์ที่เฉพาะเจาะจงในการใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ (ความรู้เชิงกระบวนการ)
	1.5	เมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ว่าเมื่อไรควรจะใช้กลยุทธ์หนึ่ง ๆ (ความรู้เชิงเงื่อนไข)

องค์ประกอบย่อย	ลำดับ	ข้อความคำถาม
	1.6	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ว่าเพราะอะไรฉันจึงใช้กลยุทธ์หนึ่ง ๆ (ความรู้เชิงเงื่อนไข)
2. การกำกับความคิด: การจัดการสารสนเทศ (การเขียนแผนภาพวัตถุ อิสระ)	2.1	ฉันวาดแผนภาพวัตถุอิสระสำหรับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ฉันกำลังแก้
	2.2	ฉันใช้แผนภาพวัตถุอิสระในการช่วยแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
	2.3	ฉันวาดแผนภาพวัตถุอิสระในการช่วยแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
	2.4	ฉันรู้ว่า เพราะเหตุใดแผนภาพวัตถุอิสระจึงมีความสำคัญในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
3. การกำกับความคิด: การตรวจสอบ	3.1	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันตั้งคำถามกับตนเองว่าในระหว่างการแก้ปัญหา ฉันแก้ปัญหาได้ดีเพียงใด
	3.2	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันมีการประเมินอย่างสม่ำเสมอว่า ในระหว่างการแก้ปัญหา ฉันแก้ปัญหาได้ดีเพียงใด
	3.3	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันถามตนเองว่า สิ่งที่ฉันทำนำไปสู่เป้าหมายหรือไม่
	3.4	เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันถามตนเองอย่างสม่ำเสมอว่า สิ่งที่ฉันทำนำไปสู่เป้าหมายหรือไม่
4. การกำกับความคิด: การประเมิน	4.1	หลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันตรวจสอบคำถามของฉันอีกรอบหนึ่ง
	4.2	ฉันทบทวนและตรวจสอบงานหลังแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
	4.3	หลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันทบทวนเมื่อพิจารณาว่ากระบวนการที่ฉันทำในการแก้ปัญหานั้นถูกต้องหรือไม่
	<b>*4.4</b>	<b>หลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันทบทวนปัญหาเพื่อพิจารณาว่า คำตอบของฉันมีความสมเหตุสมผล</b>
5. การกำกับความคิด: การแก้ไขข้อผิดพลาด	5.1	ฉันขอความช่วยเหลือเมื่อฉันไม่เข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์
	5.2	ฉันหาความช่วยเหลือเมื่อฉันไม่เข้าใจปัญหาที่ฉันกำลังแก้
	<b>*5.3</b>	<b>ฉันเปลี่ยนแปลงกลยุทธ์เพื่อฉันล้มเหลวในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</b>

องค์ประกอบย่อย	ลำดับ	ข้อความคำถาม
6. การกำกับความคิด: การวางแผน	6.1	ฉันคิดถึงสิ่งที่ปัญหาทางฟิสิกส์ถามก่อนที่ฉันจะเริ่มแก้ปัญหา
	6.2	ก่อนการแก้ปัญหา ฉันระบุส่วนสำคัญของปัญหา
	6.3	ก่อนการแก้ปัญหา ฉันกำจัดข้อมูลในปัญหาที่ฉันไม่ต้องการ
	6.4	ก่อนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันคิดถึงเกี่ยวกับลักษณะคำตอบที่สมเหตุสมผล

\*ข้อความคำถามที่เพิ่มเติมจากแบบวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์ของ Taasobshirazi & Farley (2013b)

จากแนวทางการวัดและประเมินการรู้คิดข้างต้น พบว่า การรู้คิดสามารถวัดผ่านการวิธีการที่หลากหลายได้ เช่น การสังเกต การคิดออกเสียง การสัมภาษณ์ การใช้แบบวัดหรือแบบรายงานตนเอง (Veenman, 2012; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555) รวมถึงการทดสอบ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555) ทั้งนี้ ตัวอย่างแบบวัดการรู้คิดข้างต้น แสดงถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลการรู้คิดผ่านแบบวัดแบบมาตรฐานค่า 5 ระดับ โดยแบบวัดการตระหนักรู้การรู้คิดของ Schraw & Dennison (1994) จะพิจารณาการรู้คิดในบริบททั่วไป ในขณะที่แบบวัดการรู้คิดของ Taasobshirazi & Farley (2013b) และ Taasobshirazi et al. (2015) จะพิจารณาการรู้คิดในบริบทของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

แนวทางการวัดและประเมินการรู้คิดในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือในการวิจัยเป็นแบบวัดแบบมาตรฐานค่า 5 ระดับ เนื่องจากสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลการรู้คิดในการตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 และ 2 ในการวิจัยระยะที่ 1 ซึ่งใช้กระบวนการที่ค้นการวิจัยเชิงปริมาณได้

#### 2.4.3 เกณฑ์การประเมินการรู้คิด

จากแนวคิดเกี่ยวกับการวัดและประเมินการรู้คิดไว้ข้างต้น พบว่า แนวคิดของนักการศึกษาข้างต้นมีข้อจำกัดในการประเมินการรู้คิดเนื่องจากไม่ได้ระบุเกณฑ์การประเมินการรู้คิดไว้ จึงนำไปสู่การศึกษาเกณฑ์การประเมินการรู้คิดจากนักการศึกษาท่านอื่นที่ใช้แบบวัดการรู้คิดแบบมาตรฐานค่า 5 ระดับ ซึ่งใกล้เคียงกับแบบวัดการรู้คิดของนักการศึกษาได้แก่ Schraw & Dennison (1994) Taasobshirazi & Farley (2013b) และ Taasobshirazi et al. (2015) โดยนักการศึกษาได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับเกณฑ์การประเมินการรู้คิดไว้ดังนี้

Oz (2016: 114) และ Memnun & Hart (2012) ระบุ เกณฑ์ในการประเมินการรู้คิดโดยใช้แบบวัดการรู้คิดแบบมาตรฐานค่า 5 ระดับไว้ดังนี้

ช่วงคะแนน	3.75 – 5.00	หมายถึง	การรู้คิดอยู่ในระดับสูงมาก
	2.50 – 3.74	หมายถึง	การรู้คิดอยู่ในระดับสูง
	1.25 – 2.49	หมายถึง	การรู้คิดอยู่ในระดับต่ำ
	0.00 – 1.24	หมายถึง	การรู้คิดอยู่ในระดับต่ำมาก

Aljaberi & Gheith (2015: 125) ระบุเกณฑ์การประเมินการรู้คิดโดยใช้แบบวัดการรู้คิดแบบมาตรประมาณค่า 5 ระดับไว้ ซึ่งเกณฑ์การประเมินการรู้คิดเป็นดังนี้

ช่วงคะแนน	ตั้งแต่ 73.6 ขึ้นไป	หมายถึง	การรู้คิดอยู่ในระดับสูง
	46.6 – 73.5	หมายถึง	การรู้คิดอยู่ในระดับปานกลาง
	ต่ำกว่า 46.5	หมายถึง	การรู้คิดอยู่ในระดับต่ำ

จากเกณฑ์การประเมินการรู้คิดโดยใช้แบบวัดการรู้คิดแบบมาตรประมาณค่า 5 ระดับทำให้ทราบว่า เกณฑ์การประเมินการรู้คิดสามารถจำแนกการรู้คิดได้เป็น 3 ระดับ (สูง ปานกลาง และต่ำ) หรือ 4 ระดับ (สูงมาก สูง ต่ำ และต่ำมาก)

การวิจัยครั้งนี้กำหนดเกณฑ์การประเมินการรู้คิดตามแนวคิดของ Oz (2016: 114) และ Memnun & Hart (2012) เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่นักการศึกษาระบุไว้สอดคล้องกัน รวมถึงสามารถจำแนกระดับของการรู้คิดได้ละเอียด

### 3. ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด

นักการศึกษาได้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดไว้ดังนี้

Gok (2010: 117) ระบุว่า การรู้คิดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยการที่นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างรู้คิดช่วยให้ นักเรียนเข้าใจกระบวนการคิดของตนเองในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ ทั้งนี้ การกำกับควบคุมการคิดหรือทักษะการรู้คิด (Metacognitive Skills) เช่น การวางแผน การกำกับควบคุม และการประเมินผล ควรได้รับการสอดแทรกไปสู่การจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ซึ่งจะสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้

Docktor (2006: 11 - 12) ระบุว่า บุคคลที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรู้คิดมีแนวโน้มที่จะสามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อนได้อย่างประสบความสำเร็จ โดยบุคคลจะมีการพัฒนาทักษะการวางแผนในการแก้ปัญหา รวมถึงทักษะการกำกับความก้าวหน้าในการไปให้ถึงเป้าหมายตามที่วางแผนไว้ และทักษะการประเมินประสิทธิภาพของกลยุทธ์การแก้ปัญหาที่บุคคล

เลือก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่บุคคลที่แก้ปัญหายังไม่รู้คิดจะมีการประเมินสมมติฐานของตนเองอย่างรอบคอบและเป็นผลมาจากการที่บุคคลจะไม่พยายามใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ที่ใช้ไม่ได้ผล

Veenman (2012: 29) ได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้คิดกับการแก้ปัญห พบว่า นักการศึกษาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการรู้คิดกับการแก้ปัญหาด้านการศึกษาวិทยาศาสตร์และฟิสิกส์ โดยพิจารณาเป็นความแตกต่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผู้เริ่มต้นเรียนรู้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** ความแตกต่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับผู้เริ่มต้นเรียนรู้ในการแก้ปัญหทางฟิสิกส์ (สรุปจาก Veenman, 2012: 29)

ประเด็นความแตกต่าง	ผู้เชี่ยวชาญ	ผู้เริ่มต้นเรียนรู้
1. การดำเนินการก่อนเริ่มแก้ปัญห	ผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ข้อความของปัญหา แล้วใช้ตัวแทนความคิด (Representation) ในการระบุปัญหา	ผู้เริ่มต้นเรียนรู้เริ่มต้นวิเคราะห์ปัญหาอย่างผิวเผิน
2. การวางแผน และการดำเนินการ	ผู้เชี่ยวชาญออกแบบแผนการดำเนินการซึ่งมีการระบุเป้าหมายและขั้นตอนในการแก้ปัญห	1) ผู้เริ่มต้นเรียนรู้ขาดการวางแผนในการแก้ปัญห 2) ผู้เริ่มต้นเรียนรู้พยายามหาสูตรที่สอดคล้องกับข้อความของปัญหาอย่างผิวเผิน และพยายามแก้ปัญหให้เสร็จภายในการดำเนินการเพียง 1 ครั้ง 3) ผู้เริ่มต้นเรียนรู้ไม่ได้ทำการจดบันทึก แต่ใช้การคิดคำนวณในใจแทน (Mental Calculation) ซึ่งทำให้เกิดความลำบากในการแก้ปัญห และไม่สามารถติดตามตรวจสอบขั้นตอนการแก้ปัญหได้

Taasobshirazi & Farley (2013a: 55) ได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้คิดและการแก้ปัญหทางฟิสิกส์ ซึ่งพบว่า การวางแผนการรู้คิด (Metacognitive Planning) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการรู้คิดมีความเกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหทางฟิสิกส์ในการระบุสิ่งที่ปัญหาถาม ระบุกลยุทธ์สำหรับการแก้ปัญห และระบุถึงวิธีการใช้กลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการแก้ปัญหหนึ่ง ๆ ทั้งนี้ ผู้เชี่ยวชาญมีการรู้คิดมากกว่าเมื่อเทียบกับผู้เริ่มต้น



เรียนรู้เพราะใช้เวลามากกว่าในการวางแผนการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญมีแรงจูงใจในการวางแผนการรู้คิดมากกว่าผู้เริ่มต้นเรียนรู้ จากแนวคิดข้างต้น Taasobshirazi & Farley (2013a) ได้ทำการวิจัยโมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ผลการวิจัยพบว่า การวางแผนการรู้คิดมีอิทธิพลทางอ้อมต่อการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ผ่านการใช้งานกลยุทธ์ทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยอิทธิพลทางอ้อมนั้นอยู่ในระดับปานกลาง

Ali et al. (2016) ทำการวิจัยแล้วพบว่า การกำกับควบคุมในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการรู้คิดมีบทบาทในการช่วยให้จดจ่อกับเป้าหมายการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ช่วยในการทำความเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์ ช่วยให้ตรวจสอบรวมถึงหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

จากแนวคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการรู้คิดและความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า การกำกับควบคุมการคิดช่วยให้บุคคลเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการคิดของตนเองในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ รวมถึงช่วยกำกับให้สามารถดำเนินการตามแผนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ บุคคลที่มีความชำนาญในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะวิเคราะห์ปัญหาและวางแผนการแก้ปัญหารวมถึงมีการประเมินกลยุทธ์ที่ใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งนำไปสู่การไม่ใช้กลยุทธ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ แต่เปลี่ยนไปใช้กลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

#### 4. โมเดลสมการโครงสร้าง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง นักวิชาการมีการใช้คำว่าโมเดลแทนคำว่ากรอบแนวคิด การนำเสนอเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโมเดลสมการโครงสร้างนำเสนอตามประเด็นดังนี้

##### 4.1 ความหมายของโมเดลสมการโครงสร้าง

นักวิชาการได้ให้ความหมายของโมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling, SEM) ไว้ดังนี้

Hair, Black, Babin, Anderson, & Tatham (1998) ได้ระบุว่า โมเดลสมการโครงสร้าง หมายถึง เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวแปรที่มีการผสมผสานระหว่างการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่สามารถวัดได้โดยตรงกับ

ตัวแปรต่าง ๆ เพื่อใช้ในการประมาณชุดของค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ พร้อม ๆ กัน

นงลักษณ์ วิรัชชัย (2537) ระบุความหมายของโมเดลสมการโครงสร้างไว้สอดคล้องกับ Hair et al. (1998) โดยมีการอธิบายในเชิงของสมการทางคณิตศาสตร์ว่า โมเดลสมการโครงสร้าง หมายถึง สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในกรอบแนวคิดการวิจัย

พูลพงศ์ สุขสว่าง (2556) มีการระบุความหมายของโมเดลสมการโครงสร้าง สอดคล้องกับ นงลักษณ์ วิรัชชัย (2537) และ Hair et al. (1998) ทั้งนี้มีการระบุความหมายในลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดหรือโมเดลที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิดทฤษฎีต่าง ๆ กับข้อมูลเชิงประจักษ์

นอกจากนี้ ยุทธ ไกยวรรณ (2557) ได้ระบุความหมายของโมเดลสมการโครงสร้าง สอดคล้องกับแนวคิดของ Hair et al. (1998) และ นงลักษณ์ วิรัชชัย (2537) โดยระบุว่า โมเดลสมการโครงสร้าง หมายถึง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระจำนวนหลายตัวแปร พร้อม ๆ กันภายในครั้งเดียว โดยอาจเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) หรือ การวิเคราะห์อิทธิพลเชิงสาเหตุ (Path Analysis)

จากแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของโมเดลสมการโครงสร้างข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า โมเดลสมการโครงสร้าง หมายถึง เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่แสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทดสอบความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ รวมถึงใช้เพื่อประมาณค่าความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปร โดยผสมผสานเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ

#### 4.2 องค์ประกอบของโมเดลสมการโครงสร้าง

นักวิชาการได้ระบุองค์ประกอบของโมเดลสมการโครงสร้างไว้ดังนี้

นงลักษณ์ วิรัชชัย (2537) ระบุว่า โมเดลสมการโครงสร้างโมเดลใหญ่จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ดังนี้

1) โมเดลการวัด (Measurement Model) เป็นกรอบแนวคิดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงต่าง ๆ กับตัวแปรสังเกตได้ต่าง ๆ ในการวิจัย

2) โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Model, SEM) เป็นกรอบแนวคิดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงต่าง ๆ ในการวิจัย

สุภมาส อังศุโชติ และคณะ (2552) ระบุแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของโมเดลสมการโครงสร้างสอดคล้องกับ นงลักษณ์ วิรัชชัย (2537) โดยระบุว่า โมเดลสมการโครงสร้างประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

1) โมเดลการวัด (Measurement Model) หมายถึง กรอบแนวคิดที่แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวแปรสังเกตได้ในการวิจัย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

2) โมเดลโครงสร้าง (Structural Model) หมายถึง กรอบแนวคิดที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงต่าง ๆ ในการวิจัย

นอกจากนี้ แนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของโมเดลสมการโครงสร้างของ ยุทธไภยวรรณ (2557: 208 - 209) สอดคล้องกับแนวคิดของนักการศึกษาข้างต้น โดยระบุว่า โมเดลสมการโครงสร้างหนึ่ง ๆ สามารถประกอบขึ้นจากโมเดล 2 โมเดล ซึ่งได้แก่

1) โมเดลการวัด (Measurement Model) เป็นกรอบแนวคิดที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรแฝง (Latent Variable) กับตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable)

2) โมเดลโครงสร้าง (Structural Model) เป็นกรอบแนวคิดที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแฝงในโมเดลที่เป็นตัวแปรตามและตัวแปรแฝงในโมเดลที่เป็นตัวแปรอิสระ

จากแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของโมเดลสมการโครงสร้างจึงสรุปได้ว่า โมเดลสมการโครงสร้างมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

1) โมเดลการวัด (Measurement Model) เป็นกรอบแนวคิดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงและตัวแปรสังเกตได้ในการวิจัย

2) โมเดลโครงสร้าง (Structural Model) เป็นกรอบแนวคิดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงต่าง ๆ ในการวิจัย

#### 4.3 พารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

นงลักษณ์ วิรัชชัย (2537: 19) ระบุว่า พารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมีดังนี้

“1)  $\Lambda-X = LX$  หมายถึง เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอย

ของ K บน X ขนาด  $(NX \times NK)$

2)  $\Lambda - Y = LY$  หมายถึง เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การถดถอยของ E บน Y ขนาด  $(NY \times NE)$

3)  $\Gamma = GA$  หมายถึง เมทริกซ์อิทธิพลเชิงสาเหตุจาก K ไป E ขนาด  $(NE \times NK)$

4)  $\beta = BE$  หมายถึง เมทริกซ์อิทธิพลเชิงสาเหตุระหว่าง E ขนาด  $(NE \times NE)$

5)  $\Phi = PH$  หมายถึง เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงภายใน K ขนาด  $(NK \times NK)$

6)  $\Psi = PS$  หมายถึง เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อน z ขนาด  $(NE \times NE)$

7)  $\Theta - \Delta = TD$  หมายถึง เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อน d ขนาด  $(NX \times NX)$

8)  $\Theta - \epsilon = TE$  หมายถึง เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมระหว่างความคลาดเคลื่อน e ขนาด  $(NY \times NY)$

นงลักษณ์ วีรัชชัย (2537: 19)

#### 4.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง

นักวิชาการได้ระบุขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้างไว้ดังนี้

ยุทธ ไถยวรรณ (2557: 208 - 228) ระบุขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง ดังนี้

##### 1) การกำหนดโครงสร้างของโมเดล (Model Specification)

การกำหนดโครงสร้างของโมเดลเป็นการกำหนดลักษณะของกรอบแนวคิดการวิจัยโดยใช้ตัวแปรและข้อมูลที่ศึกษาอย่างลึกซึ้งซึ่งจากแนวคิดทฤษฎีต่าง ๆ

##### 2) การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดล (Model Identification)

การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลเป็นการพิจารณาว่าข้อมูลที่มีอยู่เพียงพอในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของกรอบแนวคิดการวิจัยที่ถูกต้องและมีค่าเดียวหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom, df)

### 3) การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดล (Parameter Estimation)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดลจะเกิดขึ้นเมื่อองค์ประกอบค่ามากกว่าศูนย์เท่านั้น ซึ่งกระทำโดยโปรแกรมสำเร็จรูป ทั้งนี้ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ประมาณค่าได้ จะถูกใช้ในการคำนวณหาความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ จากนั้นนำเสนอในรูปแบบเมทริกซ์ซึ่งมีชื่อเรียกว่า เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ตามกรอบแนวคิดการวิจัย [Computed Variance Covariance Matrix,  $\Sigma(\theta)$ ]

### 4) การตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดล (Measures of model fit)

หลังการประมาณค่าพารามิเตอร์จะเป็นขั้นตอนการตรวจสอบความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ถ้ากรอบแนวคิดการวิจัยสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์จะเรียกความสอดคล้องนั้นว่า Model fit ซึ่งทำโดยการนำเมทริกซ์  $\Sigma(\theta)$  หักลบจากเมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวอย่าง (Sample Variance Covariance Matrix,  $\Sigma$ ) ซึ่งเรียกผลการสอบนั้นว่า เมทริกซ์ส่วนเกิน (Residual Variance Covariance Matrix) แล้วใช้สถิติทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test) ในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติต่อไปนี้

$$H_0 : \Sigma = \Sigma(\theta) \text{ (โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์)}$$

$$H_1 : \Sigma \neq \Sigma(\theta) \text{ (โมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์)}$$

ถ้ากรอบแนวคิดการวิจัยไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ให้ปรับกรอบแนวคิดการวิจัยจนมีความสอดคล้องกัน ทั้งนี้ นอกจากการใช้สถิติทดสอบไคสแควร์แล้วสามารถพิจารณาความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์จากค่าดัชนีความสอดคล้องอื่น ๆ ดังตารางที่ 11

**ตารางที่ 11** ค่าดัชนีความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์และเกณฑ์การแปลผลดัชนี (สุวิมล ติรกานันท์, 2553 อ้างถึงใน ยุทธ ไทยวรรณ, 2557)

ดัชนีความสอดคล้อง	ค่าที่แสดงความสอดคล้อง	ค่าที่ยอมรับได้ว่าสอดคล้อง
$\chi^2$	$.05 < p \leq 1.00$	$.01 < p \leq .05$
$\chi^2/df$	$0 < \chi^2/df \leq 2$	$2 < \chi^2/df \leq 3$
RMR	$0 \leq RMR \leq 0.05$	$0.05 < RMR \leq 0.08$

ดัชนีความสอดคล้อง	ค่าที่แสดงความสอดคล้อง	ค่าที่ยอมรับได้ว่าสอดคล้อง
SRMR	$0 \leq \text{SRMR} \leq 0.05$	$0 < \text{SRMR} \leq 0.05$
RMSEA	$0 \leq \text{RMSEA} \leq 0.05$	$0.05 < \text{RMSEA} \leq 0.08$
GFI	$0.95 \leq \text{GFI} \leq 1.00$	$0.90 < \text{GFI} \leq 0.95$
AGFI	$0.90 \leq \text{AGFI} \leq 1.00$	$0.85 < \text{AGFI} \leq 0.90$
CFI	$0.97 \leq \text{CFI} \leq 1.00$	$0.95 < \text{CFI} \leq 0.97$

\*หมายเหตุ: ดัชนีความสอดคล้องจากตารางที่ 11 ย่อมาจากคำต่อไปนี้

RMR = Root Mean Square Residual

SRMR = Standardized Root Mean Square Residual

RMSEA = Root Mean Square Error of Approximation

GFI = Goodness of Fit Index

AGFI = Adjusted Goodness of Fit Index

CFI = Comparative Fit Index

สุภมาส อังศุโชติ และคณะ (2552) ระบุขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โมเดล  
สมการโครงสร้างไว้สอดคล้องกับยุทธ โภยวรรณ (2557: 208 - 228) โดยขั้นตอนสำคัญเป็นดังนี้

1) การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำไปสู่การกำหนด  
กรอบแนวคิดการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การพัฒนารอบแนวคิดการวิจัย โดยใช้รายละเอียดจากการศึกษา  
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3) การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียว ซึ่งเป็นการตรวจสอบเงื่อนไขใน  
การวิเคราะห์ข้อมูล โดยที่จำนวนสมาชิกในเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร  
สังเกตได้ต้องมากกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า ซึ่งจำนวนสมาชิกในเมทริกซ์  
ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้คำนวณได้จาก  $\frac{n(n+1)}{2}$  เมื่อ  $n$  คือจำนวน  
ตัวแปรสังเกตได้

4) การประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการจากการวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งนี้ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์จะทำให้ได้ความแปรปรวน ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ที่ประมาณค่าขึ้นในรูปของเมทริกซ์

5) การตรวจสอบความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งทำโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างเมทริกซ์ความแปรปรวน ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ที่ประมาณค่าขึ้น กับเมทริกซ์ความแปรปรวน ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้จากข้อมูลดิบ โดยใช้สถิติทดสอบไคสแควร์ ซึ่งถ้าผลการทดสอบไคสแควร์ ไม่มีนัยสำคัญจะแสดงว่ากรอบแนวคิดการวิจัยกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

6) การปรับกรอบแนวคิดการวิจัยเพื่อให้กรอบแนวคิดการวิจัยกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้งนี้ การปรับกรอบแนวคิดการวิจัยต้องปรับอย่างมีเหตุมีผล รวมถึงพิจารณาปรับพารามิเตอร์ที่มีดัชนี Modification Index (MI) ที่สูง

จากแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้างทำให้สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโมเดลสมการโครงสร้างได้ดังนี้

#### 1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการดำเนินการเพื่อศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของตัวแปรในการวิจัยจากแนวคิดทฤษฎีต่าง ๆ

#### 2) พัฒนาหรือการระบุกรอบแนวคิดการวิจัย

การพัฒนาหรือระบุกรอบแนวคิดการวิจัยเป็นการนำความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในการวิจัยมาสร้างกรอบแนวคิดการวิจัย

#### 3) ระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวในการวิเคราะห์ข้อมูล

การระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวในการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นการพิจารณาว่าข้อมูลที่มีอยู่เพียงพอต่อการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการวิจัยหรือไม่ ซึ่งพิจารณาได้จากค่าองศาอิสระที่ต้องมากกว่าศูนย์

#### 4) ประมาณค่าพารามิเตอร์

การประมาณค่าพารามิเตอร์เป็นการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการตามกรอบแนวคิดการวิจัย รวมถึงคำนวณค่าความแปรปรวน ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ซึ่งแสดงในรูปเมทริกซ์

### 5) ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์เป็นการตรวจสอบว่าพารามิเตอร์ที่ประมาณค่าขึ้นทำให้เมตริกซ์ความแปรปรวนความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรสังเกตได้ที่ประมาณค่าขึ้น กับเมตริกซ์จากข้อมูลเชิงประจักษ์ มีความสอดคล้องกลมกลืนกันหรือไม่ โดยพิจารณาจากผลการทดสอบด้วยสถิติทดสอบไคสแควร์ รวมถึงดัชนีความสอดคล้องต่าง ๆ ได้แก่  $\chi^2/df$ , RMSEA, RMR, SRMR, GFI, AGFI, CFI เป็นต้น

### 6) ปรับกรอบแนวคิดการวิจัย

การปรับกรอบแนวคิดการวิจัยเป็นปรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในการวิจัยเพื่อให้กรอบแนวคิดการวิจัยสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้งนี้ การปรับกรอบแนวคิดการวิจัยส่วนต่าง ๆ ต้องกระทำอย่างมีเหตุมีผล และพิจารณาปรับพารามิเตอร์ที่มีค่าดัชนี MI ที่สูง

## 5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

#### 5.1.1 งานวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อผลลัพธ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

Taasobshirazi & Farley (2013a) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรแรงจูงใจ การวางแผนการรู้คิด การจัดกลุ่มปัญหา กลยุทธ์การแก้ปัญหา และการใช้แผนภาพวัตถุอิสระ ที่มีต่อผลลัพธ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นนิสิตในรัฐจอร์เจียและเนวาดา สหรัฐอเมริกา จำนวน 125 คน ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานสำหรับวิชาเอกวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ และวิศวกรรม ซึ่งส่วนมาก (ร้อยละ 73) ได้มาจากการเลือกแบบอาสาสมัคร เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ แบบวัดแรงจูงใจและการกำกับตนเองเชิงการรู้คิดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และแบบทดสอบที่เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานกลยุทธ์ การใช้แผนภาพวัตถุอิสระ การจัดกลุ่มปัญหา และผลลัพธ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐานและการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง ผลการวิจัยพบสารสนเทศเกี่ยวกับอิทธิพลระหว่างตัวแปรในการวิจัย ดังนี้

- 1) กรอบแนวคิดการวิจัยสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ตามเกณฑ์ของผู้วิจัย ( $\chi^2/df = 1.83$ ,  $p = .09$ , RMSEA = 0.07, SRMR = 0.08, IFI = 0.98, CFI = 0.98)
- 2) พารามิเตอร์อิทธิพลในกรอบแนวคิดการวิจัยทุกค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงระดับสูงและมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ยกเว้นอิทธิพลทางอ้อมของแรงจูงใจที่มีต่อการใช้แผนภาพวัตถุอิสระที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ
- 3) ตัวแปรในการวิจัยสามารถอธิบายความผันแปรของการใช้งาน



กลยุทธ์ การจัดกลุ่มปัญหา การวางแผนการรู้คิด การใช้แผนภาพวัตถุอิสระ และผลลัพธ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ร้อยละ 34, 4, 32, 7 และ 65 ตามลำดับ

### 5.1.2 งานวิจัยเกี่ยวกับบทบาทการกำกับควบคุมการคิดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

Ali et al. (2016) ทำการศึกษาการกำกับควบคุม (Monitoring) ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในเรื่องกลศาสตร์ของนักศึกษาฟิสิกส์ในมหาวิทยาลัยในประเทศมาเลเซีย เครื่องมือการวิจัยเป็นแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (Physics Problem Solving Achievement Test) มีลักษณะเป็นแบบทดสอบแบบเขียนตอบ แบบลรหัสการรู้คิดในการคิดออกเสียง (Coding Metacognitive in the Thinking Aloud Protocol) และแบบสัมภาษณ์ โดยให้นักศึกษาจำนวน 21 คนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยทำการคิดออกเสียงระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ การวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาส่วนมากใช้การกำกับควบคุมในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ อย่างไรก็ตาม การใช้การกำกับควบคุมแต่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ในเชิงคุณภาพมีผลให้นักศึกษาแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ ทั้งนี้ การกำกับควบคุมในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีบทบาทช่วยให้จดจ่อกับเป้าหมายการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ช่วยในการทำความเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์ ช่วยให้ตรวจสอบรวมถึงหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

### 5.1.3 งานวิจัยเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

อรพินท์ ชื่นชอบ (2549) ทำการศึกษาผลของวิธีสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยเสริมการแก้ปัญหาตามเทคนิคของโพลยาสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งมีจำนวน 46 คนของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ปีการศึกษา 2548 เครื่องมือในการทดลองได้แก่แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยเสริมการแก้ปัญหาตามเทคนิคของโพลยา ในขณะที่เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ และแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติทดสอบที่ ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังเรียน นักเรียนที่เรียนด้วยวิธีสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยเสริมการแก้ปัญหาตามเทคนิคของโพลยา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์และ ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และ 2) หลังเรียน ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยเสริมการแก้ปัญหาตามเทคนิคของโพลยาสูงกว่าเกณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

พัฒน์นิดา มิ่งมิตร (2559) ได้ทำการวิจัยกึ่งทดลองเพื่อศึกษาผลของแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยกลุ่มตัวอย่างการวิจัยเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งสังกัดเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร จำนวน 2 ห้องเรียน โดยนักเรียนกลุ่มทดลองเรียนด้วยแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ ในขณะที่นักเรียนกลุ่มควบคุมเรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังเรียน นักเรียนที่เรียนด้วยแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์มีร้อยละของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60) 2) หลังเรียน นักเรียนที่เรียนด้วยแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์มีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) หลังเรียน นักเรียนที่เรียนด้วยแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์มีร้อยละของคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์สูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 70) และ 4) หลังเรียน นักเรียนที่เรียนด้วยแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อมรรัตน์ บุษบงโชติ (2558) ได้ทำการวิจัยกึ่งทดลองเพื่อศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตั้งปัญหาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม โดยกลุ่มตัวอย่างการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 จำนวน 2 ห้องเรียน ซึ่งกลุ่มทดลองเรียนฟิสิกส์โดยการตั้งปัญหา และกลุ่มควบคุมเรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไป เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง ความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังเรียน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนโดยการตั้งปัญหามีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังเรียน นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนโดยการตั้งปัญหามีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) หลังเรียน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนโดยการตั้งปัญหามีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ

4) หลังเรียน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนโดยการจัดปัญหาหมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง ความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีสอนแบบทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สิริเกศ หมัดเจริญ และน้อยทิพย์ ลีมยิ่งเจริญ (2554) ได้ทำการวิจัยเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์เรื่องเสียง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กลวิธีเมตาคอกนิชัน กลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนคูเมืองวิทยาคม ภาคเรียนที่ 2 ในการศึกษา 2553 ซึ่งมีจำนวน 34 คน ทั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้กลวิธีเมตาคอกนิชัน เรื่องเสียง และเครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบบันทึกพฤติกรรมนักเรียน แบบสัมภาษณ์นักเรียน แบบบันทึกผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยครู แบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาวิชาฟิสิกส์ และแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติบรรยายซึ่งได้แก่ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในขณะที่การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพใช้การวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังเรียน นักเรียนที่ได้คะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มมีจำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 73.53 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด และ 2) หลังเรียน นักเรียนที่ได้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มมีจำนวน 24 คน คิดเป็นร้อยละ 70.59 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด

Yulianti, Riantoni, & Mufti (2018) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบ โดยใช้สถานการณ์จำลอง PhET ในเนื้อหาไฟฟ้ากระแสตรงที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยใช้การวิจัยแบบผสมวิธีร่วมกับการวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักศึกษาในภาควิชาฟิสิกส์ศึกษาในมหาวิทยาลัย University of Jambi ประเทศอินโดนีเซียจำนวน 34 คนซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่แบบทดสอบทักษะ การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เนื้อหาไฟฟ้ากระแสตรง และแบบสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยาย และการวิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบ Kruskal Wallis ผลการวิจัยพบว่า ก่อนเรียน นักศึกษาร้อยละ 85.71 อยู่ในกลุ่มที่มีแนวทางการแก้ปัญหาที่ไม่ชัดเจน และนักศึกษาร้อยละ 14.28 อยู่ในกลุ่มที่แก้ปัญหายังไม่มีโครงสร้าง ในขณะที่ หลังเรียน นักศึกษามีการเปลี่ยนไปอยู่ในกลุ่มที่แก้ปัญหายังเป็นวิทยาศาสตร์ แก้ปัญหายังมีโครงสร้าง แก้ปัญหายัง

ไม่มีโครงสร้าง แก้ปัญหาโดยใช้ความจำเป็นหลัก และกลุ่มที่มีแนวทางการแก้ปัญหาที่ไม่ชัดเจน คิดเป็นร้อยละ 25.71, 17.71, 28.57, 5.71 และ 22.86 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าจำนวนนักศึกษา กลุ่มที่มีแนวทางการแก้ปัญหาที่ไม่ชัดเจนมีจำนวนลดลง ในขณะที่กลุ่มที่แก้ปัญหาโดยมีแนวทางการแก้ปัญหาที่ชัดเจนมากขึ้นจนถึงระดับที่แก้ปัญหายังเป็นวิทยาศาสตร์มีจำนวนมากขึ้นเทียบกับ ก่อนเรียน ทั้งนี้ ผลการทดสอบด้วยสถิติทดสอบ Kruskal Wallis พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งบ่งชี้ว่า ทักษะการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักศึกษาที่มีแนวทางการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ กลุ่มต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์แสดงให้เห็นว่า

1) ในบริบทของสหรัฐอเมริกา รัฐจอร์เจียและเนวาดา แรงจูงใจ การวางแผน การรู้คิด การจัดกลุ่มปัญหา การใช้งานกลยุทธ์ และการใช้แผนภาพวัตถุอิสระ มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยตัวแปรข้างต้นอธิบายความผันแปร ของผลลัพธ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ร้อยละ 65

2) การกำกับควบคุมในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีส่วนช่วยในการแก้ปัญหา ทางฟิสิกส์ในการทำให้จดจ่อกับเป้าหมายการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การทำความเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงการตรวจสอบและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่จะเกิดขึ้น

3) แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทาง ฟิสิกส์ได้ ได้แก่ แนวทางการแก้ปัญหาเชิงมนทัศน์ และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตั้งปัญหา กลวิธีเมตาคอกนิชัน และการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบโดยใช้สถานการณ์จำลอง PhET

## 5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้คิด

### **5.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจการรู้คิด**

Pimvichai et al. (2015) ได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการมีอยู่ของการรู้คิด ภายในห้องเรียนฟิสิกส์ในประเทศไทยระหว่างห้องเรียนในเมืองและห้องเรียนในชนบท กลุ่มเป้าหมาย ของการวิจัยเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 190 คน ซึ่งประกอบด้วยนักเรียนจำนวน 98 คนที่ศึกษาในโรงเรียนในเมือง 2 โรงเรียน และประกอบด้วยนักเรียนจำนวน 92 คนที่ศึกษาใน โรงเรียนเขตชนบท 2 โรงเรียน ในจังหวัดขอนแก่น รูปแบบการวิจัยใช้การวิจัยแบบผสมวิธี ทั้งนี้ เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่แบบวัดสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่มีการรู้คิดในรายวิชา วิทยาศาสตร์ (Metacognitive Orientation Learning Environment Scale–Science, MOLE–S)

ที่พัฒนาขึ้นโดย Thomas (2003) การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้การบันทึกวีดิทัศน์และเสียงภายในชั้นเรียนร่วมกับการสัมภาษณ์และการใช้แบบวัด การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การคิดค่าเฉลี่ย ในขณะที่พฤติกรรมและความคิดของนักเรียนใช้การจัดกลุ่มและตีความเพื่อวิเคราะห์การมีอยู่ของการรู้คิด ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้คิดพบว่า 1) นักเรียนในเมืองมีการพัฒนากระบวนการรู้คิดมากกว่านักเรียนในชนบท ทั้งนี้การจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาการรู้คิดของนักเรียนระหว่างโรงเรียนในเมืองและเขตชนบทไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 2) ห้องเรียนในเขตชนบทมีการอภิปรายระหว่างนักเรียนกับนักเรียน (บ่งบอกถึงการมีอยู่ของการรู้คิดในการจัดการเรียนการสอน) สูงกว่าห้องเรียนในเมือง และ 3) ห้องเรียนในเมืองมีการอภิปรายระหว่างครูกับนักเรียนในระดับ “บางครั้ง” เช่นเดียวกับห้องเรียนในเขตชนบท ทั้งนี้ ผู้วิจัยระบุว่า นักเรียนในห้องเรียนฟิสิกส์ในประเทศไทยขาดการรู้คิด ทั้งนี้ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า นักเรียนทั้งโรงเรียนในเมืองและเขตชนบทควรได้รับการพัฒนาการรู้คิดในชั้นเรียนฟิสิกส์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์

### 5.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างในการวัดการรู้คิด

Taasobshirazi et al. (2015) ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการรู้คิดในบริบทการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในด้านความตรงเชิงโครงสร้างและการวิเคราะห์ Rasch ทั้งนี้การรู้คิดวัดผ่านองค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งมีการจัดองค์ประกอบในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการคิด การวางแผน การกำกับควบคุม การประเมิน การแก้ไขข้อผิดพลาด และการจัดการสารสนเทศ และแบบวัดเป็นแบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ กลุ่มตัวอย่างการวิจัยเป็นนักศึกษาในรายวิชาฟิสิกส์เบื้องต้นระดับวิทยาลัยจากสหรัฐอเมริกาจำนวน 285 คน ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง พบว่า กรอบแนวคิดการวิจัยในการวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ตามเกณฑ์ของผู้วิจัยซึ่งพิจารณาได้จากดัชนี RMSEA (0.07) SRMR (0.08) CFI (0.93) IFI (0.93) ทั้งนี้ น้ำหนักองค์ประกอบของข้อคำถามทุกค่ามีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่าระหว่าง 0.13 ถึง 1.00

### 5.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการพัฒนาการรู้คิด

Zouhor, Bogdanović, & Segedinac (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของกลยุทธ์การเรียนรู้ Know-Want-Learn หรือ KWL ที่มีต่อการรู้คิดและผลสัมฤทธิ์ทางฟิสิกส์ของนักเรียนประถมศึกษา โดยกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาเป็นนักเรียนเกรด 6 จำนวน 101 คนของโรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งใน Subotica ซึ่งแบ่งกลุ่มในการศึกษาเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลองซึ่งได้รับ

การสอนด้วยกลยุทธ์ KWL และกลุ่มควบคุม โดยได้รับการจัดการสอนแบบดั้งเดิม ซึ่งนักเรียนในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีจำนวนนักเรียน 51 และ 50 คน ตามลำดับ ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยแบบทดสอบความรู้ทางฟิสิกส์ และแบบสอบถามการรู้คิดซึ่งดัดแปลงจากแบบวัดความตระหนักในการรู้คิดของเด็ก (Junior Metacognitive Awareness Inventory, Jr.MAI) โดยผลการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือของแบบทดสอบและแบบวัดข้างต้นพบว่ามีความเหมาะสมในการใช้งาน การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยายและสถิติอ้างอิง Dependent-Sample t-test และ Independent-Sample t-test ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนที่เรียนด้วยกลยุทธ์ KWL มีความรู้ทางฟิสิกส์หลังเรียนแตกต่างจากก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังเรียน นักเรียนที่เรียนด้วยกลยุทธ์ KWL มีความรู้ทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) นักเรียนที่เรียนด้วยกลยุทธ์ KWL มีการรู้คิดหลังเรียนแตกต่างจากก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 4) หลังเรียน นักเรียนที่เรียนด้วยกลยุทธ์ KWL มีการรู้คิดสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทำให้ทราบว่า กลยุทธ์การรู้คิดช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนได้

พิระยุทธ สุขสำราญ, ภัทรภรชัย ประเสริฐ, & สพลณภัทร์ ศรีแสนรงค์ (2559) ได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคิดอภิปัญญาวิชาชีววิทยาเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนพนัสพิทยาคารชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 จำนวน 1 ห้องเรียน (43 คน) ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Random Sampling) ทั้งนี้เครื่องมือในการทดลองได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา เรื่องความหลากหลายทางชีวภาพ ในขณะที่เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ความหลากหลายทางชีวภาพ ที่มีความเที่ยง 0.93 และแบบวัดความคิดอภิปัญญาวิชาชีววิทยา ที่มีความเชื่อมั่น 0.94 นอกจากนี้ การวิจัยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติบรรยายซึ่งได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติอ้างอิงซึ่งได้แก่ สถิติทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม (One-Sample t-test) และสถิติทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent-Sample t-test) ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังเรียน นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง ความหลากหลายทางชีวภาพ สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) หลังเรียน นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง ความหลากหลายทางชีวภาพ สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (ร้อยละ 75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) หลังเรียน นักเรียนมีความคิดอภิปัญญาวิชาชีววิทยา สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 4) หลังเรียน นักเรียนมีความคิดอภิปัญญาวิชาชีววิทยา สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ธนาวุฒิ ลาตวงษ์ (2559) ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์แบบ 5A ในการส่งเสริมอภิปัญญาสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 ของโรงเรียนจำนวน 1 โรงเรียนภายในจังหวัดร้อยเอ็ด ปีการศึกษา 2558 จำนวน 1 ห้องเรียน ซึ่งมีจำนวน 30 คน เครื่องมือการวิจัย ประกอบด้วย แบบทดสอบ ความสามารถด้านอภิปัญญา แบบบันทึกความสามารถด้านอภิปัญญา และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วยสถิติบรรยายซึ่งได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติอ้างอิงซึ่งได้แก่สถิติทดสอบทีแบบตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน และสถิติทดสอบทีสำหรับตัวอย่าง 1 กลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า 1) ขั้นตอนของ รูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบ 5A เพื่อส่งเสริมอภิปัญญา สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษา ตอนต้น มี 5 ขั้นตอน ซึ่งได้แก่ ตระหนักรู้ ทำแผนดำเนินงาน ดำเนินงานให้สำเร็จ ประเมินผล และ ประยุกต์ใช้ 2) ผลการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น พบว่า 2.1) นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบ 5A มีคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านอภิปัญญาหลังเรียนสูงกว่า ก่อนเรียน รวมถึงสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 50) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งด้านที่มี คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงสุด และต่ำสุด ได้แก่ ด้านการประเมินผล และด้านการวางแผน ตามลำดับ 2.2) นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบ 5A ระหว่างเรียนมีแนวโน้มพัฒนา คะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านอภิปัญญาทั้งภาพรวมและรายกลุ่มในทิศทางที่เพิ่มขึ้น 2.3) นักเรียนที่ เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบ 5A มีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน รวมถึงหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 70) อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากการวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการรู้คิด พบประเด็นข้อค้นพบที่สำคัญ ได้แก่

1) นักเรียนไทยในเมืองมีการพัฒนากระบวนการรู้คิดมากกว่านักเรียนในชนบท นอกจากนี้ ห้องเรียนในชนบทมีการอภิปรายระหว่างนักเรียนซึ่งเกี่ยวข้องกับการรู้คิดมากกว่า

ห้องเรียนในเมือง ที่สำคัญ ห้องเรียนในเมืองมีการพัฒนาอภิปรายระหว่างครูกับนักเรียนซึ่งเกี่ยวข้องกับการรู้คิดเช่นเดียวกับห้องเรียนในเขตชนบทซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง

2) องค์ประกอบในการวัดการรู้คิดในบริบทของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในต่างประเทศ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งการกำกับควบคุมการคิดประกอบด้วย การวางแผน การจัดการสารสนเทศ การกำกับควบคุม การแก้ไขข้อผิดพลาด และการประเมินผล

3) แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาการรู้คิดได้ ซึ่งได้แก่ กลยุทธ์ KWL การจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา และรูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบ 5A

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า สารสนเทศเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดด้วยรูปแบบการสอน มีเป็นจำนวนมาก ในขณะที่สารสนเทศเกี่ยวกับสภาพความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนที่เป็นปัจจุบันยังไม่พบการศึกษา รวมถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียน และกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนในประเทศไทยยังไม่พบการศึกษาเช่นกัน

## 6. กรอบแนวคิดการวิจัย

เมื่อพิจารณาแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดและความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด พบว่า

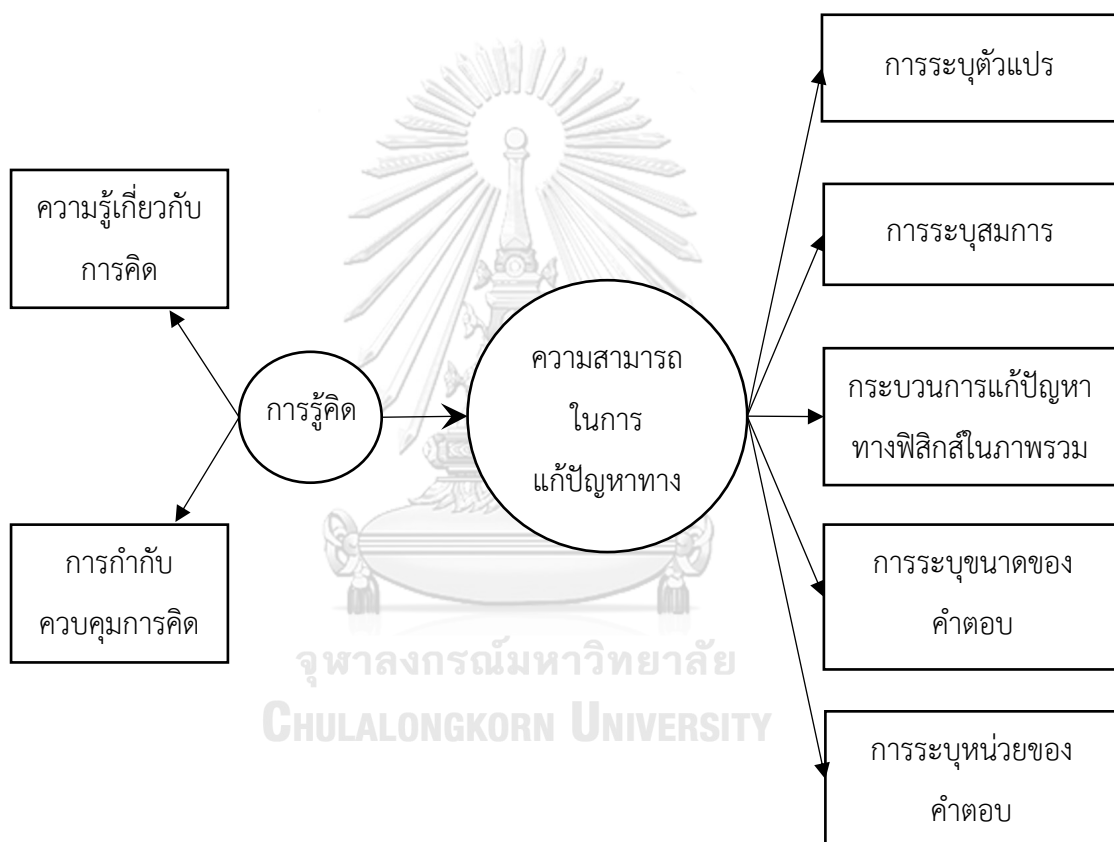
1) องค์ประกอบในการวัดการรู้คิดพิจารณาตามแนวคิดของ Taasobshirazi et al. (2015) โดยประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุม

2) องค์ประกอบการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ซึ่งดัดแปลงจากแนวคิดของ Nikat et al. (2017) โดยประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การระบุตัวแปร 2) การระบุสมการ 3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ 4) การระบุขนาดของคำตอบ และ 5) การระบุหน่วยของคำตอบ



3) การรู้คิดมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (Ali et al., 2016; Docktor, 2006; Gok, 2010; Taasobshirazi & Farley, 2013a) หรือกล่าวได้ว่า การรู้คิดมีอิทธิพลทางตรงในทิศทางบวกต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

สารสนเทศเกี่ยวกับแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดและความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดข้างต้นทำให้สามารถแสดงกรอบแนวคิดการวิจัยได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยตามประเด็นดังนี้

##### 1. รูปแบบการวิจัย

2. วิธีดำเนินการวิจัยระยะที่ 1 ดำเนินการเพื่อสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด และเพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยระยะที่ 1

2.2 เครื่องมือในการวิจัยระยะที่ 1

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1

3. วิธีดำเนินการวิจัยระยะที่ 2 ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี

3.1 คำถามวิจัยย่อยในการวิจัยระยะที่ 2

3.2 นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัยระยะที่ 2

3.3 เครื่องมือในการวิจัยระยะที่ 2

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2

##### 4. จริยธรรมในการวิจัย

##### 1. รูปแบบการวิจัย

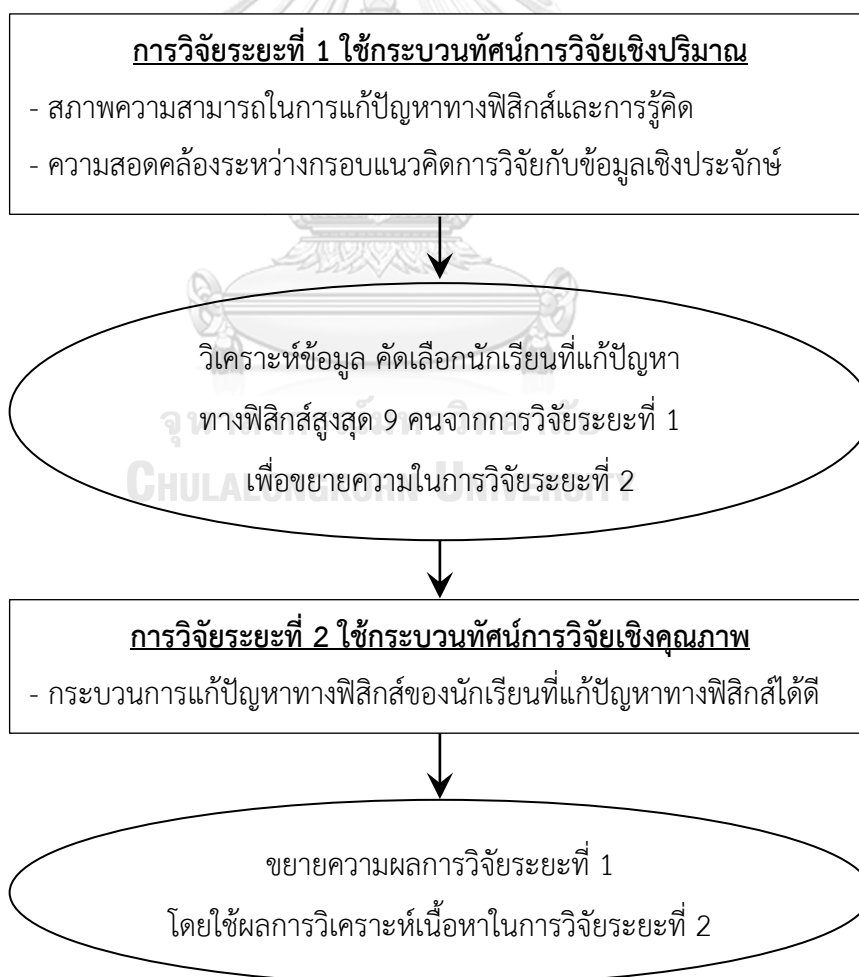
การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบผสมวิธีแผน Explanatory Sequential Design ตามแนวคิดของ Creswell & Plano Clark (2018 อ้างถึงใน จำเนียร จวงตระกูล & กัญจนวลัย นนทแก้ว แพร์รี่, 2563) ซึ่งต่อยอดมาจากแนวคิดของ Creswell & Plano Clark (2011) โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบ

การวิจัยเชิงสำรวจและโมเดลสมการโครงสร้างในการตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 และ 2 และใช้การศึกษาเชิงคุณภาพในการตอบคำถามวิจัยข้อที่ 3 โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

การวิจัยระยะที่ 1 ดำเนินการเพื่อสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด และเพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การวิจัยระยะที่ 2 ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี

ภาพรวมของวิธีการดำเนินการวิจัยในการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพรวมของวิธีดำเนินการวิจัยในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเป็นการวิจัยแบบผสมวิธี

## 2. วิธีดำเนินการวิจัยระยะที่ 1

การวิจัยระยะที่ 1 ดำเนินการเพื่อสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการรู้คิด และเพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยตามประเด็นดังนี้

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยระยะที่ 1

2.2 เครื่องมือในการวิจัยระยะที่ 1

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1

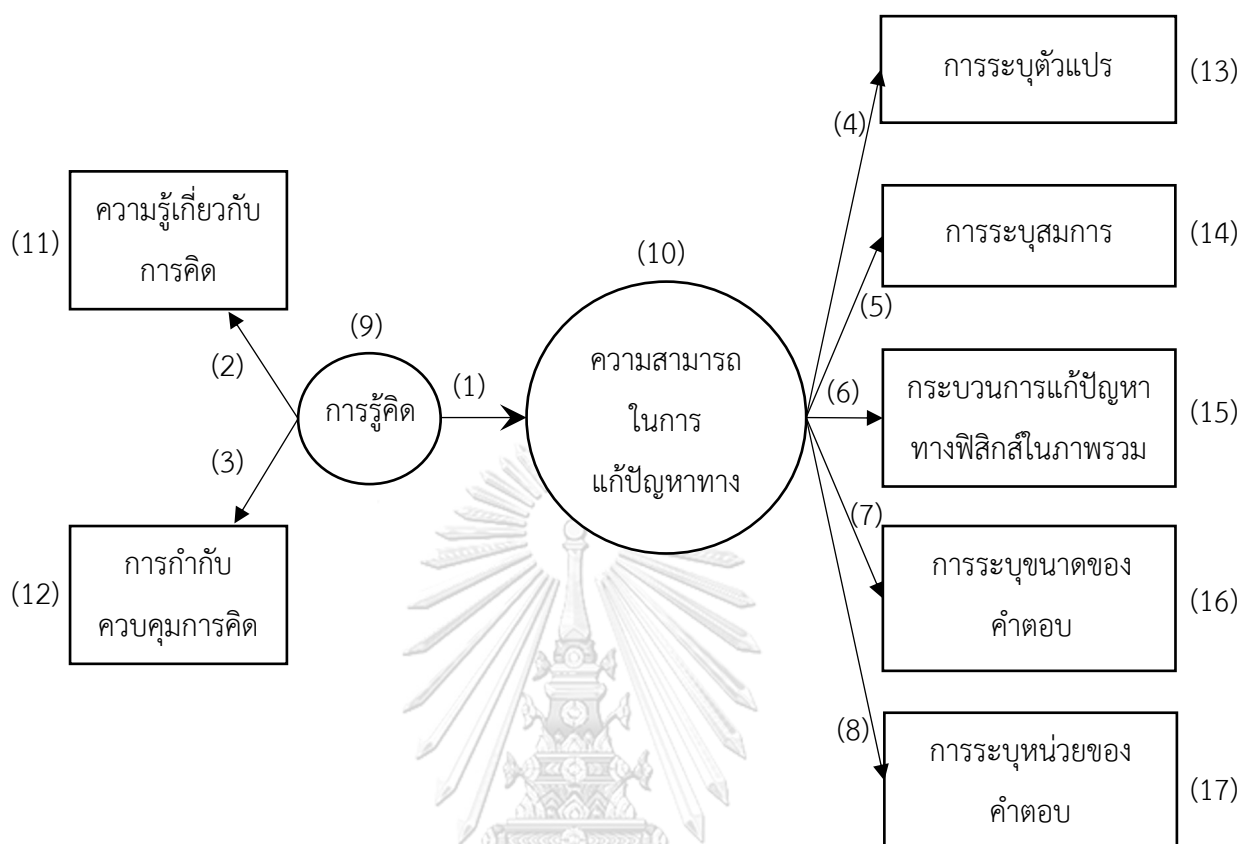
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1

### 2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยระยะที่ 1

ประชากรการวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร จำนวน 10 โรงเรียน ซึ่งมีประมาณ 4,000 คน

กลุ่มตัวอย่างการวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2563 จำนวน 187 คน เนื่องจากนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาการวิจัย เรื่อง การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง มาแล้วในปีการศึกษา 2562 ซึ่งระยะเวลาหลังการจัดการเรียนรู้หัวข้อดังกล่าวไม่ได้น้อยเกินไปเมื่อเทียบกับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ ระยะเวลาหลังการจัดการเรียนรู้หัวข้อดังกล่าวไม่ได้มากเกินไปเมื่อเทียบกับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งอาจล้มรายละเอียดของเนื้อหาสาระฟิสิกส์ที่ใช้ในการวิจัย จึงทำให้นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีความเหมาะสมและมีความเป็นตัวแทนในการเก็บรวบรวมข้อมูล ทั้งนี้ วิธีการได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นดังนี้

1) พิจารณาขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิจัย ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์อิทธิพลโดยใช้การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจึงพิจารณาตามแนวคิดของ Hair et al. (1998) ที่ระบุว่าขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างคิดเป็น 10 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่า แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 5 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่า ทั้งนี้งานวิจัยนี้จำเป็นต้องประมาณค่าพารามิเตอร์ 17 ค่า ดังรูปที่ 6 ดังนั้นขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมจึงเท่ากับ  $17 \times 10 = 170$  คน



**รูปที่ 6** พารามิเตอร์ที่ต้องประมาณค่าในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างรวม 17 ค่า

- (1) สัมประสิทธิ์อิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- (2) – (3) น้ำหนักองค์ประกอบในการวัดการรู้คิด
- (4) – (8) น้ำหนักองค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- (9) ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดการรู้คิด
- (10) ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- (11) – (12) ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดองค์ประกอบของการรู้คิด
- (13) – (17) ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนในการวัดองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

2) กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำในการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยกำหนดเป็น นักเรียนจำนวนทั้งหมด 200 คน เพื่อให้เพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูลและเพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลในภายหลัง

3) สํารวจข้อมูลนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในปีการศึกษา 2561 โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร พบว่าโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครมีจำนวน 10 โรงเรียน ซึ่งจำแนกเป็นโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐ 7 โรงเรียน และโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏ 3 โรงเรียน และจากฐานข้อมูลของโรงเรียนที่สรุปโดยศูนย์สารสนเทศอุดมศึกษา (2562) พบว่าจำนวนและร้อยละของจำนวนนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในปีการศึกษา 2561 ในแต่ละโรงเรียนเป็นดังตารางที่ 12

**ตารางที่ 12** จำนวนและร้อยละของจำนวนนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2561 จำแนกตามรายชื่อโรงเรียนและสังกัดของโรงเรียน (ศูนย์สารสนเทศอุดมศึกษา, 2562)

สังกัด	รายชื่อโรงเรียน	จำนวนนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (คน)	
		จำแนกตามโรงเรียน	จำแนกตามสังกัด
มหาวิทยาลัย ของรัฐ	1) ทรุณสิกขาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	13	
	2) สาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ฝ่ายมัธยม)	211	
	3) สาธิตนานาชาติพระจอมเกล้า	44	
	4) สาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง (ฝ่ายมัธยม)	270	1,851
	5) สาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน	324	(ร้อยละ 85)
	6) สาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)	634	
	7) สาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา	355	
มหาวิทยาลัย ราชภัฏ	1) มัธยมสาธิตวัดพระศรีมหาธาตุ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	140	347 (ร้อยละ 15)

สังกัด	รายชื่อโรงเรียน	จำนวนนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (คน)	
		จำแนกตามโรงเรียน	จำแนกตามสังกัด
	2) มัธยมสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏ บ้านสมเด็จเจ้าพระยา	111	
	3) สาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏ สวนสุนันทา	96	
	<b>รวม</b>	<b>2,198</b>	

4) กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐและจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏเป็น 120 และ 80 คนตามลำดับ เพื่อให้สอดคล้องกับสัดส่วนของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร

5) กำหนดจำนวนโรงเรียนในการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 3 โรงเรียน โดยแบ่งเป็นโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐ 2 โรงเรียน และโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏ 1 โรงเรียน เพื่อให้เหมาะสมกับสัดส่วนโรงเรียนทั้ง 2 สังกัดดังกล่าว

6) สุ่มนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2562 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐจำนวน 120 คน โดยใช้การสุ่มหลายขั้นตอน ดังนี้

6.1) สุ่มโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐมา 3 โรงเรียนจาก 7 โรงเรียน โดยใช้การสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling)

6.2) สุ่มนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2562 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐมาโรงเรียนละ 2 ห้องเรียน เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียน โรงเรียนละ 50 – 60 คน

7) สุ่มนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2562 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏจำนวน 80 คน โดยใช้การสุ่มหลายขั้นตอน ดังนี้

7.1) สุ่มโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏจำนวน 1 โรงเรียนจาก 3 โรงเรียนโดยใช้การสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster random sampling)

7.2) สุ่มนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2562 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏมา 2 ห้องเรียน เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนโรงเรียนสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏ 30 – 50 คน

จากวิธีการได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ข้างต้น เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า ในปีการศึกษา 2562 เกิดปัญหาการระบาดของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลมีความล่าช้าและไม่สามารถดำเนินการตามแผนที่กำหนดไว้ในปีการศึกษา 2562 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้จึงเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร 187 คนซึ่งมากกว่าจำนวนขั้นต่ำ 170 คน โดยจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามโรงเรียนและสังกัดของโรงเรียนเป็นดังตารางที่ 13

โรงเรียน	จำนวนกลุ่มตัวอย่างและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง	
	จำแนกตามโรงเรียน	จำแนกตามสังกัด
สังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐแห่งที่ 1	57 คน (ร้อยละ 30.48)	123 คน (ร้อยละ 65.58)
สังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐแห่งที่ 2	66 คน (ร้อยละ 35.29)	
สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏ	64 คน (ร้อยละ 32.23)	64 คน (ร้อยละ 34.22)
<b>รวม</b>	<b>187</b>	

## 2.2 เครื่องมือในการวิจัยระยะที่ 1

การวิจัยระยะที่ 1 ซึ่งดำเนินการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียน และการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้เครื่องมือในการวิจัย 2 ชุด ดังนี้

### 2.2.1 แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

### 2.2.2 แบบวัดการรู้คิด

การพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือทั้ง 2 ชุดเป็นดังนี้

### 2.2.1 แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์แบบอัตนัย ซึ่งดัดแปลงองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จากแนวคิดของ Nikat et al. (2017) เนื่องจากแนวคิดข้างต้นมีความชัดเจนในการวิเคราะห์คะแนนแยกองค์ประกอบการประเมิน รวมถึงมีการพิจารณาทั้งกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในประเด็นต่าง ๆ ที่ครอบคลุม โดยองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นดังนี้



- 1) การระบุตัวแปร
- 2) การระบุสมการ
- 3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม
- 4) การระบุขนาดของคำตอบ
- 5) การระบุหน่วยของคำตอบ

การสร้างและตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ดำเนินการดังนี้

- 1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 2) กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการสำหรับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 3) กำหนดกรอบเนื้อหาในการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งกำหนดเป็นเนื้อหารายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรง ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อหาการเคลื่อนที่แนวตรงเป็นเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียน และเป็นเนื้อหาพื้นฐานของเนื้อหาวิชาฟิสิกส์เนื้อหาอื่น ๆ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาตามหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) พบว่าหัวข้อเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ในเรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรง มี 7 หัวข้อย่อย ซึ่งได้แก่ ตำแหน่ง การกระจัดและระยะทาง อัตราเร็วและความเร็ว ความเร่ง กราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง และการตกแบบเสรี
- 4) กำหนดจำนวนปัญหาทางฟิสิกส์ 9 ปัญหา ทั้งนี้ เนื่องจากธรรมชาติของหัวข้อเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ในเรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรง แต่ละหัวข้อมีความแตกต่างกันในด้านความซับซ้อนของปัญหาทางฟิสิกส์ โดยหัวข้อเนื้อหาตำแหน่ง การกระจัดและระยะทาง อัตราเร็วและความเร็ว เป็นหัวข้อเนื้อหาพื้นฐาน ในขณะที่หัวข้อเนื้อหากราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง และการตกแบบเสรี เป็นหัวข้อเนื้อหาประยุกต์ที่มีความซับซ้อนและต้องประยุกต์ความรู้พื้นฐานจากหัวข้อเนื้อหาพื้นฐานข้างต้น การกำหนดจำนวนและน้ำหนักคะแนนของปัญหาทางฟิสิกส์จึงกำหนดให้หัวข้อเนื้อหาพื้นฐานแต่ละหัวข้อมีเฉพาะปัญหาที่ไม่ซับซ้อน 1 ปัญหา ในขณะที่หัวข้อเนื้อหาประยุกต์แต่ละหัวข้อมีทั้งปัญหาที่ไม่ซับซ้อน และปัญหาที่ซับซ้อนอย่างละ 1 ปัญหา โดยที่น้ำหนักคะแนนของปัญหาที่ซับซ้อนคิดเป็น 2 เท่าของน้ำหนักคะแนนของ

ปัญหาที่ไม่ซับซ้อน ทั้งนี้ ปัญหาที่ซับซ้อนเป็นปัญหาที่ต้องอาศัยการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตั้งแต่ 2 ขั้นตอนขึ้นไป หรือเป็นปัญหาที่มีลักษณะแตกต่างจากปัญหาทางฟิสิกส์ทั่วไปที่พบในหนังสือเรียนในแง่ของบริบทของปัญหาและตัวแปรที่ต้องการทราบค่าจากปัญหา ทำให้สรุปเป็นแผนผังการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แผนผังการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

หัวข้อเนื้อหาสาระ จากหนังสือเรียน	จำนวนปัญหาทางฟิสิกส์		น้ำหนักคะแนน	
	ไม่ซับซ้อน	ซับซ้อน	ไม่ซับซ้อน	ซับซ้อน
ตำแหน่ง การกระจัด และระยะทาง	1	–	1	–
อัตราเร็ว และความเร็ว	1	–	1	–
ความเร่ง	1	–	1	–
กราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง	1	1	1	2
สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง	1	1	1	2
การตกแบบเสรี	1	1	1	2
<b>รวม (จำแนกตามความซับซ้อน ของปัญหาทางฟิสิกส์)</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>9</b>		<b>12</b>	

5) กำหนดปัญหาทางฟิสิกส์ที่สอดคล้องกับแผนผังการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แผนผังปัญหาทางฟิสิกส์ในการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

หัวข้อเนื้อหาสาระ จากหนังสือเรียน	ปัญหาทางฟิสิกส์	
	ปัญหาที่ไม่ซับซ้อน	ปัญหาที่ซับซ้อน
ตำแหน่ง การกระจัด ระยะทาง	1. การเดินเล่นริมสระน้ำ	–
อัตราเร็ว ความเร็ว	2. การวิ่งรอบสนาม	–
ความเร่ง	3. การเบรกรถแล้วถอยรถ	–
กราฟของการเคลื่อนที่แนวตรง	4. กราฟความเร่งกับเวลา	5. กราฟความเร็วกับเวลา
สมการสำหรับการเคลื่อนที่แนวตรง	6. การเบรกรถก่อนด่านตรวจ	7. การเคลื่อนที่ทันกัน
การตกแบบเสรี	8. การทำโทรศัพท์เคลื่อนที่หล่น	9. การโยนของขึ้นในแนวตั้ง

6) กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์รายองค์ประกอบโดยดัดแปลงจากแนวคิดของ Nikat et al. (2017: 1241) เนื่องจากแนวคิดข้างต้นมีความชัดเจนในการวิเคราะห์คะแนนแยกองค์ประกอบการประเมิน รวมถึงมีการพิจารณา

ทั้งกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในประเด็นต่าง ๆ ที่ครอบคลุม ทั้งนี้ เกณฑ์การให้คะแนนรายองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังตารางที่ 16

**ตารางที่ 16** เกณฑ์การให้คะแนนรายองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (ดัดแปลงจาก Nikat et al., 2017: 1241)

องค์ประกอบ การประเมิน	1 คะแนน	0.5 คะแนน	0.25 คะแนน	0 คะแนน
1. กระบวนการ และผลลัพธ์โดย ภาพรวม (Magnitude, M)	ให้คำตอบที่ ถูกต้อง และมี ลำดับการ แก้ปัญหาที่ ถูกต้อง	ให้คำตอบถูกต้อง, มี ลำดับการแก้ปัญหา ที่ผิดพลาดในด้าน ขนาด เครื่องหมาย หรือเวกเตอร์	ให้คำตอบผิด, มีลำดับการ แก้ปัญหาที่ ถูกต้องในด้าน ขนาด เครื่องหมาย หรือเวกเตอร์	ให้คำตอบผิด, มี ลำดับการ แก้ปัญหาผิดพลาด ในด้านขนาด เครื่องหมาย หรือ เวกเตอร์
2. คำตอบ (Answer, A)	ระบุคำตอบที่ ถูกต้อง			ระบุคำตอบที่ <u>ไม่</u> ถูกต้อง
3. หน่วย (Units, U)	ระบุหน่วยของ คำตอบที่ถูกต้อง			ระบุหน่วยของ คำตอบที่ <u>ไม่</u> ถูกต้อง
4. ตัวแปร (Variable, V)	ให้รายละเอียด ตัวแปรที่ สอดคล้องกับ ปัญหา	ให้รายละเอียดตัว แปรที่สอดคล้องกับ ปัญหา แต่มีการให้ รายละเอียดตัวแปร ที่ <u>ไม่</u> ถูกต้อง		ไม่ให้รายละเอียด ตัวแปรที่สอดคล้อง กับปัญหา หรือให้ รายละเอียดตัว แปรที่สอดคล้อง กับปัญหาทั้งหมดที่ <u>ไม่</u> ถูกต้อง
5. สมการ (Equation, E)	เขียนสมการที่ ถูกต้อง และ สอดคล้องกับ ความสัมพันธ์ ของ	เขียนสมการได้ ถูกต้อง แต่มีการ เขียนสมการที่ <u>ไม่</u> เกี่ยวข้องกับคำตอบ ที่ต้องการ		<u>ไม่</u> เขียนสมการ หรือสมการทั้งหมด ที่เขียน <u>ไม่</u> ถูกต้อง หรือไม่สอดคล้อง กับความสัมพันธ์

องค์ประกอบ การประเมิน	1 คะแนน	0.5 คะแนน	0.25 คะแนน	0 คะแนน
	ตัวแปรที่			ของตัวแปรที่
	ต้องการหา			ต้องการหาคำตอบ
	คำตอบ			

7) สร้างแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามปัญหาทางฟิสิกส์ที่กำหนด ซึ่งเป็นแบบทดสอบอัตนัย และประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยใช้แนวคิดของ Nikat et al. (2017)

8) นำแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อให้อาจารย์พิจารณาความเหมาะสม ความตรงเชิงเนื้อหาของข้อคำถาม ความเหมาะสมของจำนวนข้อคำถาม รวมถึงความเหมาะสมของแบบทดสอบในแง่ของภาษาที่ใช้ รูปแบบของแบบทดสอบ คำชี้แจงของแบบทดสอบ เป็นต้น โดยตัวอย่างประเด็นการปรับแก้ไขมีดังนี้

8.1) ระบุระยะเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ

8.2) ระบุสิ่งที่ต้องการให้นักเรียนเขียนตอบให้สื่อความให้ชัดเจน

8.3) เพิ่มระยะบรรทัดให้นักเรียนสามารถเขียนตอบได้อย่างเหมาะสม

9) ปรับแก้ไขแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

10) นำแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่านซึ่งมีรายนามดังภาคผนวก ก เพื่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาความเหมาะสม ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของข้อคำถามโดยพิจารณาดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับข้อคำถาม (IOC) เพื่อพิจารณาว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมถึงความเหมาะสมของจำนวนข้อคำถาม ความเหมาะสมของแบบทดสอบในแง่ของภาษาที่ใช้ รูปแบบของแบบทดสอบ คำชี้แจงของแบบทดสอบ ทั้งนี้พบว่า ดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.67 ถึง 1.00 โดยตัวอย่างประเด็นการปรับแก้ไขมีดังนี้

10.1) ระบุส่วนที่ให้นักเรียนเขียนตอบตามองค์ประกอบการประเมินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า ตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปรสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ คำตอบและหน่วย ตามลำดับ

10.2) ระบุแผนภาพประกอบเฉลยปัญหาทางฟิสิกส์

10.3) ปรับแก้เฉลยให้มีความซ้ำซ้อนลดลง และมีความครอบคลุมมากขึ้น โดยมีการระบุขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ให้กว้างขึ้น เช่น การระบุเส้นรอบรูปด้วยวิธีการอื่น ๆ นอกจากในเฉลย เป็นต้น

10.4) ปรับแก้เฉลยในส่วนขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทุกข้อ ให้มีการแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในลักษณะที่เรียงลงมาในแนวตั้ง

10.5) แก่ความกำกวมในปัญหาทางฟิสิกส์บางปัญหา

10.6) ปรับรายละเอียดของเกณฑ์การให้คะแนน ซึ่งเป็นดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 เกณฑ์การให้คะแนนรายองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ปรับแก้ไขแล้ว (ดัดแปลงจาก Nikat et al., 2017: 1241)

คะแนน	รายละเอียด
<b>1. การระบุตัวแปร</b>	
1	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง
0.5	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>
0.25	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง
0	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>
<b>2. การระบุสมการ</b>	
1	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง
0.5	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> บางส่วน <b>ไม่ชัดเจน</b> หรือ <b>ไม่สมบูรณ์</b>
0.25	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ

คะแนน	รายละเอียด
	2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> ทั้งหมด หรือ <b>ไม่สามารถ</b> สื่อความถึงสมการที่ถูกต้องได้ หรือ <b>ไม่ครบถ้วน</b> (กรณีที่มีขั้นตอนการแก้ปัญหาทางพีลิกส์หลายขั้นตอนและต้องใช้สมการทางพีลิกส์อย่างน้อย 2 สมการหลักในการแก้ปัญหาทางพีลิกส์)
0	1) <b>ไม่ได้ระบุ</b> สมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ
<b>3. กระบวนการแก้ปัญหาทางพีลิกส์ในภาพรวม</b>	
1	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางพีลิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “เช่น” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ) 2) <b>ไม่พบ</b> ข้อผิดพลาดในการคำนวณ
0.5	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางพีลิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “เช่น” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ) 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณบางส่วน
0.25	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางพีลิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “เช่น” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ) 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณทั้งหมด
0	ลำดับการแก้ปัญหาทางพีลิกส์ <b>ไม่สามารถ</b> นำไปสู่คำตอบได้
<b>4. การระบุขนาดของคำตอบ</b>	
1	ระบุคำตอบได้ถูกต้อง
0	ระบุคำตอบที่ <b>ไม่ถูกต้อง</b>
<b>5. การระบุหน่วยของคำตอบ</b>	
1	ระบุหน่วยของคำตอบ
0	ระบุหน่วยของคำตอบที่ <b>ไม่ถูกต้อง</b>

12) นำแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางพีลิกส์ไปวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือในด้านความยาก (Difficulty) อำนาจจำแนก (Discriminant) ความเที่ยงของแบบทดสอบ (Reliability) ความเที่ยงของการให้คะแนนระหว่างผู้วิจัยกับผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 2 ท่าน (Inter-Rater Reliability) และความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย โดยนักเรียนกลุ่มข้างต้นเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ที่ผ่านการเรียนรายวิชาพีลิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรง จำนวน 45 คน เนื่องจากความสามารถใน

การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์พิจารณาว่าเป็นตัวแปรแฝง (Latent Variable) ที่ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่ต้องวัดผ่านองค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งนี้ ความตรงเชิงโครงสร้างเป็นคุณภาพของเครื่องมือในการวัดได้สอดคล้องกับตัวแปรเชิงนามธรรมที่กำหนดนิยามตัวแปรผ่านแนวคิดทฤษฎีต่าง ๆ (วรรณิ แกมเกตุ, 2555) การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างสำหรับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในครั้งนี้ ใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) ซึ่งใช้ข้อมูลการตอบแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจำนวน 45 คน โดยผลการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือแต่ละด้านเป็นดังภาคผนวก ข และสามารถสรุปได้ดังนี้

12.1) ความยากของปัญหาทางฟิสิกส์มีค่าตั้งแต่ 0.32 ถึง 0.78 ซึ่งอยู่ในระดับค่อนข้างง่ายถึงยากปานกลาง

12.2) อำนาจจำแนกของปัญหาทางฟิสิกส์มีค่าตั้งแต่ 0.16 ถึง 0.63 ซึ่งอยู่ในระดับจำแนกได้ต่ำจนถึงดีมาก

12.3) ความเที่ยงของปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคซึ่งมีค่าเป็น 0.819 ซึ่งอยู่ในระดับสูง

12.4) ความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่หนึ่ง พบว่าแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความตรงเชิงโครงสร้าง ( $\chi^2 = 0.215$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} = 0.975$ ,  $RMSEA = 0.00$ ,  $RMR = 0.038$ ,  $SRMR = 0.020$ ,  $GFI = 0.981$ ,  $AGFI = 0.907$ ,  $CFI = 1.000$ )

13) นำผลการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือด้านความยาก อำนาจจำแนก ความเที่ยง และความตรงเชิงโครงสร้าง ของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อร่วมพิจารณาประเด็นในการแก้ไขแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

14) ปรับแก้แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา โดยมีตัวอย่างประเด็นการปรับแก้ไขดังนี้

14.1) เพิ่มตารางแสดงเกณฑ์การให้คะแนนในคำชี้แจงของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

14.2) ปรับให้ปัญหาที่ 1 มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยเพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับเวลาซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

15) นำแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไปใช้จริงในการวิจัย โดยตัวอย่างแบบทดสอบและคุณภาพเครื่องมือที่ใช้จริงเป็นดังภาคผนวก ค ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

15.1) ความยากของปัญหาทางฟิสิกส์มีค่าตั้งแต่ 0.35 ถึง 0.71 ซึ่งอยู่ในระดับค่อนข้างง่ายถึงค่อนข้างยาก

15.2) อำนาจจำแนกของปัญหาทางฟิสิกส์มีค่าตั้งแต่ 0.24 ถึง 0.42 ซึ่งอยู่ในระดับจำแนกได้พอใช้ถึงจำแนกได้ดีมาก

15.3) ความเที่ยงของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีค่าเป็น 0.807 โดยอยู่ในระดับสูง

15.4) ดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater Agreement Index, RAI) มีค่าเป็น 0.85 ซึ่งสรุปได้ว่าเกณฑ์การให้คะแนนมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้

15.5) ความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่หนึ่ง พบว่าแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความตรงเชิงโครงสร้าง ( $\chi^2 = 1.982$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} = 0.576$ ,  $RMSEA = 0.000$ ,  $RMR = 0.012$ ,  $SRMR = 0.012$ ,  $GFI = 0.996$ ,  $AGFI = 0.978$ ,  $CFI = 1.000$ )

## 2.2.2 แบบวัดการรู้คิด

การรู้คิดวัดผ่านองค์ประกอบหลัก 2 องค์ประกอบ โดยใช้แบบวัดการรู้คิดแบบมาตรประมาณค่า 5 ระดับ ทั้งนี้องค์ประกอบของการรู้คิดใช้แนวคิดของ Taasobshirazi et al. (2015) เนื่องจากแนวคิดของ Taasobshirazi et al. (2015) พิจารณาการรู้คิดในบริบทของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงแนวคิดของ Taasobshirazi et al. (2015) ได้มีการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างในการวัดเบื้องต้นซึ่งยืนยันว่าองค์ประกอบของการรู้คิดดังกล่าวมีอยู่จริงในบริบทของนักศึกษาฟิสิกส์ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งองค์ประกอบของการรู้คิดเป็นดังนี้

1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด เป็นสิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับความคิดซึ่งประกอบด้วยความรู้ที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ซึ่งได้แก่



1.1) ความรู้เชิงประกาศ เป็นความรู้ของบุคคลเกี่ยวกับตนเองในฐานะผู้เรียนรู้หรือผู้แก้ปัญหา

1.2) ความรู้เชิงกระบวนการ เป็นความรู้เกี่ยวกับวิธีการในการทำภารกิจหรือกิจกรรมหนึ่ง ๆ

1.3) ความรู้เชิงเงื่อนไข เป็นความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์และเงื่อนไขเวลาที่เหมาะสมในการใช้ความรู้เชิงประกาศและความรู้เชิงกระบวนการหนึ่ง ๆ

2) การกำกับความคิด เป็นการลงมือปฏิบัติที่ช่วยกำกับหรือควบคุมการเรียนรู้และการแก้ปัญหา ซึ่งมีองค์ประกอบย่อย 5 องค์ประกอบ ได้แก่

2.1) การวางแผน เป็นการตั้งเป้าหมายและออกแบบวิธีการดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายก่อนทำภาระงานหนึ่ง ๆ

2.2) การจัดการสารสนเทศ เป็นกลยุทธ์ที่เฉพาะที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3) การกำกับควบคุม เป็นการประเมินอย่างสม่ำเสมอเกี่ยวกับเป้าหมายงาน และการปฏิบัติงานของบุคคลหนึ่ง ๆ

2.4) การแก้ไขข้อผิดพลาด เป็นกลยุทธ์ที่ใช้แก้ไขการเรียนรู้และการแก้ไขปัญหาให้ถูกต้อง

2.5) การประเมินผล เป็นการตัดสินภาระงานของบุคคลหนึ่ง ๆ ภายหลังจากการทำภาระงานเสร็จสิ้นแล้ว

การสร้างและตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดการรู้คิดดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรู้คิด
- 2) กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการสำหรับการรู้คิด
- 3) สร้างแผนผังการสร้างแบบวัดการรู้คิด ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 18

**ตารางที่ 18** แผนผังการสร้างแบบวัดการรู้คิด

องค์ประกอบ	พฤติกรรมบ่งชี้	จำนวนข้อคำถาม
<b>1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Knowledge of Cognition)</b>		
1.1) ความรู้เชิงประกาศ	1) ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับภาระงาน 2) ระบุความสามารถของตนเองในการปฏิบัติงาน	4

องค์ประกอบ	พฤติกรรมบ่งชี้	จำนวนข้อ คำถาม
1.2) ความรู้เชิง กระบวนการ	1) ระบุวิธีการในการใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน	2
1.3) ความรู้เชิง เจือใจ	1) ระบุเจือใจและสถานการณ์ในการใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ในการ ปฏิบัติงาน	2
<b>2) การกำกับควบคุมการคิด (Regulation of Cognition)</b>		
2.1) การวางแผน	1) ระบุเป้าหมายในการทำงาน 2) ระบุแผนการทำงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายการทำงาน	4
2.2) การจัดการ สารสนเทศ	1) ใช้กลยุทธ์ที่เฉพาะเจาะจงในการจัดการกับสารสนเทศ	2
2.3) การกำกับควบคุม	1) ตรวจสอบหรือประเมินเป้าหมาย/วิธีการทำงานระหว่าง ทำงาน	2
2.4) การแก้ไข ข้อผิดพลาด	1) ใช้กลยุทธ์ในการแก้ไขข้อผิดพลาดระหว่างการทำงาน	2
2.5) การประเมินผล	1) ตรวจสอบผลการทำงานภายหลังการทำงาน	2
<b>รวม</b>		<b>20</b>

4) สร้างแบบวัดการรู้คิดในลักษณะแบบประเมินจากการรับรู้ของผู้ตอบแบบวัด โดยสร้างข้อคำถามในการวัดการรู้คิดตามแผนผังการสร้างแบบวัดการรู้คิด ซึ่งแบ่งเป็น 3 ตอน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบ (2) ข้อคำถามในการวัดความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด จำนวน 8 ข้อ และ (3) ข้อคำถามในการวัดการกำกับควบคุมการรู้คิด จำนวน 12 ข้อ ทั้งนี้ แบบวัดการรู้คิดที่สร้างขึ้น ดัดแปลงจากแบบวัดการรู้คิดทางฟิสิกส์ของ Taasobshirazi et al. (2015)

5) นำแผนผังการสร้างแบบวัดการรู้คิด และแบบวัดการรู้คิด เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อให้อาจารย์พิจารณาความเหมาะสม ความตรงเชิงเนื้อหาของข้อคำถาม รวมถึงความเหมาะสมของแบบวัดในแง่ของภาษาที่ใช้ รูปแบบของแบบวัด คำชี้แจงของแบบวัด เป็นต้น

6) ปรับแก้ไขแบบวัดการรู้คิดตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา โดยตัวอย่างประเด็นการแก้ไขมีดังนี้

6.1) ระบุคำชี้แจงเพิ่มว่า ในระหว่างตอบแบบวัด ให้นักเรียนนึกถึงกระบวนการคิดของตนเองที่ใช้ในระหว่างทำแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

หรือกระบวนการคิดของตนเองที่ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในห้องเรียนในหัวข้อการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง

6.2) ระบุคำชี้แจงในการตอบข้อคำถามว่า ให้นักเรียนตอบตามความเป็นจริงที่ตรงกับนักเรียนมากที่สุด

7) นำแผนผังการสร้างแบบวัด และแบบวัดการรู้คิด เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ซึ่งมีรายชื่อดังภาคผนวก ก เพื่อให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาความเหมาะสม และความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของข้อคำถาม โดยพิจารณาดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับข้อคำถาม (IOC) เพื่อพิจารณาว่าข้อคำถามวัดได้สอดคล้องกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของการรู้คิดหรือไม่ รวมถึงความเหมาะสมของแบบวัดในแง่ของภาษาที่ใช้ รูปแบบของแบบวัด คำชี้แจงของแบบวัด เป็นต้น ทั้งนี้พบว่า ดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับคำถามมีค่าตั้งแต่ 0.67 ถึง 1.00

8) นำผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาด้วยดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) และคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิไปปรับแก้แผนผังการสร้างแบบวัด และแบบวัดการรู้คิด โดยตัวอย่างประเด็นการแก้ไขมีดังนี้

8.1) การแก้ไขความกำกวมของข้อคำถาม

8.2) การยกตัวอย่างพฤติกรรมบางประการที่สะท้อนถึงการรู้คิดเพื่อให้ข้อคำถามมีความชัดเจนมากขึ้น

9) นำแบบวัดการรู้คิดไปวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือในด้านความเที่ยงแบบความสอดคล้องภายใน (Internal Consistency) โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) และความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) ในการวัดการรู้คิด กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย โดยนักเรียนกลุ่มข้างต้นเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่ผ่านการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรงแล้วจำนวน 45 คน ซึ่งความตรงเชิงโครงสร้างเป็นคุณภาพของเครื่องมือในการวัดได้สอดคล้องกับตัวแปรเชิงนามธรรมที่กำหนดนิยามตัวแปรผ่านแนวคิดทฤษฎีต่าง ๆ (วรรรณี แกมเกตุ, 2555) ทั้งนี้การตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างในการวัดการรู้คิดใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

(Confirmatory Factor Analysis: CFA) ซึ่งใช้ข้อมูลการตอบแบบวัดการรู้คิดของนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจำนวน 45 คน โดยผลการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือเป็นดังภาคผนวก ง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

9.1) ความเที่ยงของแบบวัดซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคซึ่งมีค่าเป็น 0.832 ซึ่งอยู่ในระดับสูง

9.2) ความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการรู้คิดซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่หนึ่ง พบว่าแบบวัดการรู้คิดมีความตรงเชิงโครงสร้าง ( $\chi^2 = 0.009$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.924$ ,  $RMSEA = 0.000$ ,  $RMR = 0.005$ ,  $SRMR = 0.005$ ,  $GFI = 0.990$ ,  $AGFI = 0.970$ ,  $CFI = 1.000$ )

10) นำผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือด้านความเที่ยง และความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการรู้คิดเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาประเด็นการแก้ไข

11) ปรับแก้แบบวัดตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา โดยมีประเด็นการแก้ไขดังนี้

11.1) นำข้อคำถามข้อที่ 14 ออกจากการวิจัยเนื่องจากทำให้ความเที่ยงของแบบวัดสูงขึ้น โดยการนำข้อคำถามออกไม่ส่งผลกระทบต่อความครอบคลุมของข้อคำถามในการวัดองค์ประกอบต่าง ๆ ในการวิจัย

11.2) สลับเลขข้อคำถามข้อที่ 3 และ 4 ซึ่งเดิมพิมพ์สลับกัน

12) นำแบบวัดการรู้คิดไปใช้จริงในการวิจัย โดยคุณภาพเครื่องมือที่ใช้จริงเป็นดังภาคผนวก จ และสรุปได้ดังนี้

12.1) ความเที่ยงของแบบวัดซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคซึ่งมีค่าเป็น 0.745 ซึ่งอยู่ในระดับสูง

12.2) ความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการรู้คิดซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับที่หนึ่ง พบว่าแบบวัดการรู้คิดมีความตรงเชิงโครงสร้าง ( $\chi^2 = 0.516$ ,  $df = 1$ ,  $p\text{-value} = 0.472$ ,  $RMSEA = 0.000$ ,  $RMR = 0.019$ ,  $SRMR = 0.019$ ,  $GFI = 0.997$ ,  $AGFI = 0.992$ ,  $CFI = 1.000$ )

### 2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1 ดำเนินการดังนี้

1) การดำเนินการก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1.1) พัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือในการวิจัยระยะที่ 1
- 1.2) ดำเนินการสุ่มตัวอย่างการวิจัย ติดต่อขออนุญาต และนัดหมายโรงเรียน
- 1.3) ขออนุญาตกลุ่มตัวอย่างการวิจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 2) การดำเนินการระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล
  - 2.1) ดำเนินการจัดสอบนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างการวิจัย โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ภายในเวลา 60 นาที
  - 2.2) หลังจากจัดสอบ ให้นักเรียนทำแบบวัดการรู้คิด ภายในเวลา 30 นาที
- 3) การดำเนินการหลังการเก็บรวบรวมข้อมูล
  - 3.1) วิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัยระยะที่ 1 เพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 และ 2

#### 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1 ดำเนินการดังนี้

- 1) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 ใช้ข้อมูลการรู้คิดจากแบบวัดการรู้คิด และใช้ข้อมูลความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยใช้สถิติบรรยาย ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทั้งนี้ กำหนดระดับของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด โดยใช้เกณฑ์ดังตารางที่ 19 และ 20 ตามลำดับ

**ตารางที่ 19** เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (ดัดแปลงจาก Nikat et al., 2017)

ช่วงคะแนน (ร้อยละ)	ระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
69.5 – 100	ดี
39.5 – 69.4	ปานกลาง
0 – 39.4	ควรปรับปรุง

**ตารางที่ 20** เกณฑ์การกำหนดระดับการรู้คิด (ดัดแปลงจาก Memnun & Hart, 2012; Oz, 2016)

ช่วงคะแนน (ร้อยละ)	ระดับการรู้คิด
74.5 – 100	สูงมาก
49.5 – 74.4	สูง
24.5 – 49.4	ต่ำ
0 – 24.5	ต่ำมาก

2) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2 โดยใช้การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างโดยที่

2.1) ขั้นตอนตอนการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างดัดแปลงจากแนวคิดของ ยุทธ ไภยวรรณ (2557) และสุภมาส อังศุโชติ และคณะ (2552) ซึ่งเป็นดังนี้

2.1.1) ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น เนื่องจากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างในการวิจัยนี้มีการวิเคราะห์องค์ประกอบเป็นส่วนหนึ่ง จึงทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ในการวิจัยโดยใช้สถิติทดสอบ KMO และ Bartlett's Test of Sphericity

2.1.2) ระบุข้อมูลเฉพาะของกรอบแนวคิดการวิจัยการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

2.1.3) ระบุความเป็นไปได้ค่าเดียวของกรอบแนวคิดการวิจัย

2.1.4) ประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ

2.1.5) ตรวจสอบความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยพิจารณาจากค่า p-value สำหรับสถิติทดสอบไคสแควร์ รวมถึงดัชนีความสอดคล้องต่าง ๆ ได้แก่  $\chi^2/df$ , RMSEA, RMR, SRMR, GFI, AGFI และ CFI ทั้งนี้ เกณฑ์สำหรับดัชนีความสอดคล้องต่าง ๆ เป็นดังตารางที่ 11

2.1.5) เมื่อกรอบแนวคิดการวิจัยไม่สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทำการปรับกรอบแนวคิดการวิจัยโดยกำหนดให้ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนขององค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดสัมพันธ์กัน

2.2) สารสนเทศที่ได้จากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเป็นดังนี้

2.2.1) ความสอดคล้องกลมกลืนระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์

2.2.2) สารสนเทศจากการวิเคราะห์อิทธิพล ได้แก่ ขนาดอิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงผลการทดสอบนัยสำคัญของขนาดอิทธิพล และสัมประสิทธิ์การทำนาย

2.2.3) น้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสำหรับองค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด รวมถึงผลการทดสอบนัยสำคัญของ

นำหน้าองค์ประกอบมาตรฐาน และร้อยละความผันแปรร่วมขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด

### 3. วิธีดำเนินการวิจัยระยะที่ 2

การวิจัยระยะที่ 2 ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยตามประเด็นดังนี้

- 3.1 คำถามวิจัยย่อยในการวิจัยระยะที่ 2
- 3.2 นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัยระยะที่ 2
- 3.3 เครื่องมือในการวิจัยระยะที่ 2
- 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2

#### 3.1 คำถามวิจัยย่อยในการวิจัยระยะที่ 2

การวิจัยระยะที่ 2 ดำเนินการเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 3 ที่ว่า นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีจะมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างไร คำถามวิจัยข้างต้นนำไปสู่การกำหนดคำถามวิจัยย่อยในการวิจัยระยะที่ 2 ดังนี้

- 1) นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นอย่างไร
- 2) นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีใช้การรู้คิดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์หรือไม่ ถ้านักเรียนใช้การรู้คิดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ นักเรียนจะใช้การรู้คิดอย่างไร และถ้านักเรียนไม่ได้ใช้การรู้คิดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ นักเรียนจะแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างไร
- 3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีที่มาจากอะไร

#### 3.2 นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัยระยะที่ 2

นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัยระยะที่ 2 เป็นนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยระยะที่ 1 จำนวน 9 คน และเป็นตัวแทนนักเรียนที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบกรณีโดดเด่น โดยมีเกณฑ์การเลือกแบบกรณีโดดเด่นคือ นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญเป็นนักเรียนที่มีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงสุด 3 ลำดับแรก

จากแต่ละโรงเรียน จำนวน 3 โรงเรียน ซึ่งจะทำให้ได้แนวทางของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่เป็นประโยชน์ต่อนักเรียนทั่วไป

### 3.3 เครื่องมือในการวิจัยระยะที่ 2

การวิจัยระยะที่ 2 ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนได้ดี ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้เครื่องมือในการวิจัย 2 ชุด ดังนี้

3.3.1 แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งใช้เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน

3.3.2 ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งใช้เก็บรวบรวมข้อมูลที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน และใช้ยืนยันหรือขยายความกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน

#### **3.3.1 แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์**

แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ประกอบด้วยแบบบันทึกสำหรับนักเรียนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญพูดทุกสิ่งที่เกิดขึ้นในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ไม่ว่าจะเป็นการอ่าน ความรู้สึก ความคิด การแทนค่า และสิ่งอื่น ๆ ได้อย่างอิสระ และแบบบันทึกสำหรับผู้วิจัยในการบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ทั้งนี้ ระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญพิจารณาและดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียน ซึ่งเป็นปัญหาทางฟิสิกส์เดียวกันกับปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยระยะที่ 1 แต่มีการปรับเปลี่ยนตัวเลขในปัญหาทางฟิสิกส์เพื่อให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญทำการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซ้ำโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของตนเองอย่างเป็นธรรมชาติและไม่ข้ามขั้นตอนการคิด ทั้งนี้ นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญทำการพูดสิ่งที่ตนเองคิดออกมาในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และผู้วิจัยทำการบันทึกวิธีทัศน์และบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญที่เกิดขึ้นในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ลงในแบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับผู้วิจัยเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การสร้างและตรวจสอบคุณภาพแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ดำเนินการดังนี้



1) กำหนดประเด็นที่ให้นักเรียนคิดออกเสียง ซึ่งประกอบด้วยคำชี้แจงและปัญหาทางฟิสิกส์จากการวิจัยระยะที่ 1 พร้อมกับกำหนดประเด็นการบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัย โดยประเด็นการบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัยมีดังนี้

1.1) ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ชื่อนักเรียน โรงเรียน วันที่บันทึก เวลาเริ่มบันทึก และเวลาสิ้นสุดการบันทึก

1.2) พฤติกรรมที่นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญแสดงออกมาระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 9 ปัญหา และสิ่งที่นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญพูดออกมาระหว่างการคิดออกเสียง

1.3) รายละเอียดเพิ่มเติมสำหรับการบันทึกพฤติกรรมที่นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญแสดงออกมาและสิ่งที่นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญพูดออกมาระหว่างการคิดออกเสียงที่นอกเหนือจากการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 9 ปัญหา

2) นำแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อให้อาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณาความเหมาะสมในด้านความตรงเชิงเนื้อหา และด้านภาษาในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3) ปรับแก้แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

4) ฝึกใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างการวิจัยในการวิจัยระยะที่ 1 แต่ไม่ได้เป็นนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัยระยะที่ 2 จำนวน 1 คน ภายใต้การกำกับของอาจารย์ที่ปรึกษา

5) ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ จากนั้นปรับแก้แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา โดยประเด็นการแก้ไขมีดังนี้

5.1) ปรับแก้แบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับนักเรียนให้สอดคล้องกับตามแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

5.2) ระบุคำชี้แจงเกี่ยวกับวิธีการคิดออกเสียงว่า “ระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ขอให้นักเรียนพูดทุกสิ่งที่เกิดขึ้นในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ไม่ว่าจะเป็นการอ่าน ความรู้สึก ความคิด การแทนค่า และสิ่งอื่น ๆ ได้อย่างอิสระ”

6) ทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงกับนักเรียนที่ไม่ใช่ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จำนวน 1 คน โดยแบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับนักเรียนฉบับทดลองใช้ ฉบับจริง และผลการทดลองใช้ เป็นดังภาคผนวก ฉ และ ช และแบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับผู้วิจัยและผลการทดลองใช้ เป็นดังภาคผนวก ซ และ ฅ

### 3.3.2 ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นเครื่องมือสำหรับผู้วิจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีการสร้างและตรวจสอบคุณภาพประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ดังนี้

1) กำหนดประเด็นคำถามสำคัญในการสร้างสัมภาษณ์ ดังนี้

- 1.1) การเริ่มสนทนาเพื่อสร้างความคุ้นเคย
- 1.2) การให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญทบทวนสิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 1.3) การตั้งคำถามเชิงลึกเกี่ยวกับกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ซึ่งประเด็นคำถามจะขึ้นอยู่กับสิ่งที่นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญตอบ
- 1.4) การให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญระบุที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

2) นำประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อให้อาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา และความเหมาะสมของภาษาในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3) ปรับแก้ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา ดังนี้

- 3.1) เพิ่มคำถามเกี่ยวกับการเริ่มสนทนาเพื่อสร้างความคุ้นเคย
- 3.2) เพิ่มตัวอย่างคำถามสัมภาษณ์เกี่ยวกับการเริ่มสนทนาเพื่อสร้างความคุ้นเคย เช่น จากโจทย์ที่นักเรียนแก้ไปเมื่อสักครู่ นักเรียนเป็นอย่างไบบ้าง รู้สึกอย่างไร

4) ฝึกใช้ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างการวิจัยในการวิจัยระยะที่ 1 แต่ไม่ได้เป็นนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัยระยะที่ 2 จำนวน 1 คน ภายใต้การกำกับของอาจารย์ที่ปรึกษา

5) ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ จากนั้นปรับแก้ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา โดยมีประเด็นการปรับแก้ดังนี้

5.1) ระบุการพูดชี้แจงวัตถุประสงค์ของการเก็บรวบรวมข้อมูลให้นักเรียนทราบก่อนเริ่มเก็บข้อมูลว่า “เนื่องจากนักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีเลย จึงอยากทราบว่านักเรียนกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับคนอื่น ๆ สามารถตอบได้เต็มที่ตามอิสระเลยนะครับ”

5.2) ระบุตัวอย่างคำถามเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการรู้คิดเพิ่มเติมว่า “เมื่อเห็นโจทย์แล้ว นักเรียนคิดว่าอะไรบ้างที่จะเป็นข้อได้เปรียบที่ทำให้นักเรียนแก้ปัญหาฟิสิกส์ได้ และอะไรบ้างที่จะเป็นอุปสรรคในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน” และ “เมื่อครู นักเรียนมีการกระทำ ... เล่าให้ฟังหน่อยว่าเพราะอะไรจึงทำเช่นนั้น”

6) ทดลองใช้ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับนักเรียนที่ไม่ใช่ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จำนวน 1 คน โดยประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และผลการทดลองใช้ เป็นดังภาคผนวก ญ และ ฎ ตามลำดับ

### 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2 ดำเนินการดังนี้

1) การดำเนินการก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1.1) พัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการวิจัย
- 1.2) เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1
- 1.3) ดำเนินการเลือกนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัยจากการวิจัยระยะที่ 1 โดยเลือกนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้สูงสุด 3 ลำดับแรกจากโรงเรียน 3 โรงเรียน รวมเป็น 9 คน
- 1.4) ขออนุญาตนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการเก็บรวบรวมข้อมูล

## 2) การดำเนินการระหว่างการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1) ชี้แจงรายละเอียดการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย การให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญแก้ปัญหาทางฟิสิกส์พร้อมกับการคิดออกเสียง และการสัมภาษณ์ ภายหลังจากแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการคิดออกเสียง

2.2) แสดงตัวอย่างการคิดออกเสียงให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จากนั้นให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญฝึกคิดออกเสียงโดยทำการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จากปัญหาที่ไม่ได้อยู่ในรูปแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

2.3) ให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญทำแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนภายในเวลา 90 นาที โดยขอให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญพูดสิ่งที่ตนเองคิดออกมาในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ผู้วิจัยทำการบันทึกวิดีโอทัศนและจดบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ลงในแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัย

2.4) หลังจากให้นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญทำแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียน ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์นักเรียนเกี่ยวกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ผู้วิจัยบันทึกเสียงของนักเรียนและจดบันทึกใจความสำคัญของบทสนทนา

## 3) การดำเนินการหลังการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 3

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2 ใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) ตามแนวคิดของ นิศา ชูโต (2545 อ้างถึงในวรรณิ แกมเกตุ, 2555) ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมสำคัญ 3 กิจกรรม ได้แก่ 1) การลดทอนข้อมูล 2) การแสดงข้อมูล 3) และการสร้างข้อสรุปและยืนยันผล เพื่อตอบคำถามวิจัยทั้ง 3 ข้อ ซึ่งดำเนินการดังนี้

1) การวิเคราะห์เนื้อหาในการตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 ที่ว่า “นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้มีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นอย่างไร” ใช้ข้อมูลจากแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนและผู้วิจัย รวมถึงผลการสัมภาษณ์ โดยพิจารณาพฤติกรรมคำพูด ลำดับการเขียน รวมถึงคำสนทนาจากการสัมภาษณ์ที่บ่งบอกถึงกระบวนการหรือขั้นตอนที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (เช่น การเริ่มแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยพิจารณาแบบทดสอบ

รวมทั้งฉบับ การเริ่มแก้ปัญหาทงฟิสิกส์โดยอ่านปัญหาทงฟิสิกส์ปัญหาหนึ่ง ๆ ในภาพรวม การเริ่มแก้ปัญหาทงฟิสิกส์โดยเขียนสัญลักษณ์แทนปริมาณที่สำคัญ การเริ่มแก้ปัญหาทงฟิสิกส์โดยเขียนลำดับการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ไว้ก่อน ลำดับของการเขียนตัวแปรที่เกี่ยวข้องรวมถึงสมการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทงฟิสิกส์และการแทนค่า จำนวนสมการนักเรียนเขียนเพื่อใช้แก้ปัญหาทงฟิสิกส์ ลำดับการแทนค่าหรือลำดับการคำนวณตัวเลข การตรวจสอบคำตอบโดยการพูดหรือการเขียน ประเด็นการตรวจสอบคำตอบเช่นหน่วยหรือความถูกต้องของตัวเลขหรือความถูกต้องของขั้นตอนแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ เป็นต้น) ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอเป็นข้อความเชิงบรรยายที่แสดงถึงกระบวนการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ของนักเรียนทั้ง 9 คนในภาพรวม

2) การวิเคราะห์เนื้อหาในการตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2 ที่ว่า “นักเรียนที่แก้ปัญหาทงฟิสิกส์ได้ดีใช้การรู้คิดในการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์หรือไม่ ถ้านักเรียนใช้การรู้คิดในการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ นักเรียนจะใช้การรู้คิดอย่างไร และถ้านักเรียนไม่ได้ใช้การรู้คิดในการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ นักเรียนจะแก้ปัญหาทงฟิสิกส์อย่างไร” ใช้ข้อมูลจากแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์สำหรับนักเรียนและผู้วิจัย รวมถึงผลการสัมภาษณ์ โดยพิจารณาพฤติกรรม คำพูด ลำดับการเขียน รวมถึงคำสนทนาจากการสัมภาษณ์ที่บ่งบอกถึงการรู้คิดที่ปรากฏในระหว่างการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ (เช่น การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญ การพูดคำเดิมหรือประโยคเดิมซ้ำ ๆ การทดตัวเลขหรือลำดับการคิดในการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ การใช้คำถามเกี่ยวกับการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์กับตนเอง การพูดถึงเทคนิคที่ต้องใช้ในการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ การเขียนแผนภาพประกอบการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ การตรวจทานคำตอบด้วยการทวนซ้ำขั้นตอนในการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์หรือการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบ เป็นต้น) ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอเป็นข้อความเชิงบรรยายที่แสดงถึงลักษณะของการรู้คิดที่นักเรียนทั้ง 9 คนใช้แก้ปัญหาทงฟิสิกส์ในภาพรวม

3) การวิเคราะห์เนื้อหาในการตอบคำถามวิจัยข้อที่ 3 ที่ว่า “กระบวนการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ที่นักเรียนที่แก้ปัญหาทงฟิสิกส์ได้ดีใช้ในการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์มีที่มาจากอะไร” ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ โดยพิจารณาถึงคำสนทนาที่เกี่ยวข้องกับที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ (เช่น กระบวนการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์มีที่มาจากครู หนังสือแบบเรียน หรือมีที่มาจากการสร้างขึ้นเอง) ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์นำเสนอเป็นข้อความเชิงบรรยายเกี่ยวกับที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ของนักเรียนทั้ง 9 คนในภาพรวม

ภายหลังการวิเคราะห์ข้อมูลจากการคิดออกเสียงเกี่ยวกับกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน ซึ่งตอบคำถามวิจัยย่อยในคำถามวิจัยที่ 1 และ 2 แล้ว จะพิจารณาข้อมูลจากการสัมภาษณ์ประกอบเพื่อยืนยันหรือขยายความข้อมูลจากการคิดออกเสียง

ภายหลังการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 2 จะเชื่อมโยง (Connect) ผลการวิจัยระยะที่ 1 เข้ากับผลการวิจัยระยะที่ 2 โดยทำการวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์รวมถึงการรู้คิดที่ปรากฏในกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีจากการวิจัยระยะที่ 2 ร่วมกับผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจากการวิจัยระยะที่ 1

#### 4. วิธีพินิจสิทธิ์

ผู้วิจัยชี้แจงจุดมุ่งหมาย และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย รวมถึงสิทธิ์ของนักเรียนแก่ผู้ปกครองและนักเรียนเกี่ยวกับการวิจัย และขอความยินยอมผู้ปกครองและนักเรียนในการดำเนินการวิจัย ตามประเด็นต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยจะดำเนินการทำลายข้อมูลที่ได้จากการทำแบบทดสอบ และแบบวัดตลอดจนข้อมูลอื่น ๆ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับนักเรียนภายหลังเสร็จสิ้นการวิจัยเป็นเวลา 6 เดือน โดยทำการลบข้อมูลที่เกี่ยวข้องและทำลายเอกสารฉบับจริงที่เกี่ยวข้อง

2. เมื่อนักเรียนรู้สึกอึดอัด หรือรู้สึกไม่สบายใจในการตอบคำถามต่าง ๆ ในการวิจัย นักเรียนมีสิทธิ์ที่จะไม่ตอบคำถามเหล่านั้นได้ รวมถึงนักเรียนมีสิทธิ์ถอนตัวออกจากโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และการไม่เข้าร่วมวิจัยหรือถอนตัวออกจากโครงการวิจัยในครั้งนี้จะไม่มีผลกระทบต่อนักเรียนแต่อย่างใด

3. ข้อมูลส่วนตัวของนักเรียนจะถูกเก็บรักษาไว้ ไม่เปิดเผยต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล แต่จะรายงานผลการวิจัยเป็นภาพรวม ผู้ที่มีสิทธิ์เข้าถึงข้อมูลของนักเรียนจะมีเฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ และคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนเท่านั้น

4. การวิจัยครั้งนี้ นักเรียนจะไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ และผู้วิจัยขอมอบปากกาจำนวน 1 ด้ามแก่นักเรียนในการวิจัยระยะที่ 1 และขอมอบปากกาจำนวน 2 ด้ามแก่นักเรียนในการวิจัยที่ 2 เพื่อแสดงความขอบคุณที่นักเรียนเสียสละเวลาให้ข้อมูลวิจัย รวมถึงการชดเชยการเดินทางในการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากการสังเกต การคิดออกเสียง และการสัมภาษณ์

ทั้งนี้ การวิจัยครั้งนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน  
กลุ่มสถาบันชุดที่ 2 สังคมศึกษา มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์ โดยมีเลขที่โครงการ 152/62  
และได้รับการรับรองในวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2563



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การวิจัย เรื่อง การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร นำเสนอวิธีดำเนินการวิจัยตามประเด็นดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี

#### ตอนที่ 1 ผลการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียน

ผลการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนนำเสนอเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียน ซึ่งเป็นดังนี้

##### 1. ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน

จากการสำรวจนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 187 คนจากโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาจำนวน 3 โรงเรียน โดยใช้แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อยู่ในระดับปานกลาง โดยคะแนนเฉลี่ยร้อยละ ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และระดับของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในภาพรวมและรายองค์ประกอบนำเสนอได้ดังตารางที่ 21

**ตารางที่ 21** คะแนนเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบ (n = 187)

องค์ประกอบการประเมิน	$\bar{X}$	SD	ระดับ
ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม	49.12	19.35	ปานกลาง
1. การระบุตัวแปร	57.58	18.55	ปานกลาง
2. การระบุสมการ	42.07	21.29	ปานกลาง
3. กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม	39.22	22.89	ควรปรับปรุง
4. การระบุขนาดของคำตอบ	33.99	22.83	ควรปรับปรุง
5. การระบุหน่วยของคำตอบ	67.26	27.27	ปานกลาง



จากตารางที่ 21 พบว่า คะแนนเฉลี่ยร้อยละของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวมของนักเรียนอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเป็น 49.12 ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในรายองค์ประกอบ พบว่าคะแนนเฉลี่ยร้อยละของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนรายองค์ประกอบอยู่ในระดับปานกลางและควรปรับปรุง โดยองค์ประกอบที่นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงสุด คือ องค์ประกอบที่ 5 การระบุหน่วยของคำตอบ ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเป็น 67.26 และองค์ประกอบที่นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อยู่ในระดับปรับปรุง ได้แก่ องค์ประกอบที่ 3 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม และองค์ประกอบที่ 4 การระบุขนาดของคำตอบ ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเป็น 39.22 และ 33.99 ตามลำดับ

## 2. การรู้คิดของนักเรียน

จากการสำรวจนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 187 คนจากโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาจำนวน 3 โรงเรียน โดยใช้แบบวัดการรู้คิด พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดอยู่ในระดับสูง โดยคะแนนเฉลี่ยร้อยละ ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และระดับของการรู้คิดของนักเรียนในภาพรวมและรายองค์ประกอบนำเสนอได้ดังตารางที่ 22

**ตารางที่ 22** คะแนนเฉลี่ยร้อยละ ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และระดับการรู้คิดทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบ ( $n = 187$ )

องค์ประกอบ	$\bar{X}$	SD	ระดับ
<b>การรู้คิดในภาพรวม</b>	<b>68.32</b>	<b>8.54</b>	<b>สูง</b>
<b>1. ความรู้เกี่ยวกับการคิด</b>	<b>65.55</b>	<b>10.45</b>	<b>สูง</b>
1.1 ความรู้เชิงประกาศ	66.31	11.42	สูง
1.2 ความรู้เชิงกระบวนการ	67.17	13.72	สูง
1.3 ความรู้เชิงเจือปน	62.41	14.03	สูง
<b>2. การกำกับควบคุมการคิด</b>	<b>70.34</b>	<b>8.86</b>	<b>สูง</b>
2.1 การวางแผน	72.46	11.05	สูง
2.2 การจัดการสารสนเทศ	76.90	17.51	สูงมาก
2.3 การกำกับควบคุม	66.15	13.80	สูง
2.4 การแก้ไขข้อผิดพลาด	73.85	16.17	สูง
2.5 การประเมินผล	63.48	14.52	สูง

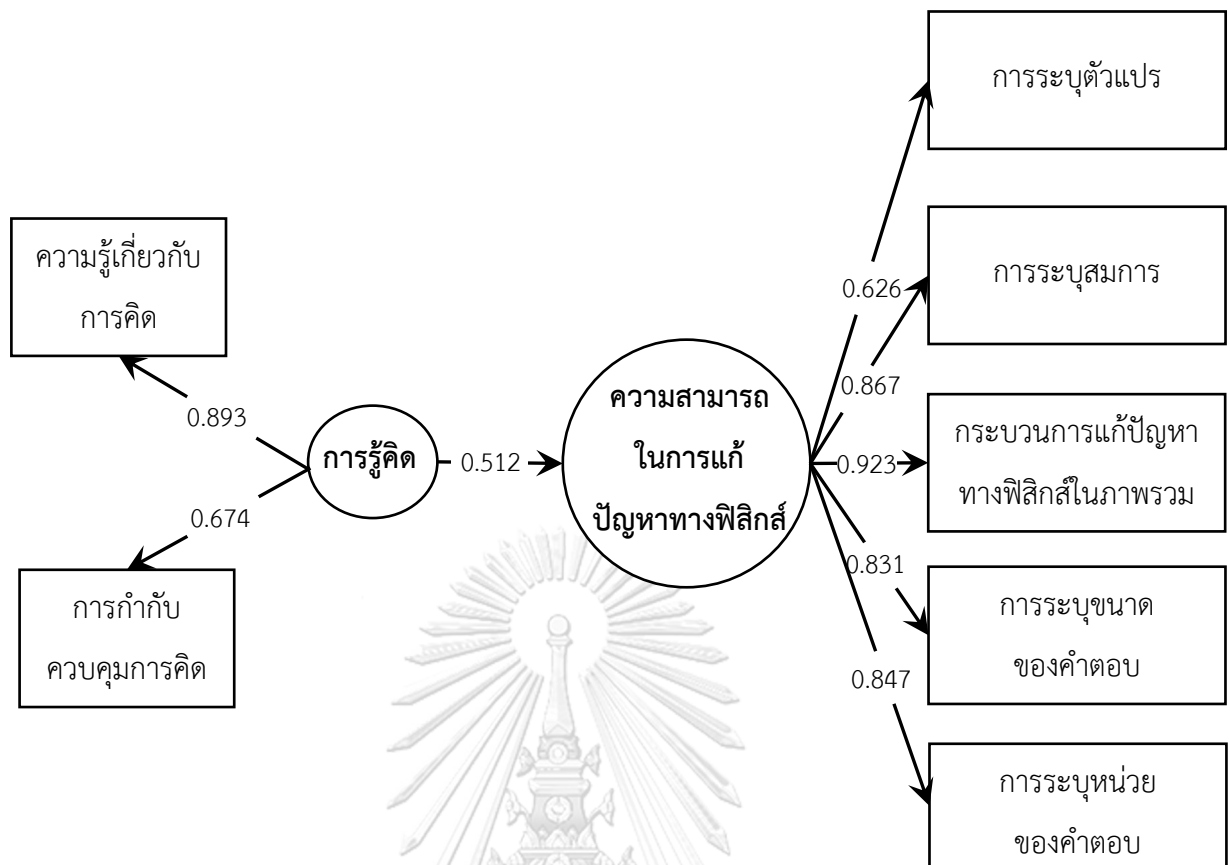
จากตารางที่ 22 พบว่า คะแนนเฉลี่ยการรู้คิดในภาพรวมของนักเรียนอยู่ในระดับสูง ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเป็น 68.32 ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาการรู้คิดของนักเรียนในรายองค์ประกอบ พบว่า คะแนนเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบของการรู้คิดของนักเรียนอยู่ในระดับสูงทั้งหมด ซึ่งองค์ประกอบที่นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละสูงสุด และต่ำสุด คือ องค์ประกอบที่ 2 การกำกับควบคุมการคิด และองค์ประกอบที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับการคิด ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเป็น 70.34 และ 65.55 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการรู้คิดของนักเรียนในองค์ประกอบย่อยของความรู้เกี่ยวกับการคิด พบว่า คะแนนเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบย่อยของความรู้เกี่ยวกับการคิดของนักเรียนอยู่ในระดับสูงทั้งหมด โดยองค์ประกอบย่อยที่มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละสูงสุด และต่ำสุด คือ องค์ประกอบที่ 1.2 ความรู้เชิงกระบวนการ และองค์ประกอบที่ 1.3 ความรู้เชิงเงื่อนไข ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเป็น 67.17 และ 62.41 ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการรู้คิดของนักเรียนในองค์ประกอบย่อยของการกำกับควบคุมการคิด พบว่า คะแนนเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบย่อยของการกำกับควบคุมการคิดของนักเรียนอยู่ในระดับสูงและสูงมาก โดยองค์ประกอบย่อยที่มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละสูงสุด และต่ำสุด คือ องค์ประกอบที่ 2.2 การจัดการสารสนเทศ และองค์ประกอบที่ 2.5 การประเมินผล ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเป็น 76.90 และ 63.48 ตามลำดับ

## **ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนกับข้อมูลเชิงประจักษ์**

การวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ในการวิจัยโดยใช้สถิติทดสอบ KMO และ Bartlett's Test of Sphericity ซึ่งพบว่า เมทริกซ์สหสัมพันธ์แตกต่างจากเมทริกซ์เอกลักษณ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงสรุปได้ว่า เมทริกซ์สหสัมพันธ์มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยผลการตรวจสอบเป็นดังภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดนำเสนอแผนภาพที่แสดงน้ำหนักมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกรอบแนวคิดการวิจัยเป็นดังรูปที่ 7 และผลการวิเคราะห์อิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เป็นดังตารางที่ 23



รูปที่ 7 นำหน้ามาตรฐานของพารามิเตอร์ในกรอบแนวคิดการวิจัยในรูปคะแนนมาตรฐาน ตารางที่ 23 ขนาดอิทธิพลมาตรฐาน (Total Effect) ของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (PS) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) สถิติทดสอบ t ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย ( $R^2$ ) และดัชนีความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ตัวแปรต้น	Total Effect	SE	t	$R^2$
การรู้คิด (Met)	0.512	0.095	5.408*	0.263

ดัชนีความสอดคล้องกลมกลืน

$\chi^2 = 9.223$	df = 11	$\chi^2/df = 0.838$	p-value = 0.601	RMSEA = 0.000
RMR = 0.022	SRMR = 0.022	GFI = 0.986	AGFI = 0.964	CFI = 1.000

\*p<.05

จากตารางที่ 23 พบว่า เนื่องจากดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนต่าง ๆ ได้แก่  $\chi^2/df$  มีค่าน้อยกว่า 2 รวมถึง p-value มีค่ามากกว่า .05 นอกจากนี้ดัชนี RMSEA RMR และ SRMR มีค่าน้อยกว่า 0.05 รวมถึงดัชนี GFI และ AGFI มีค่ามากกว่า .95 และดัชนี CFI มีค่ามากกว่า 0.97 จึงสรุปได้ว่า กรอบแนวคิดการวิจัยสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาขนาดอิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า ขนาดอิทธิพลมาตรฐานมีค่าเป็น

0.512 และจากค่าสถิติทดสอบ t ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.963 จึงสรุปได้ว่า การรู้คิดมีอิทธิพลทางบวกต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย ( $R^2$ ) ซึ่งเท่ากับ 0.263 จึงสรุปได้ว่า การรู้คิดสามารถอธิบายความผันแปรของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้คิดเป็นร้อยละ 26.3

นอกจากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันที่เป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบแนวคิดการวิจัยเป็นดังตารางที่ 24 ตารางที่ 24 นำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Beta) ส่วนเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (SE) สถิติทดสอบ t และค่าความผันแปรร่วม ( $R^2$ ) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดการรู้คิดและความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

องค์ประกอบ	Beta	SE	t	$R^2$
<b>1. องค์ประกอบในการวัดการรู้คิด (Met)</b>				
1.1 ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Met1)	0.893	0.091	9.812*	0.797
1.2 การกำกับควบคุมการคิด (Met2)	0.674	0.084	8.039*	0.454
<b>2. องค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (PS)</b>				
2.1 การระบุตัวแปร (PS1)	0.626**	-	-	0.392
2.2 การระบุสมการ (PS2)	0.867	0.090	9.622*	0.751
2.3 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม (PS3)	0.923	0.095	9.739*	0.852
2.4 การระบุขนาดของคำตอบ (PS4)	0.831	0.091	9.135*	0.691
2.5 การระบุหน่วยของคำตอบ (PS5)	0.847	0.092	9.246*	0.718

\* $p < .05$

\*\*กำหนดให้เป็นพารามิเตอร์บังคับในการประมาณค่า จึงไม่มีค่า SE และสถิติทดสอบ t

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดการรู้คิดจากตารางที่ 24 พบว่า องค์ประกอบในการวัดการรู้คิดมีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 ทุกองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงสุดและต่ำสุดคือ ความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งมีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเป็น 0.893 และ 0.674 ทั้งนี้ ความรู้เกี่ยวกับการคิดเป็นองค์ประกอบของการรู้คิดที่มีความผันแปรร่วมกับการรู้คิดมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 79.7 และการกำกับควบคุมการคิดเป็นองค์ประกอบของการรู้คิดที่มีความผันแปรร่วมกับการรู้คติน้อยที่สุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 45.4

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จากตารางที่ 24 พบว่า องค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงสุดและต่ำสุดคือ กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม และการระบุตัวแปร ซึ่งมีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเป็น 0.923 และ 0.626 ตามลำดับ ทั้งนี้ กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวมเป็นองค์ประกอบที่มีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มากที่สุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 85.2 และการระบุตัวแปรเป็นองค์ประกอบที่มีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์น้อยที่สุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 39.2

ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจากโปรแกรม LISREL เป็นดังภาคผนวก ฐ



### ตอนที่ 3 การวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี

การวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี นำเสนอใน 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

ส่วนที่ 2 ผลการวิจัยในภาพรวม

ส่วนที่ 3 ผลการวิจัยจำแนกตามผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

#### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

ผู้ให้ข้อมูลสำคัญได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง โดยกำหนดให้เป็นนักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยระยะที่ 1 สูงสุด 3 อันดับแรก จาก 3 โรงเรียนรวมเป็นทั้งหมด 9 คน ทั้งนี้ ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดจำแนกตามผู้ให้ข้อมูลสำคัญเป็นดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดจำแนกตามผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

โรงเรียน	นักเรียน	ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์			คะแนนการรู้คิด	
		คะแนน (%)	ระดับ	อันดับที่	คะแนน (%)	ระดับ
A	A1	80.83	ดี	6	65.26	สูง
	A2	84.58	ดี	3	58.95	สูง
	A3	79.58	ดี	8	82.11	สูงมาก
B	B1	94.17	ดี	1	87.37	สูงมาก
	B2	80.00	ดี	7	82.11	สูงมาก
	B3	84.58	ดี	4	84.21	สูงมาก
C	C1	90.83	ดี	2	65.26	สูง
	C2	72.29	ดี	9	70.53	สูง
	C3	84.58	ดี	5	66.32	สูง

หมายเหตุ: ชื่อโรงเรียนและนักเรียนเป็นนามสมมติทั้งหมด

จากตารางที่ 25 พบว่า นักเรียนทุกคนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อยู่ในระดับดีทั้งหมด และมีการรู้คิดอยู่ในระดับสูงและสูงมาก

## ส่วนที่ 2 ผลการวิจัยในภาพรวม

เมื่อให้นักเรียนคิดออกเสียงในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า พฤติกรรมที่แสดงถึงกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 รหัสและพฤติกรรมที่แสดงถึงกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

รหัสแสดงพฤติกรรม	พฤติกรรมที่แสดงถึงกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
<b>A.การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์</b>	<b>พฤติกรรมที่แสดงถึงการทำความเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์</b>
A1อ่านโจทย์	การอ่านข้อความที่ระบุในปัญหาทางฟิสิกส์
A2.วาดแผนภาพ	การวาดแผนภาพจากปัญหาทางฟิสิกส์
A3.ระบุเป้าหมาย	การเขียนหรือพูดระบุตัวแปรที่ต้องการทราบค่า
A4.ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	การเขียนหรือพูดระบุตัวแปรที่ทราบค่าที่ต้องใช้
A5.ระบุสมการ	การเขียนหรือพูดระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์
A6.พูด/ถามตนเอง	การพูดเพื่อตรวจสอบว่าตนเองเข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์ถูกต้องหรือไม่
<b>P.การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</b>	<b>พฤติกรรมที่แสดงถึงการใช้ความรู้ทางฟิสิกส์และความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</b>
P1.แบ่งเป็นปัญหาย่อย ๆ	การแบ่งปัญหาทางฟิสิกส์เป็นปัญหาย่อย ๆ
P2.แก้ปัญหาย่อย ๆ	การลงมือแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ย่อย ๆ
P3.พูดขั้นตอนต่อไป	การพูดถึงขั้นตอนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ขั้นตอนถัดไป
P4.สรุปคำตอบ	การพูดหรือเขียนสรุปคำตอบ
<b>E.การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</b>	<b>พฤติกรรมที่แสดงถึงการประเมินว่าคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความถูกต้องและสมเหตุสมผลหรือไม่</b>
E1.ตรวจสอบขณะวิเคราะห์	การประเมินการวิเคราะห์ปัญหาฟิสิกส์ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
E2.ตรวจสอบขณะดำเนินการ	การประเมินกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
E3.ตรวจสอบการวิเคราะห์หลังตอบ	การประเมินการวิเคราะห์ปัญหาฟิสิกส์หลังได้คำตอบ
E4.ตรวจสอบการดำเนินการหลังตอบ	การประเมินกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์หลังได้คำตอบ
E5.ตรวจสอบคำตอบ	การประเมินความถูกต้อง สมเหตุสมผล สอดคล้อง ของคำตอบ หรือหน่วยของคำตอบ หรือทิศของคำตอบ

นอกจากนี้ เมื่อให้นักเรียนคิดออกเสียงในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า พฤติกรรมที่แสดงออกถึงการรู้คิดของนักเรียนเป็นดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 รหัสและพฤติกรรมที่แสดงถึงการรู้คิด

รหัสแสดงพฤติกรรม	พฤติกรรมที่แสดงถึงการรู้คิด
<b>K.ความรู้เกี่ยวกับการคิด</b>	<b>พฤติกรรมที่แสดงถึงความเข้าใจความคิดของตนเอง</b>
K1.ความรู้เชิงประกาศ	พูดหรือเขียนเกี่ยวกับความรู้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงความเข้าใจเกี่ยวกับความสามารถของตนเองในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
K2.ความรู้เชิงกระบวนการ	พูดหรือเขียนเกี่ยวกับรายละเอียดของขั้นตอน หรือเทคนิค หรือกลยุทธ์ การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
K3.ความรู้เชิงเงื่อนไข	พูดหรือเขียนเกี่ยวกับเงื่อนไขการใช้ความรู้เชิงประกาศและความรู้เชิงกระบวนการ
<b>R.การกำกับควบคุมการคิด</b>	<b>การลงมือปฏิบัติที่ช่วยกำกับหรือควบคุมการคิดในระหว่างลงมือแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</b>
R1.วางแผน	พูดหรือเขียนเกี่ยวกับเป้าหมายและสิ่งที่จะทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
R2.จัดการสารสนเทศ	พูดหรือเขียนเกี่ยวกับกลยุทธ์ที่มีความเฉพาะเจาะจงในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งมีดังนี้ <ul style="list-style-type: none"> <li>- R2.1 ชีต/วงคำสำคัญ - ชีตเส้นใต้หรือวงกลมข้อความในปัญหาทางฟิสิกส์</li> <li>- R2.2 วาดแผนภาพ - วาดแผนภาพที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์</li> <li>- R2.3 List/เลือกสมการ - เขียนสมการทางฟิสิกส์มากกว่า 1 สมการ แล้วจึงเลือกสมการที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</li> <li>- R2.4 อ่าน/พูดซ้ำ ๆ - อ่านปัญหาทางฟิสิกส์ซ้ำ ๆ หรือการพูดคำหรือข้อความเดิมซ้ำ ๆ ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</li> <li>- R2.5 แก่สมการ - แก่สมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ เช่น การแทนค่า การบวกหรือลบหรือคูณหรือหารทั้งสมการ การแยกตัวประกอบ เป็นต้น</li> <li>- R2.6 ใช้ตัวอักษรห้อย - เขียนสัญลักษณ์หรือข้อความห้อยท้ายตัวแปรเพื่อช่วยระบุค่าของตัวแปรในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</li> </ul>
R3.กำกับควบคุม	พูดหรือเขียนเกี่ยวกับสิ่งที่กำลังทำ หรือกำลังจะทำ ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
R4.แก้ไขข้อผิดพลาด	พูดหรือเขียนในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เพื่อตรวจสอบว่าสิ่งที่ได้ทำไปมีความถูกต้องหรือเหมาะสมหรือไม่ รวมถึงพูดหรือเขียนเกี่ยวกับการแก้ไขสิ่งที่ได้ทำไป
R5.ประเมินผล	พูดหรือเขียนภายหลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เพื่อตรวจสอบว่าสิ่งที่ได้ทำไปมีความถูกต้องหรือเหมาะสมหรือไม่



การศึกษากระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีในภาพรวมนำเสนอข้อค้นพบต่าง ๆ ดังนี้

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนทุกคนใช้ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งนักเรียนส่วนมาก (7 จาก 9 คน) มีการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร่วมด้วย ทั้งนี้ นักเรียนมีกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ การอ่านปัญหาทางฟิสิกส์ การวาดแผนภาพ การระบุเป้าหมาย ตัวแปร และสมการที่เกี่ยวข้องทางฟิสิกส์ นอกจากนี้ นักเรียนใช้กระบวนการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ การแก้ปัญหาย่อย ๆ การระบุขั้นตอนต่อไปในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการสรุปคำตอบ ซึ่งในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา ทั้งนี้ นักเรียนมีกระบวนการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในลักษณะของการตรวจสอบการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ภายหลังการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ อย่างไรก็ตาม พบว่านักเรียนมีข้อผิดพลาดในระหว่างกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เช่นกัน โดยข้อผิดพลาด 3 ประการ

- 1) การระบุเป้าหมายของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ถูกต้อง เช่น เป้าหมายที่ถูกต้องคืออัตราเร็วเฉลี่ย แต่นักเรียนระบุเป้าหมายคือความเร็วสุดท้าย เป็นต้น
- 2) การระบุสมการที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่ถูกต้อง เช่น จากกราฟความเร็วกับเวลา สมการที่ต้องใช้คือ ความเร่งเฉลี่ยต้องคำนวณจากความชัน แต่นักเรียนใช้สมการพื้นที่ใต้กราฟในการคำนวณ
- 3) การระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง

การรู้คิดที่นักเรียนทุกคนใช้ครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด โดยความรู้เกี่ยวกับการคิดทั้งหมดพบในการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งองค์ประกอบย่อยของความรู้เกี่ยวกับการคิดที่นักเรียนทุกคนใช้ ได้แก่ ความรู้เชิงประกาศในลักษณะของการระบุสมการหรือหลักการที่เกี่ยวข้อง และพบว่านักเรียนส่วนมากใช้ความรู้เชิงกระบวนการเฉพาะในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเท่านั้น เช่น การระบุเวลาเมื่อวัตถุ 2 ก้อนเคลื่อนที่ทันกัน การกระจัดและเวลาจะเท่ากัน เมื่อพิจารณาการรู้คิดในองค์ประกอบกำกับควบคุมการคิด พบว่านักเรียนใช้ครบถ้วนทุกองค์ประกอบย่อย โดยองค์ประกอบย่อยการวางแผน การจัดการสารสนเทศ การกำกับควบคุม และการแก้ไขข้อผิดพลาด จะพบทั้งในการวิเคราะห์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งองค์ประกอบย่อยการประเมินผลจะพบในการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เท่านั้น นอกจากนี้

องค์ประกอบย่อยการประเมินผลเป็นองค์ประกอบที่พบน้อยกว่าองค์ประกอบย่อยอื่น ๆ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศที่นักเรียนใช้มี 5 ประการ ดังนี้

1) การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญในปัญหา เช่น ค่าตัวเลขหรือเงื่อนไขที่เป็นต่อการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

2) การวาดแผนภาพ ซึ่งแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สอดคล้องกับปัญหา

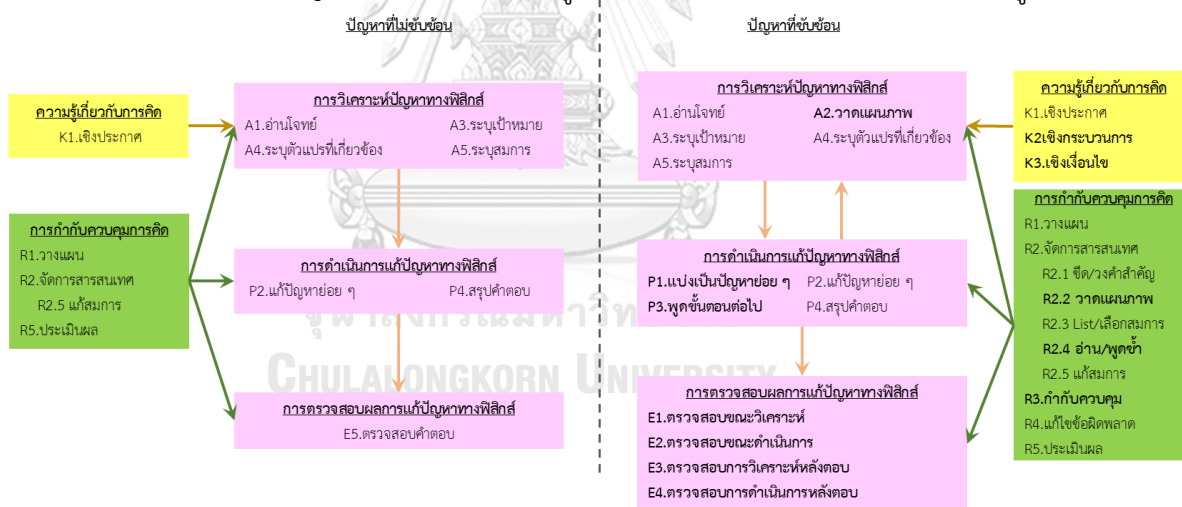
3) การอ่านหรือพูดทวนซ้ำ ๆ ในระหว่างแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น การพูดเกี่ยวกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงระบุสมการที่เชื่อมโยงกับตัวแปรที่พูด

4) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

5) การใช้ตัวอักษรห้อย ซึ่งพบในปัญหาที่วัตถุมากกว่า 1 ก้อนมีการเคลื่อนที่

ที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนทุกคนที่มีร่วมกันคือการฝึกด้วยตนเองหรือการสืบค้นจากแหล่งสืบค้นต่าง ๆ เมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ เช่น หนังสือ หรืออินเทอร์เน็ต นอกจากนี้มีที่มาจากการเรียนรู้กับครูที่โรงเรียนซึ่งจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การเรียนพิเศษ และการแลกเปลี่ยนกับเพื่อนเมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนในภาพรวมนำเสนอได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนในภาพรวม

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อนอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

เมื่อวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ตรงกับผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างในการวิจัยระยะที่ 1 มีข้อค้นพบดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ เมื่อให้นักเรียนคิดออกเสียงในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่านักเรียนมีการแสดงออกถึงความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์

จากผลการวิเคราะห์อิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า การรู้คิดมีอิทธิพลทางบวกต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อให้นักเรียนคิดออกเสียงในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนมีการใช้ความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิดในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยที่เมื่อนักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับการคิดที่ถูกต้อง เช่น มีความรู้เกี่ยวกับสมการหรือหลักการที่ต้องใช้ที่ถูกต้อง รวมถึงนักเรียนมีการกำกับควบคุมการคิดในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างเหมาะสม ในลักษณะของการระบุตัวแปรและสมการที่ใช้ได้ถูกต้อง รวมถึงมีการระบุขั้นตอนในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ มีการพูดถึงขั้นตอนถัดไปหรือสิ่งที่ต้องการทำในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ มีการแก้ไขจุดที่คิดผิดพลาด รวมถึงมีการทบทวนกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของตนเองหลังได้คำตอบแล้ว นักเรียนจะได้มาซึ่งคำตอบของปัญหาทางฟิสิกส์ที่ถูกต้อง ในขณะที่นักเรียนซึ่งระบุตัวแปรหรือสมการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์ผิดพลาด หรือมีการคิดคำนวณผิดพลาดในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และไม่ได้แก้ไขให้ถูกต้อง คำตอบของนักเรียนที่ได้จะไม่ถูกต้องเช่นกัน สรุปได้ว่า การรู้คิดมีส่วนช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์อิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยระยะที่ 1

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดการรู้คิดในการวิจัยระยะที่ 1 พบว่า ความรู้เกี่ยวกับการคิดมีน้ำหนักองค์ประกอบสูงกว่าการกำกับควบคุมการคิด หรือกล่าวได้ว่าความรู้เกี่ยวกับการคิดมีความสำคัญมากกว่าการกำกับควบคุมการคิด เมื่อให้นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า หากนักเรียนไม่สามารถค้นคืนความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา รวมถึงกลยุทธ์ที่ต้องใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ นักเรียนจะไม่สามารถดำเนินการหาคำตอบต่อไปได้ หรือดำเนินการหาคำตอบต่อไปแต่ได้มาซึ่งคำตอบที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดการรู้คิดในการวิจัยระยะที่ 1

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยระยะที่ 1 ซึ่งพบว่า กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการระบุสมการมีน้ำหนักองค์ประกอบสูงสุด และการระบุตัวแปรมีน้ำหนักองค์ประกอบต่ำสุด เมื่อให้นักเรียนคิดออกเสียงในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า ในช่วงเริ่มแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ นักเรียนใช้เวลาใน

การค้นคืนสมการรวมถึงหลักการทางฟิสิกส์และใช้เวลาในการแทนค่าตัวแปรในสมการเพื่อดำเนินการหาคำตอบค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาในการระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้พบว่านักเรียนบางคนมีการระบุตัวแปรที่ชัดเจนในภายหลังจากได้คำตอบแล้ว จึงสรุปได้ว่านักเรียนให้ความสำคัญกับกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวมและการระบุสมการมากกว่าการระบุตัวแปร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จากการวิจัยระยะที่ 1

### ส่วนที่ 3 ผลการวิจัยจำแนกตามผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

การศึกษากระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี จำแนกตามผู้ให้ข้อมูลสำคัญนำเสนอตามอันดับคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ดังนี้

นักเรียนอันดับที่ 1 นักเรียน B1

นักเรียนอันดับที่ 2 นักเรียน C1

นักเรียนอันดับที่ 3 นักเรียน A2

นักเรียนอันดับที่ 4 นักเรียน B3

นักเรียนอันดับที่ 5 นักเรียน C3

นักเรียนอันดับที่ 6 นักเรียน A1

นักเรียนอันดับที่ 7 นักเรียน B2

นักเรียนอันดับที่ 8 นักเรียน A3

นักเรียนอันดับที่ 9 นักเรียน C2

#### นักเรียนอันดับที่ 1 นักเรียน B1

นักเรียน B1 เป็นนักเรียนชายซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 94.17 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 1 ของโรงเรียน B ทั้งนี้ B1 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 87.37

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มีครบถ้วนทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ พบว่า ในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา นอกจากนี้ นักเรียนมีการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทางฟิสิกส์อย่างละเอียดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทุกปัญหา ซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนทำเพื่อตรวจสอบว่ามีจุดใดที่ทำผิดหรือหลงลืมไปหรือไม่ รวมถึงคำตอบ

สอดคล้องกับความเป็นจริงหรือไม่ เมื่อพิจารณาถึงข้อผิดพลาดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน ไม่พบข้อผิดพลาดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่พบในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเท่านั้น ได้แก่ ความรู้เชิงกระบวนการ นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศซึ่งพบอยู่ในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนและปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อนมี 4 ประการดังนี้

1) การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญในปัญหาทางฟิสิกส์ การอ่านหรือพูดทวนซ้ำ ๆ ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

2) การวาดแผนภาพซึ่งนักเรียนระบุว่าช่วยให้เห็นภาพได้ง่ายซึ่งจะวาดในข้อที่มองภาพยาก ๆ หรือซับซ้อน

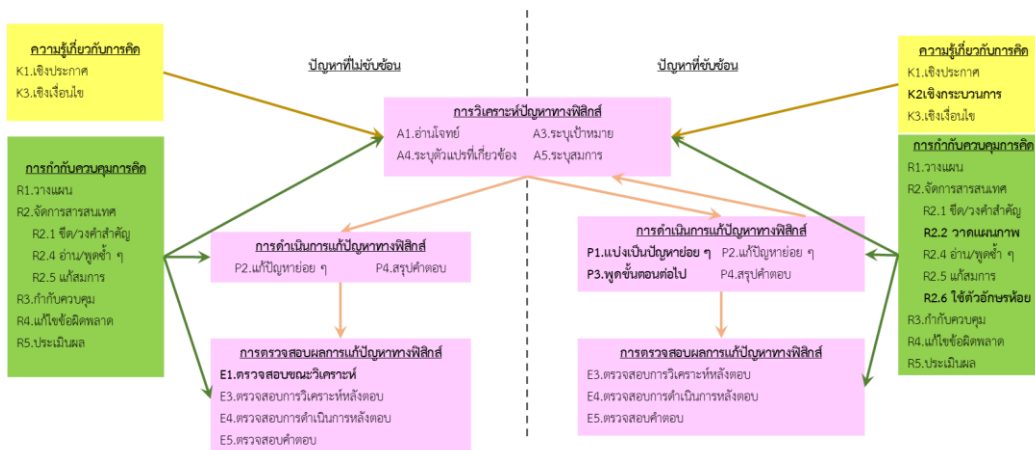
3) การใช้ตัวอักษรห้อย

4) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจากการศึกษาด้วยตนเองซึ่งมีการลองผิดลองถูกจนมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่เฉพาะของตนเอง เช่น หลังการอ่านปัญหาจะพิจารณาว่าต้องการทราบอะไร และมีข้อมูลอะไรที่เกี่ยวข้องบ้าง นอกจากนี้กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีที่มาจากการเรียนรู้พิเศษหลาย ๆ แหล่ง แล้วประมวลเป็นกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของตนเองเช่นกัน ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“ส่วนใหญ่ผมใช้ ลองผิดลองถูกครับ แล้วก็ทำโจทย์มาบ้าง ... เมื่อก่อนเราทำมั่ว ๆ จนกว่ามันจะออกมาเป็นคำตอบ แต่ลองไปเรื่อย ๆ จนพบว่า เวลาอ่านโจทย์ (ให้ดูว่า) เขาต้องการอะไร แล้วก็ ดูว่าเขาพยายามจะ imply อะไรออกมา ก็พยายามเดาทางโจทย์ให้ออก ... นอกจากนี้มาจากการเรียนพิเศษหลาย ๆ ที่ แล้วก็พยายามเปลี่ยนองค์ความรู้มาเป็นของตัวเองครับ” (นักเรียนอันดับที่ 1, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 1 นำเสนอได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 1

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

นักเรียนอันดับที่ 2 นักเรียน C1

นักเรียน C1 เป็นนักเรียนชายซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 90.83 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 1 ของโรงเรียน C ทั้งนี้ C1 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 65.26

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มีครบถ้วนทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา นอกจากนี้ การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์พบในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนมากกว่าปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อนเล็กน้อย อย่างไรก็ตามข้อผิดพลาดที่พบในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน ซึ่งมีดังนี้

- 1) การพูดผิด เช่น การพูดคำว่าแรงโน้มถ่วงแทนความเร่งโน้มถ่วง แต่หมายถึงความเร่งโน้มถ่วง
- 2) การแสดงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์  
 ทั้งนี้ ข้อผิดพลาดที่พบซึ่งทำให้นักเรียนไม่สามารถหาคำตอบได้ถูกต้อง มีดังนี้
  - 1) การระบุสมการหรือวิธีการแก้ปัญหาที่ไม่ถูกต้อง การระบุเป้าหมายของการแก้ปัญหาที่ไม่ถูกต้อง เช่น เป้าหมายที่ถูกต้องคืออัตราเร็วเฉลี่ย แต่นักเรียนระบุว่าเป้าหมายคือความเร็วสุดท้าย

2) การคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ถูกต้องซึ่งเกิดจากการใช้กระบวนการแก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ที่ไม่ถูกต้อง

การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งทุกองค์ประกอบย่อยพบทั้งในปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนและไม่ซับซ้อน ทั้งนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ นอกจากนี้ กลยุทธ์อื่น ๆ ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศซึ่งพบในปัญหาที่ซับซ้อนมากกว่าปัญหาที่ไม่ซับซ้อนมี 4 ประการ ดังนี้

1) การวาดแผนภาพซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนระบุว่าไม่จำเป็นต้องทำ ถ้าหากว่าสามารถเห็นภาพจากการอ่านปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องวาดแผนภาพ

2) การอ่านหรือพูดทวนซ้ำ ๆ ในระหว่างการแก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ เช่น การพูดเกี่ยวกับสมการหรือพูดทวนคำตอบซ้ำ ๆ

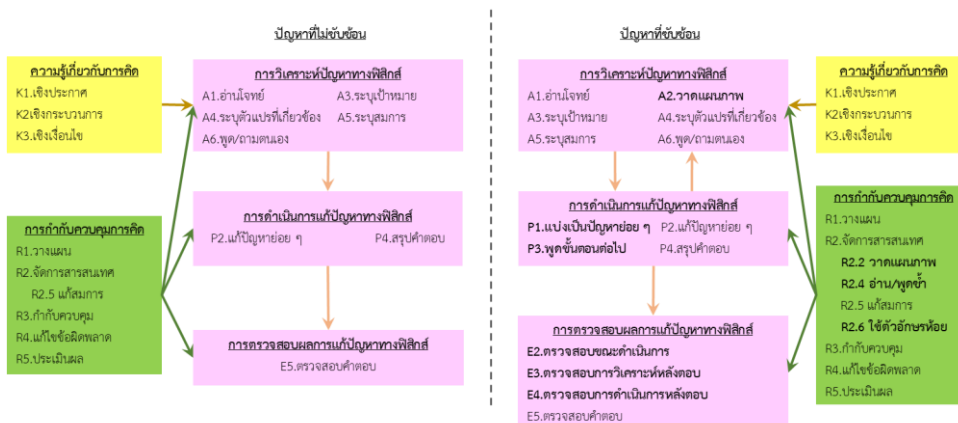
3) การใช้ตัวอักษรห้อยในปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ที่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุมากกว่า 1 ก้อน ซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนจะใช้ตัวอักษรห้อยเพื่อป้องกันความสับสน

4) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจาก การเรียนพิเศษกับครูที่มีความเข้มงวดในการเขียนระบุกระบวนการแก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ เช่น การระบุตัวแปร การเขียน “?” ไว้กับตัวแปรที่ต้องการทราบค่า รวมถึงการเรียนกับครูที่โรงเรียน การฝึกทำแบบฝึกหัดที่มีลักษณะเป็นปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ และการอภิปรายกับเพื่อนกรณีแก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“สมัยก่อนผมเรียนพิเศษกับอาจารย์ฟิสิกส์ท่านหนึ่ง เขาค่อนข้างเข้มงวดเรื่องตัวแปร กับหน่วย ผมก็เลย ผมก็เลยคิดว่าต้องการหาอะไรก็ได้ ? อะไรประมาณนี้ ... และตอน ม.4 อาจารย์ที่โรงเรียนให้แบบฝึกหัดให้เราทำ เป็นเล่ม เราก็นั่งทำกัน มีทำเองบ้างขอให้เพื่อนช่วยบ้างครับ” (นักเรียนอันดับที่ 2, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหาลงมือทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 2 นำเสนอได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 2

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

นักเรียนอันดับที่ 3 นักเรียน A2

นักเรียน A2 เป็นนักเรียนหญิงซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 84.58 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 1 ของโรงเรียน A ทั้งนี้ A2 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 58.95

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มีครบถ้วนทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาถึงลำดับการเขียนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า ในช่วงแรก นักเรียนจะเขียนระบุตัวแปรและสมการไว้ด้านข้างของปัญหา จากนั้นจึงลงมือแก้ปัญหา แล้วจึงมาเขียนสรุปตัวแปรและสมการที่ใช้ในบริเวณที่กำหนดให้ในภายหลัง โดยในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา อย่างไรก็ตาม ข้อผิดพลาดที่ทำให้นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนไม่ถูกต้องจำนวน 2 ใน 3 ของปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนมี 2 ประการ ดังนี้

- 1) การระบุสมการหรือวิธีการหาคำตอบไม่ถูกต้อง
- 2) การคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ถูกต้อง

การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่นักเรียนใช้เฉพาะในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเท่านั้น ได้แก่ ความรู้เชิงกระบวนการ และการกำกับควบคุม นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้



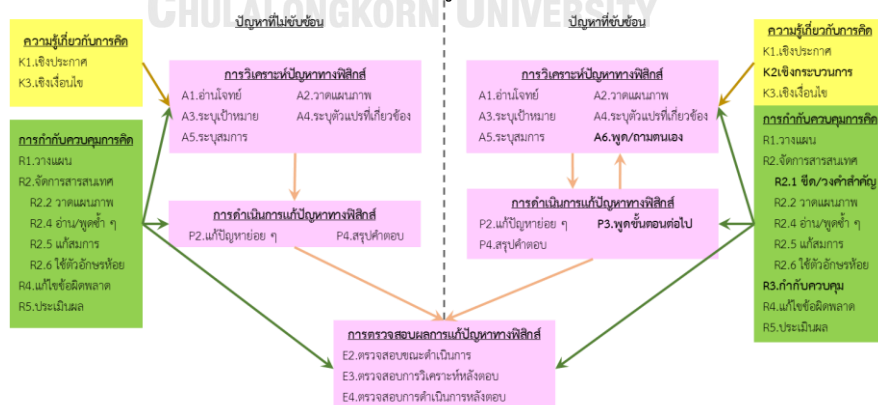
ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศซึ่งพบทั้งในปัญหาที่ซับซ้อนและปัญหาที่ไม่ซับซ้อนมี 5 ประการ ได้แก่

- 1) การอ่านหรือพูดทวนซ้ำ ๆ ในระหว่างการแก้ปัญหา เช่น การพูดทวนค่าของตัวแปรที่ใช้แก้ปัญหาทางพีสิกส์
- 2) การวาดแผนภาพ โดยนักเรียนจะเขียนสิ่งที่ทราบแล้วลงในแผนภาพที่วาด
- 3) การเขียนตัวอักษรห้อย
- 4) การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญในปัญหาซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนจะขีดเส้นใต้ค่าตัวเลขที่กำหนดในปัญหาทางพีสิกส์เพื่อให้มองเห็นชัดเจนแล้วจะได้ไม่ต้องอ่านปัญหาซ้ำ
- 5) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาทางพีสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจากการสอนของครู การอภิปรายกับเพื่อนเกี่ยวกับกระบวนการแก้ปัญหาทางพีสิกส์ในกรณีที่ไม่ได้ การสืบค้นวิธีแก้ปัญหาทางพีสิกส์จากอินเทอร์เน็ตในกรณีที่ไม่สามารถติดต่อเพื่อนได้และสงสัยความรู้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางพีสิกส์ รวมถึงการปรึกษาผู้ปกครองเกี่ยวกับกระบวนการแก้ปัญหาทางพีสิกส์ และการฝึกเองซึ่งทำไม่มากนักเมื่อเทียบกับที่ผู้อื่น ๆ ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“ได้มาจากโรงเรียนค่ะ คือถ้าฝึกเองหรืออ่านเอง ไม่ค่อยทำค่ะ คุยกับเพื่อนเนี่ยจะเป็นแบบส่วนใหญ่เลยคะถ้าทำไม่ได้ แล้วก็สืบค้นจากอินเทอร์เน็ตด้วยคะในกรณีที่อยู่คนเดียวแล้วไม่รู้ว่าจะมันทำยังไง หรือว่า มีบางอย่างสงสัย เช่น สงสัยเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับบางส่วนของข้อนั้นคะ แล้วก็ถามคุณพ่อก็เยอะคะ เขาเรียนวิศวะไฟฟ้ามาอะคะ” (นักเรียนอันดับที่ 3, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหาทางพีสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 3 นำเสนอได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กระบวนการแก้ปัญหาทางพีสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 3

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

#### นักเรียนอันดับที่ 4 นักเรียน B3

นักเรียน B3 เป็นนักเรียนหญิงซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 84.58 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 2 ของโรงเรียน B ทั้งนี้ B3 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 84.21

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มี 2 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งไม่พบการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา อย่างไรก็ตาม ข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่พบในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนซึ่งทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้อย่างถูกต้องมี 2 ประการ ดังนี้

- 1) การระบุเป้าหมายการแก้ปัญหาที่ไม่ถูกต้อง
- 2) การระบุสมการหรือวิธีการแก้ปัญหาไม่ถูกต้อง

การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่พบเฉพาะในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน ได้แก่ ความรู้เชิงกระบวนการ การกำกับควบคุม และการแก้ไขข้อผิดพลาด นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศมี 5 ประการ ดังนี้

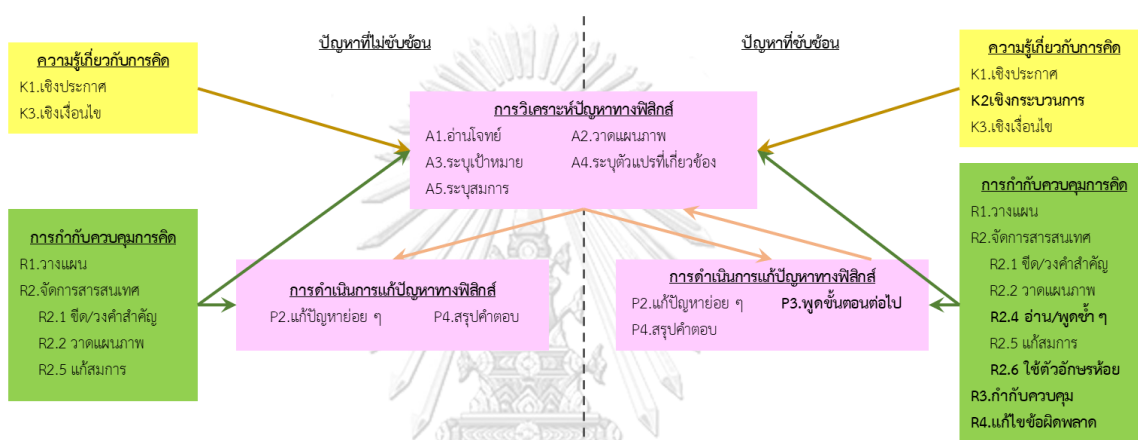
- 1) การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญในปัญหาซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนจะทำเพื่อเน้นตัวแปรที่กำหนดให้หรือคำสำคัญที่บ่งชี้โดยอ้อมเกี่ยวกับค่าของตัวแปร (เช่น วัตถุหยุดนิ่ง หมายถึง ความเร็วเป็นศูนย์) เพื่อช่วยให้ระบุค่าของตัวแปรได้ง่ายขึ้น
- 2) การวาดแผนภาพซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่าจะทำเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนว่าวัตถุมีการเคลื่อนที่อย่างไร
- 3) การอ่านหรือพูดทวนซ้ำ ๆ ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น การพูดทวนเกี่ยวกับค่าของตัวแปรที่ต้องใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 4) การใช้ตัวอักษรห้อย ซึ่งโดยภาพรวมพบกลยุทธ์ข้างต้นในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนมากกว่าปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อน
- 5) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจากการฝึกทำแบบฝึกหัดที่มีลักษณะเป็นปัญหาทางฟิสิกส์ การเรียนกับครูที่โรงเรียน การเรียนพิเศษ การอภิปรายกระบวนการแก้ปัญหาทาง

ฟิสิกส์กับเพื่อนในกรณีนี้แก้ปัญหามทางฟิสิกส์ไม่ได้หรือไม่เข้าใจเกี่ยวกับปัญหามทางฟิสิกส์ และการศึกษาจากเฉลยปัญหามทางฟิสิกส์ ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“เรียนรู้จากการฝึกด้วยตัวเองด้วยค่ะ ทั้งกับที่โรงเรียน ที่เรียนพิเศษหลายที่อะค่ะ ... บางครั้งหนูก็หาโจทย์ตัวเอง ทำโจทย์ของโรงเรียนหรือที่เรียนพิเศษไปล่วงหน้า แล้วก็มีปรึกษาเพื่อน ส่วนใหญ่ก็จะมีในข้อที่ทำไม่ค่อยได้อะค่ะ แล้วก็อ่านเฉลยบ้างค่ะ บางทีโจทย์มันแก้ได้หลายแบบ เฉลยก็เป็นตัวเลือกหนึ่งในการแก้โจทย์ทำให้เข้าใจมากขึ้นค่ะ” (นักเรียนอันดับที่ 4, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 4 นำเสนอได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 กระบวนการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 4

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

นักเรียนอันดับที่ 5 นักเรียน C3

นักเรียน C3 เป็นนักเรียนชายซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์ร้อยละ 84.58 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 2 ของโรงเรียน C ทั้งนี้ C3 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 66.32

กระบวนการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์ที่ใช้มีครบถ้วนทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหามทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบผลการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์พบเฉพาะในการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเพียงจำนวน 1 ปัญหาเท่านั้น ทั้งนี้ ข้อผิดพลาดที่ทำให้ นักเรียนไม่สามารถหาคำตอบได้ถูกต้องมี 2 ประการ ดังนี้

- 1) การระบุเป้าหมายการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ถูกต้อง
- 2) การระบุสมการหรือวิธีการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ถูกต้อง

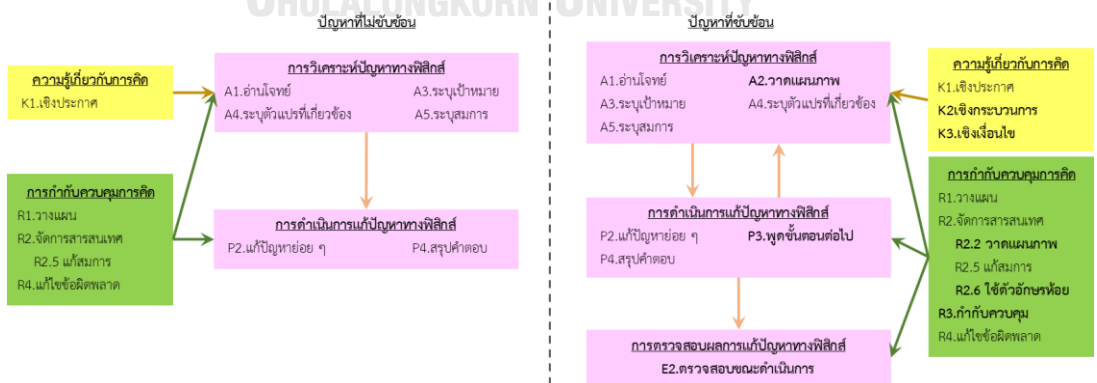
การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่พบเฉพาะในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน ได้แก่ ความรู้เชิงกระบวนการ และการกำกับควบคุม นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้ในการจัดการสารสนเทศมี 4 ประการ ดังนี้

- 1) การวาดแผนภาพ
- 2) การใช้ตัวอักษรห้อย ซึ่งพบเฉพาะในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อน
- 3) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา
- 4) การใช้สูตรลัดในเรื่องการเคลื่อนที่แนวตั้งที่ตำแหน่งสูงสุดดังสมการ  $s = \frac{u^2}{2g}$  ซึ่ง

จากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนได้มาจากการสังเกตปัญหาทางฟิสิกส์ที่พบในระหว่างการเรียน กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจาก การเรียนกับครูที่โรงเรียน การเรียนพิเศษ การฝึก ทำแบบฝึกหัดที่เป็นปัญหาทางฟิสิกส์ ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“ก็มีจาก ในโรงเรียน แล้วก็ ที่เรียนพิเศษ มีฝึกเองบ้างครับ แล้วก็ มีดูจากหนังสือบ้างครับ” (นักเรียนอันดับที่ 5, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 5 นำเสนอได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 5

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

### นักเรียนอันดับที่ 6 นักเรียน A1

นักเรียน A1 เป็นนักเรียนหญิงซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 80.83 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 2 ของโรงเรียน A ทั้งนี้ A1 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 65.26

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มีครบถ้วนทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา อย่างไรก็ตาม นักเรียนไม่ได้มีการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาทุกปัญหา ทั้งนี้ ข้อผิดพลาดในการแก้ปัญหาที่พบซึ่งทำให้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนไม่ถูกต้องจำนวน 2 ใน 3 ของปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน มี 2 ประการ ดังนี้

- 1) การระบุสมการหรือวิธีการในการหาคำตอบไม่ถูกต้อง
- 2) การระบุเป้าหมายการแก้ปัญหาไม่ถูกต้อง

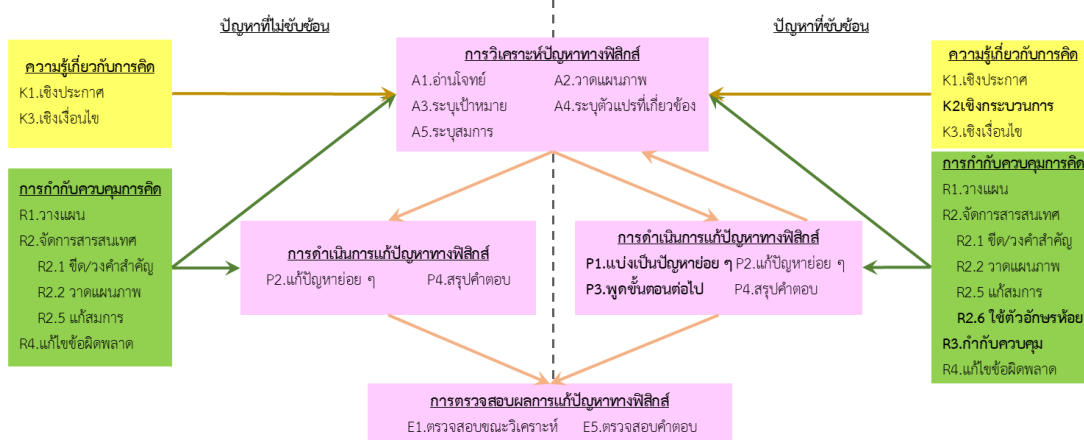
การรู้คิดที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่นักเรียนใช้เฉพาะในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเท่านั้น ได้แก่ ความรู้เชิงกระบวนการ และการกำกับควบคุม นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้ในการจัดการสารสนเทศที่พบโดยพบในปัญหาที่ซับซ้อนมากกว่าในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนมี 4 ประการ ได้แก่

- 1) การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญในปัญหาซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนทำเพื่อให้สามารถกลับมาย้อนดูปัญหาทางฟิสิกส์ได้ง่ายขึ้น
- 2) การวาดแผนภาพซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนทำเพื่อช่วยให้เห็นภาพการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น
- 3) การใช้ตัวห้อย
- 4) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจากการสอนของครู การแลกเปลี่ยนวิธีทำแบบฝึกหัดที่มีลักษณะเป็นปัญหาทางฟิสิกส์กับเพื่อน ซึ่งนักเรียนได้จดจำและเรียนรู้รวมถึงนำมาฝึกฝนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยตนเอง ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

*“ลักษณะญาณค่ะ มันน่าจะติดมาจากวิธีสอนหรือวิธีทำของคนอื่น อาจจะ  
เป็นอาจารย์ หรือเวลาทำโจทย์กับเพื่อนอะไรแบบนี้ อย่างเรื่องการขีด keyword  
เขาก็จะช่วยกันขีด keyword อะไรอย่างนี้ไว้ค่ะ”* (นักเรียนอันดับที่ 6, ธ.ค. 63)

### กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 6 นำเสนอได้ดังรูปที่ 14



### รูปที่ 14 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 6

**หมายเหตุ:** ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

#### นักเรียนอันดับที่ 7 นักเรียน B2

นักเรียน B2 เป็นนักเรียนชายซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 80.00 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 3 ของโรงเรียน B ทั้งนี้ B2 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 82.11

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มี 2 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งไม่พบการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นวัฏจักรระหว่างชั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา นอกจากนี้ ไม่พบข้อผิดพลาดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

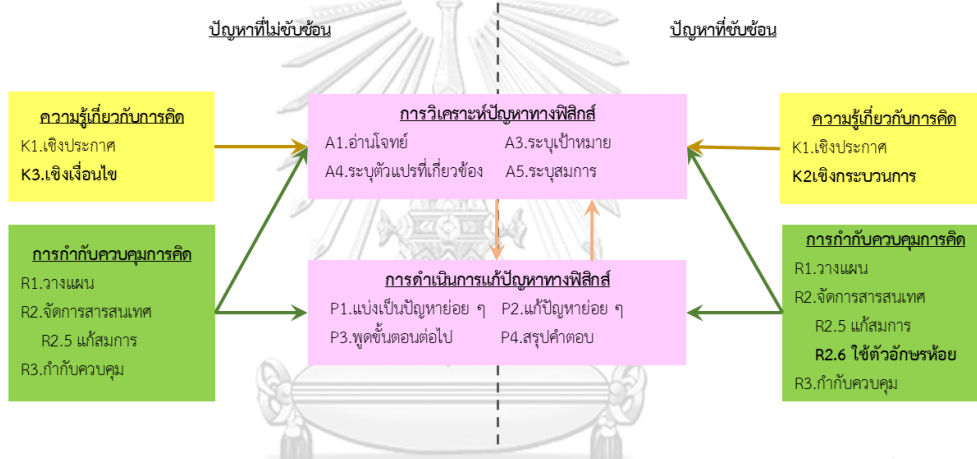
การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่ไม่พบในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ การแก้ไขข้อผิดพลาด และการประเมินผล นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ พบว่ากลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศ ได้แก่ การใช้ตัวอักษรห้อยซึ่งพบในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเท่านั้น และองค์ประกอบย่อยการกำกับควบคุมพบในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อนทุกปัญหา และปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนจำนวน 2 ใน 3 ปัญหา

และกลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศที่พบในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทุกปัญหาได้แก่การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจากกรเรียนพิเศษ รวมถึงจากการฝึกฝนทำแบบฝึกหัดที่มีลักษณะเป็นปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งได้มาจากการเรียนพิเศษ ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“เรียนพิเศษครับ คืออาจารย์ที่สอนพิเศษ (ในการแก้โจทย์) เขาคิดอะไรออกมาได้ก่อนก็จะทดไว้ก่อน แล้วก็หาค่าอะไรก็จะค่อย ๆ หามา นอกจากนี้ น่าจะเป็นการทำด้วยตัวเองมากกว่าครับ ส่วนพอเวลาถ้าเกิดซื้อหนังสือมา โจทย์ไหนที่ทำไม่ได้จะให้อาจารย์ที่เรียนพิเศษสอนครับ” (นักเรียนอันดับที่ 7, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 7 นำเสนอได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 7

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

### นักเรียนอันดับที่ 8 นักเรียน A3

นักเรียน A3 เป็นนักเรียนชายซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 79.58 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 3 ของโรงเรียน A ทั้งนี้ A3 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 82.11

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มีครบถ้วนทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเท่านั้น ทั้งนี้ สำหรับปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างขั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้องไปจนถึง



ชั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา อย่างไรก็ตาม นักเรียนมีข้อผิดพลาดในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่ง ได้แก่ การระบุสมการหรือวิธีการแก้ปัญหาไม่ถูกต้อง ซึ่งพบในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม นักเรียนมีการแก้ไขให้ถูกต้องในภายหลัง

การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่พบเฉพาะในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนเท่านั้นได้แก่ความรู้เชิงกระบวนการ และองค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่ไม่พบในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์คือการกำกับควบคุม นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้ในการจัดการสารสนเทศมี 4 ประการ ดังนี้

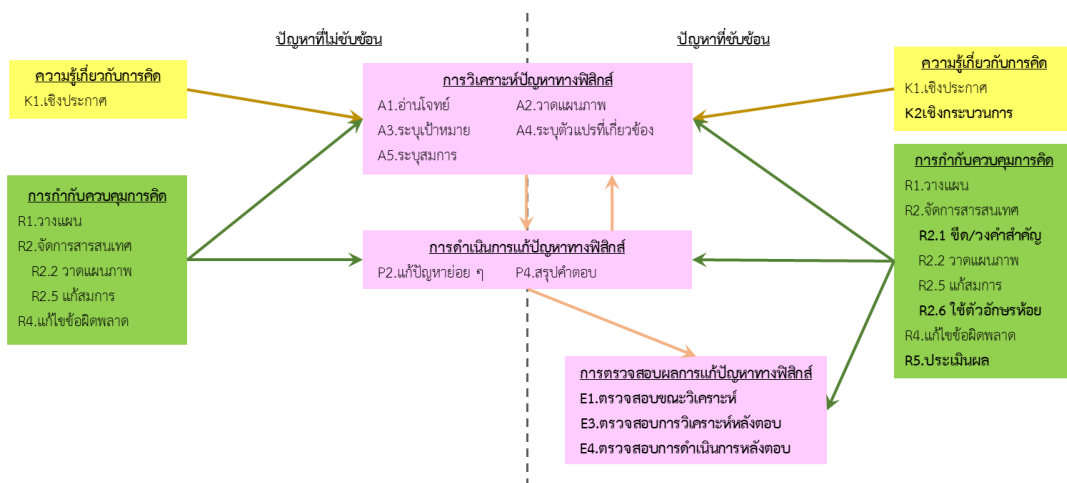
- 1) การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญในปัญหา
- 2) การวาดแผนภาพซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่าจะวาดให้เข้าใจง่ายที่สุดโดยจะระบุเฉพาะรายละเอียดที่จำเป็นเท่านั้นลงในแผนภาพ
- 3) การเขียนตัวอักษรห้อย ซึ่งพบมากในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน
- 4) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจากการสอนของครู การทำแบบฝึกหัดหรือแบบทดสอบที่มีปัญหาทางฟิสิกส์ในชั้นเรียน การอภิปรายกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับเพื่อน การสืบค้นจากหนังสือหรืออินเทอร์เน็ตกรณีแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ยาก และการเรียนพิเศษซึ่งไม่มากนักเทียบกับที่มานอื่น ๆ ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“เรียนจากที่โรงเรียนครับ โจทย์ก็เป็นโจทย์ที่อาจารย์มอบให้ แบบฝึกหัดในห้อง แล้วก็ข้อสอบครับ มีจากที่เรียนพิเศษเล็กน้อยครับแต่ไม่มากนัก ส่วนเวลาเราสงสัยหรือเพื่อนสงสัยเกี่ยวกับโจทย์ก็จะมีช่วยกันบ้างครับ ก็ได้ทบทวนความรู้แล้วก็แก้จุดที่อาจจะเข้าใจผิดครับ แล้วก็มีการอ่านหนังสือและการสืบค้นจากอินเทอร์เน็ตบ้างเวลาอาจารย์ให้โจทย์ที่ยาก ๆ แล้วหาวิธีทำไม่ได้ครับ”  
(นักเรียนอันดับที่ 8, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 8 นำเสนอได้ดังรูปที่ 16





รูปที่ 16 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 8

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามหนึ่งเท่านั้น

นักเรียนอันดับที่ 9 นักเรียน C2

นักเรียน C2 เป็นนักเรียนชายซึ่งมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ร้อยละ 72.29 ซึ่งมีคะแนนเป็นลำดับที่ 3 ของโรงเรียน C ทั้งนี้ C2 มีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดร้อยละ 70.53

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ใช้มีครบถ้วนทั้ง 3 กระบวนการ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ ในปัญหาที่ซับซ้อน นักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์และการดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรระหว่างชั้นการระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้อง จนถึงขั้นการแทนค่าตัวแปรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์พบในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อนมากกว่าปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน และพบเพียง 1 ปัญหาในแต่ละกรณีเท่านั้น ทั้งนี้ ข้อผิดพลาดที่ทำให้นักเรียนไม่สามารถหาคำตอบได้ถูกต้องในปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อนมี 2 ประการ ดังนี้

- 1) การระบุเป้าหมายการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ถูกต้อง เช่น ตัวแปรที่ต้องหาคืออัตราเร็วเฉลี่ย แต่นักเรียนระบุว่าต้องหาความเร็วเฉลี่ย
- 2) การระบุสมการหรือวิธีการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ถูกต้อง เช่น จากกราฟความเร็วกับเวลา สมการที่ต้องใช้คือ ความเร่งเฉลี่ยต้องคำนวณจากความชัน แต่นักเรียนใช้สมการพื้นที่ใต้กราฟในการคำนวณ

การรู้คิดที่นักเรียนใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นมีครบถ้วนทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด ทั้งนี้ องค์ประกอบย่อยของการรู้คิดที่พบเฉพาะในปัญหาทางฟิสิกส์

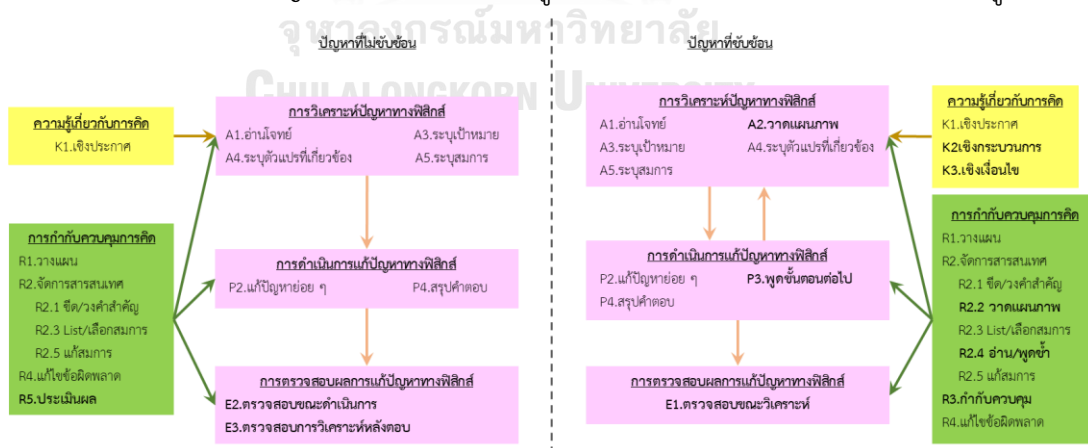
ที่ซับซ้อน ได้แก่ ความรู้เชิงกระบวนการ และการกำกับควบคุม นอกจากนี้ ในระหว่างที่นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา จะพบการวางแผนและความรู้เกี่ยวกับการคิดร่วมด้วยเสมอ และในระหว่างที่นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จะพบการจัดการสารสนเทศในลักษณะของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการร่วมด้วยเสมอ ทั้งนี้ กลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศซึ่งพบในปัญหาที่ซับซ้อนมากกว่าปัญหาที่ไม่ซับซ้อนมี 5 ประการ ดังนี้

- 1) การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญในปัญหาทางฟิสิกส์
- 2) การวาดแผนภาพ
- 3) การอ่านหรือพูดทวนซ้ำ ๆ ในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
- 4) การเขียนชุดของสมการจำนวนมากแล้วเลือกเฉพาะสมการที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนทำเพื่อทบทวนว่านักเรียนจดจำสมการที่เกี่ยวข้องสมการใดได้บ้างซึ่งใช้กับเนื้อหาที่ไม่ได้ทบทวนมานานและอาจลืมได้
- 5) การใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้สมการ ซึ่งพบในทุกปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนใช้มีที่มาจากการเรียนรู้กับครูที่โรงเรียน การเรียนพิเศษ รวมถึงการฝึกทำแบบฝึกหัดที่มีลักษณะเป็นปัญหาทางฟิสิกส์ และการอ่านหนังสือ ดังตัวอย่างบทสนทนาในการสัมภาษณ์ดังนี้

“มีฝึกทำโจทย์ที่บ้าน แล้วก็ฝึกที่กวดวิชาบ้างอะครับ อย่างเช่น วิธีคิด วิธีเขียน วิธีวาดรูป การขีดเส้นใต้ ก็มีฝึกด้วยตนเองกับกวดวิชาจนเป็นนิสัยตัวเองไปแล้วครับ แล้วก็ฝึกจากหนังสืออะครับ” (นักเรียนอันดับที่ 9, ธ.ค. 63)

กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 9 นำเสนอได้ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนอันดับที่ 9

หมายเหตุ: ข้อความที่แสดงตัวหนาหมายถึงพฤติกรรมที่พบในปัญหาที่ไม่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามอย่างหนึ่งเท่านั้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร เป็นการวิจัยแบบผสมวิธี ซึ่งแบ่งการศึกษาเป็น 2 ระยะ ดังนี้

การวิจัยระยะที่ 1 กำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย 2 ประการ ได้แก่ เพื่อสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร และเพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครกับข้อมูลเชิงประจักษ์ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 187 คนซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน เครื่องมือในการวิจัยได้แก่แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และแบบวัดการรู้คิด การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติบรรยายและการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

การวิจัยระยะที่ 2 มีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อวิเคราะห์กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานคร ที่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี ผู้ให้ข้อมูลสำคัญเป็นนักเรียนมีคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยระยะที่ 1 สูงสุด 3 อันดับแรกจาก 3 โรงเรียน รวมทั้ง 9 คน เครื่องมือในการวิจัยได้แก่แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สำหรับนักเรียนและสำหรับผู้วิจัย การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์เนื้อหา โดยนำเสนอสรุปผลการวิจัยอภิปรายผล และข้อเสนอแนะการวิจัยดังนี้

#### 1. สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยนำเสนอตามระยะของการวิจัย ดังนี้

### การวิจัยระยะที่ 1

1) ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อยู่ในระดับปานกลาง ( $\bar{X} = 49.12$ ,  $SD = 19.35$ ) ซึ่งองค์ประกอบในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลางและควรปรับปรุง และการรู้คิดอยู่ในระดับสูง ( $\bar{X} = 68.32$ ,  $SD = 8.54$ ) ซึ่งองค์ประกอบของการรู้คิดมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง

2) กรอบแนวคิดการวิจัยสอดคล้องกับหลักฐานเชิงประจักษ์ ( $\chi^2 = 9.19$ ,  $df = 11$ ,  $p\text{-value} = 0.60$ ,  $RMSEA = 0.00$ ,  $RMR = 0.02$ ,  $SRMR = 0.02$ ,  $GFI = 0.99$ ,  $AGFI = 0.96$ ) โดยการรู้คิดมีอิทธิพลทางบวกในระดับสูงต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้ น้ำหนักองค์ประกอบทั้งหมดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการรู้คิดมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

### การวิจัยระยะที่ 2

3) นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ นักเรียนใช้การรู้คิดทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิดในระหว่างกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ การฝึกฝนด้วยตนเอง การสืบค้นจากแหล่งสืบค้นในกรณีที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ การเรียนกับครูที่โรงเรียน การเรียนพิเศษ และการแลกเปลี่ยนกับเพื่อนเมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ

## 2. อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยแยกตามระยะของการวิจัยดังนี้

### การอภิปรายผลการวิจัยระยะที่ 1

#### 1. นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาฟิสิกส์ในระดับปานกลาง

จากการศึกษาพบว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาฟิสิกส์ในระดับปานกลาง ( $\bar{X} = 49.12$ ,  $SD = 19.35$ ) สอดคล้องกับงานวิจัยของอมรรัตน์ บุบผะโชติ (2558) ซึ่งพบว่านักเรียนโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาในกรุงเทพมหานครแห่งหนึ่งที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็น 38.48 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 50 เช่นกัน ทั้งนี้การที่นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาฟิสิกส์เพียงระดับปานกลางอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากนักเรียนไม่สามารถจดจำสมการหรือหลักการทางฟิสิกส์ได้ จึงทำให้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ไม่ได้ ซึ่งสังเกตได้จากข้อมูลจากแบบทดสอบของนักเรียนที่มีการไม่ได้ระบุสมการทางพีสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา หรือมีการระบุสมการทางพีสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาแต่สมการไม่ถูกต้อง ซึ่งทำให้นักเรียนไม่สามารถแทนค่าตัวแปรเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องได้ นอกจากนี้เมื่อทำการสัมภาษณ์นักเรียนที่แก้ปัญหามิทางพีสิกส์ได้ดีในการวิจัยระยะที่ 2 เกี่ยวกับปัญหาทางพีสิกส์ที่นักเรียนแก้ไม่ได้ นักเรียนมีการระบุว่าตนเองไม่สามารถจดจำสมการทางพีสิกส์ที่เกี่ยวข้องได้จึงทำให้ไม่สามารถแก้ปัญหามิทางพีสิกส์ได้ ดังตัวอย่างคำพูดของนักเรียนต่อไปนี้

“ส่วนที่ทำให้คิดไม่ได้ก็คือ อ่า เราหลงลืมในบทเรียน หลงลืมในสูตร หรือเขียนสูตรออกมาผิด ครับ ทำให้ ถ้าเราเขียนสูตรผิดตั้งแต่แรก จะคิดยังไงมันก็ผิด ครับ” (นักเรียน A3, ธ.ค. 63)

“ความรู้หรือสมการก็ช่วยให้เราแก้โจทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพค่ะ บางทีก็เข้าใจโจทย์ แต่ถ้าลืมสูตรก็จบ บางครั้งการจำสูตรได้ก็จำเป็นนะคะ” (นักเรียน B3, ธ.ค. 63)

แนวคิดข้างต้นสอดคล้องกับผลการสำรวจของ Reddy & Panacharoensawad (2017) เกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหามิทางพีสิกส์ตามการรับรู้ของนักศึกษาพีสิกส์ในประเทศอินเดีย จำนวน 303 คน โดยพบว่านักศึกษาร้อยละ 80.5 ระบุว่าความสามารถในการจดจำสมการทางพีสิกส์ที่เกี่ยวข้องเป็นอุปสรรคต่อการแก้ปัญหามิทางพีสิกส์ในระดับมากและมากที่สุด

นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบของการแก้ปัญหามิที่นักเรียนได้คะแนนต่ำสุดคือองค์ประกอบในด้านการระบุขนาดของคำตอบซึ่งอยู่ในระดับควรปรับปรุงอาจเป็นเพราะธรรมชาติของการแก้ปัญหามิลักษณะขององค์ประกอบที่เป็นขั้นตอนที่มีลำดับ ได้แก่ ระบุตัวแปร ระบุสมการ กระบวนการภาพรวม ระบุขนาดของคำตอบ และระบุหน่วย ซึ่งจะเห็นได้ว่า การระบุขนาดของคำตอบ จำเป็นจะต้องอาศัยขั้นตอนก่อนหน้า ในการระบุทั้งตัวแปร สมการ และกระบวนการภาพรวม ในการแก้ปัญหามิที่ถูกต้องเสียก่อน ดังนั้นเมื่อนักเรียนเกิดข้อผิดพลาดในการแก้ปัญหามิเพียงองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งข้างต้นก็จะทำให้การระบุขนาดคำตอบผิดพลาดด้วย สอดคล้องกับแนวคิดเกี่ยวกับกลยุทธ์การแก้ปัญหามิทางพีสิกส์ของ Gok (2010) ที่ระบุว่า การระบุหลักการพื้นฐานหรือในที่นี้คือการระบุตัวแปร เป็นขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการแก้ปัญหามิทางพีสิกส์ ซึ่งนักเรียนจะต้องมีการทำให้ปัญหามิทางพีสิกส์ที่กำหนดให้ง่ายขึ้นโดยอาศัยการวาดแผนภาพหรือเขียนระบุปริมาณพื้นฐานทางพีสิกส์ รวมถึงนักเรียนต้องมีการระบุปริมาณที่ต้องการทราบอย่างเฉพาะเจาะจง และต้องนำเสนอหลักการหรือมโนทัศน์ที่สอดคล้องกับปัญหามิทางพีสิกส์นั้น ๆ

## 2. นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดในระดับสูง

จากการวิจัยพบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดในระดับสูง ( $\bar{X} = 68.32$ ,  $SD = 8.54$ ) อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า แม้ว่านักเรียนจะมีคะแนนเฉลี่ยการรู้คิดในระดับสูง แต่ความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนอยู่เพียงระดับปานกลาง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากได้ดังนี้

ประการที่ 1 การที่นักเรียนมีการรู้คิดที่ดีแต่ไม่สามารถจดจำหรือประยุกต์สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ อาจทำให้นักเรียนไม่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้อย่างประสบความสำเร็จ ซึ่งสังเกตได้จากการสัมภาษณ์นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีจากการวิจัยระยะที่ 2 เกี่ยวกับปัญหาทางฟิสิกส์ที่นักเรียนแก้ไม่ได้ โดยนักเรียนระบุว่าเกิดจากการที่นักเรียนไม่สามารถจดจำสมการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์ได้ และนักเรียนระบุเพิ่มเติมว่าถ้าตนเองสามารถจดจำสมการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางฟิสิกส์ได้ นักเรียนจะสามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ สอดคล้องกับแนวคิดของ Gok (2010) ที่ระบุว่า นักเรียนจะต้องมีการนำเสนอปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยมโนทัศน์และหลักการ นอกจากนี้สอดคล้องกับแนวคิดเกี่ยวกับการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Nikat et al. (2017: 1241) ที่ระบุว่าในการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ควรมีการให้ความสำคัญกับสมการทางฟิสิกส์ซึ่งมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่าประเด็นการประเมินอื่น ๆ จากแนวคิดข้างต้นแสดงให้เห็นว่าหากนักเรียนมีการรู้คิดแต่ไม่สามารถระบุสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องได้ นักเรียนจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประการที่ 2 ความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการวิจัยครั้งนี้มีลักษณะเป็นแบบวัดที่จำกัดเวลาและไม่อนุญาตให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมในการแก้ปัญหา ดังนั้นแม้ว่านักเรียนจะแสดงออกถึงการรู้คิดในการแก้ปัญหาฟิสิกส์ว่านักเรียนรู้อะไรเกี่ยวกับการแก้ปัญหา และต้องการเครื่องมือหรือความรู้ใดที่จะสามารถช่วยนักเรียนให้สามารถแก้ปัญหาได้สำเร็จ แต่ นักเรียนไม่มีโอกาสในการสืบค้น หรือขอความช่วยเหลือจากบุคคลรอบข้างในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งมีความแตกต่างจากบริบทของการรู้คิดที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในบริบทชีวิตประจำวัน ซึ่งนักเรียนอาจจะมีโอกาสสืบค้นหรือขอความช่วยเหลือจากบุคคลรอบข้างได้ ข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับผลการสัมภาษณ์เพิ่มเติมนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีซึ่งมีการระบุว่า ในการแก้ปัญหาโจทย์ข้อที่นักเรียนทำไม่ได้ นั้น นักเรียนรับรู้ตนเองว่าไม่สามารถจดจำสมการที่จะต้องใช้ในการแก้ปัญหาโจทย์ข้อนั้นได้ ทั้งที่นักเรียนทราบว่า จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไปอย่างไร ดังตัวอย่างบทสัมภาษณ์ดังนี้

“สิ่งที่ช่วยให้แก้โจทย์ได้ คือ การรู้สูตรหรือสมการ ถ้าเราหลงลืมบทเรียน เขียนสูตรผิด คำตอบก็จะผิด แต่ถ้าเรารู้สูตรทั้งหมด เมื่อเราติดตัวแปรหนึ่ง เราสามารถใช้เชื่อมโยงไปยังอีกสูตรหนึ่งได้ ถ้าสูตรตรงนี้ ก็สามารถแก้โจทย์ได้ ไม่มีปัญหา” (นักเรียน A3, ธ.ค. 63)

นอกจากนี้ข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Taasobshirazi & Farley (2013b: 453 - 454) และ Taasobshirazi et al. (2015) ที่ระบุว่า การแก้ไขข้อผิดพลาดเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการรู้คิด โดยตัวอย่างพฤติกรรมที่แสดงถึงการแก้ไขข้อผิดพลาดเช่น การขอความช่วยเหลือในกรณีที่ไม่เข้าใจปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นต้น

### 3. กรอบแนวคิดการวิจัยสอดคล้องกับหลักฐานเชิงประจักษ์

จากการวิจัยพบว่ากรอบแนวคิดที่การวิจัยที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งเป็นการยืนยันว่า การรู้คิดมีอิทธิพลทางบวกต่อการแก้ปัญหาฟิสิกส์ สอดคล้องกับแนวคิดของ Gok (2010) ที่ระบุว่า การรู้คิดช่วยให้เข้าใจสิ่งที่ตนเองคิดในระหว่างที่ดำเนินการปัญหาทางฟิสิกส์ได้ และสอดคล้องกับแนวคิดของ Docktor (2006) ที่ระบุว่า การจะจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนทางฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องอาศัยการวางแผนในการแก้ปัญหาซึ่งต้องอาศัยการควบคุมตนเองในการดำเนินการตามแผนที่ตั้งไว้ และการตรวจสอบว่ากลยุทธ์ต่าง ๆ ที่ใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้นใช้ได้ผลหรือไม่

นอกจากนี้จากผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าความรู้เกี่ยวกับการคิดมีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงกว่าการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งเป็นการยืนยันแนวคิดของ Veenman (2012) ที่อธิบายความสำคัญของความรู้เกี่ยวกับการคิดโดยเฉพาะในองค์ประกอบด้านความรู้เชิงเงื่อนไขและความรู้เชิงกระบวนการเป็นพื้นฐานสำคัญของการกำกับควบคุมการคิด เนื่องจากหากปราศจากความรู้เกี่ยวกับการคิดในทั้งสององค์ประกอบที่กล่าวมาจะทำให้ผู้เรียนไม่ทราบกลยุทธ์การแก้ปัญหา วิธีการแก้ปัญหา และการปรับใช้กลยุทธ์และวิธีการในเหตุการณ์และสถานการณ์ที่เหมาะสม จนทำให้ไม่สามารถไปถึงการกำกับควบคุมการคิดได้

#### การอภิปรายผลการวิจัยระยะที่ 2

จากการวิจัยระยะที่ 2 ซึ่งพบว่า นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ นักเรียนใช้การรู้คิดทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิดในระหว่างกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และที่มาของกระบวนการ

แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ การฝึกฝนด้วยตนเอง การสืบค้นจากแหล่งสืบค้นในกรณีที่เกิดปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ การเรียนกับครูที่โรงเรียน การเรียนพิเศษ และการแลกเปลี่ยนกับเพื่อนเมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สำเร็จ ผู้วิจัยได้อภิปรายผลการวิจัยดังกล่าวใน 3 ประเด็นได้แก่ 1) นักเรียนใช้การรู้คิดในกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ 2) เมื่อนักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน นักเรียนมีการคิดกลับไปกลับมาในกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ รวมถึงมีการแบ่งปัญหาเป็นปัญหาย่อย ๆ การระบุขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ขั้นตอนถัดไป และนักเรียนแสดงออกถึงองค์ประกอบย่อยของการรู้คิดมากกว่าการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อน และ 3) นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีมีการฝึกด้วยตนเองและอภิปรายกับเพื่อนเมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยตนเองไม่ได้

รายละเอียดการอภิปรายมีดังต่อไปนี้

### 1. นักเรียนใช้การรู้คิดในกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ การดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และการตรวจสอบผลการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ นอกจากนี้นักเรียนใช้การรู้คิดในกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งใช้ทั้งความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิด โดยกลยุทธ์ที่นักเรียนใช้จัดการสารสนเทศได้แก่การขีดเส้นใต้หรือวงกลมคำสำคัญ การวาดแผนภาพ การอ่านหรือพูดทวนซ้ำ และการใช้ตัวอักษรห้อย ข้อค้นพบข้างต้นสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างในการวิจัยที่สรุปได้ว่าการรู้คิดมีอิทธิพลทางบวกในระดับสูงต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หรือกล่าวได้ว่าการรู้คิดมีส่วนช่วยเสริมเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้จริง ทั้งนี้ ผลการวิจัยข้างต้นสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Ali et al. (2016) ที่พบว่า นักศึกษาฟิสิกส์ส่วนมากในประเทศมาเลเซียมีการใช้การกำกับควบคุมการคิดในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เมื่อนักเรียนมีการวิเคราะห์ปัญหาทางฟิสิกส์ในลักษณะของการระบุเป้าหมาย รวมถึงตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้องทางฟิสิกส์ นักเรียนจะแสดงออกถึงความรู้เกี่ยวกับการคิดและการกำกับควบคุมการคิดในลักษณะของการวางแผนในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Taasobshirazi et al. (2015) และ Schraw & Dennison (1994: 474) ที่ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบย่อยของการรู้คิดว่า ความรู้เชิงประกาศเป็นความรู้เกี่ยวกับตนเองในฐานะของผู้แก้ปัญหา และการวางแผนเป็นการตั้งเป้าหมายรวมถึงออกแบบวิธีการบรรลุเป้าหมายต่าง ๆ



2. เมื่อนักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ซับซ้อน นักเรียนจะแบ่งปัญหาทางฟิสิกส์เป็นปัญหาย่อย ๆ และดำเนินการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นวัฏจักรหลายวัฏจักรเพื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาย่อย ๆ ทีละปัญหา และแสดงออกถึงองค์ประกอบย่อยของการรู้คิดมากกว่าการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ไม่ซับซ้อน

ผลการวิจัยข้างต้นอาจเป็นเพราะว่าปัญหาที่ซับซ้อนจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการคิดหลายขั้นตอนซึ่งกระตุ้นให้นักเรียนต้องอาศัยความพยายามในการจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้น จึงกระตุ้นให้นักเรียนใช้การรู้คิดได้มากกว่า และเนื่องจากปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อนในการวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องอาศัยการหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มาแทนค่าในขั้นตอนต่อไปเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบของปัญหาทางฟิสิกส์ นักเรียนจึงอาจต้องคิดทบทวนรวมถึงระบุตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มากกว่า 1 ครั้งทำให้เกิดการคิดกลับไปมาในระหว่างแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ จึงพบการคิดออกเสียงเกี่ยวกับการแบ่งปัญหาทางฟิสิกส์เป็นปัญหาย่อย ๆ และการพูดขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ขั้นตอนถัดไป สอดคล้องกับแนวคิดของ Martinez (2006) ที่ระบุว่า กระบวนการแก้ปัญหามีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการคิดมากกว่าการคิดทั่วไป เช่น การคิดย้อนกลับเพื่อทบทวนการทำตามแผนและการปรับเปลี่ยนแผนเพื่อให้บรรลุเป้าหมายได้โดยใช้คำถามต่าง ๆ เช่น เรากำลังต้องการอะไร เราควรใช้วิธีการได้ กลยุทธ์ที่เราจะใช้ได้ผลหรือไม่ เป็นต้น เมื่อนักเรียนเผชิญกับปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น จึงต้องอาศัยการกำกับควบคุมการคิดของตนเองมากขึ้นตามไปด้วยรวมถึงมีการคิดย้อนกลับกลับไปกลับมาในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การแบ่งปัญหาทางฟิสิกส์เป็นปัญหาย่อย ๆ และการพูดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ขั้นตอนถัดไป ได้เช่นกัน

3. นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีมีการฝึกด้วยตนเองและอภิปรายกับเพื่อนเมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยตนเองไม่ได้

ผลการวิจัยระยะที่ 2 พบว่า นักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีมีการฝึกฝนด้วยตนเอง ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยตนเอง นักเรียนได้ใช้ความรู้และกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่ตนเองมีอยู่ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งมีทั้งปัญหาทางฟิสิกส์ที่แก้โดยอาศัยความรู้และกลยุทธ์ที่มีอยู่ได้ และมีทั้งปัญหาทางฟิสิกส์ที่แก้โดยอาศัยความรู้และกลยุทธ์ที่มีอยู่ไม่ได้ ซึ่งทำให้นักเรียนต้องจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์โดยอาศัยความรู้และกลยุทธ์อื่น ๆ เพิ่มเติม และเมื่อแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้สำเร็จ นักเรียนจึงสร้างข้อสรุปเกี่ยวกับความรู้และกลยุทธ์ต่าง ๆ ขึ้นเพื่อใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์อื่น ๆ ต่อไป สอดคล้องกับแนวคิดทฤษฎีการเรียนรู้สรุคนิยมของ Piaget ที่ระบุว่า เมื่อนักเรียน

เผชิญหน้ากับปัญหาที่ไม่สามารถอาศัยความรู้และประสบการณ์เดิมในการแก้ได้ นักเรียนจะปรับโครงสร้างทางปัญญาเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาเพื่อให้เกิดภาวะสมดุลขึ้น (Ormrod et al., 2006) และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาการรู้คิดของ Simons (1994) ที่ระบุว่ากระบวนการต่าง ๆ เช่น การที่นักเรียนสร้างความตระหนักเกี่ยวกับการใช้งานความรู้รวมถึงทักษะ และฝึกใช้ความรู้และทักษะต่าง ๆ ในการเรียนรู้ รวมถึงกลยุทธ์การเรียนรู้และทักษะการกำกับตนเองอย่างสม่ำเสมอในเวลาที่เหมาะสม เป็นต้น จะเสริมสร้างการรู้คิดของนักเรียนได้ โดยการวางแผนการรู้คิดซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการรู้คิดจะมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้นั้นเอง (Taasobshirazi & Farley, 2013a)

ทั้งนี้ เมื่อนักเรียนไม่สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ด้วยตนเอง นักเรียนจะหาทางออกโดยการอภิปรายกับเพื่อน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่านักเรียนอาศัยการรู้คิดในองค์ประกอบย่อยการแก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้สามารถจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์ได้สำเร็จ ซึ่งในการแก้ไขข้อผิดพลาดที่ไม่สามารถจัดการกับปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยตนเองได้ นักเรียนจึงอาศัยขอความช่วยเหลือจากบุคคลรอบข้างเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้สำเร็จ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Taasobshirazi et al. (2015) และ Schraw & Dennison (1994: 474) ที่ระบุรายละเอียดขององค์ประกอบย่อยการแก้ไขข้อผิดพลาดของการรู้คิดว่าเป็นกลยุทธ์ที่นักเรียนใช้เรียนรู้หรือแก้ปัญหาที่ผิดพลาดให้ถูกต้อง และสอดคล้องกับแนวคิดทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยมนเชิงสังคมของ Vygotsky (Meece, 2002 อ้างถึงใน Schunk, 2012) ที่ระบุว่า ความรู้สามารถสร้างขึ้นจากการที่นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นได้ โดยเมื่อนักเรียนอยู่ใน Zone of Proximal Development ซึ่งเป็นสถานะที่นักเรียนจะสามารถแก้ปัญหาที่ต่อเมื่ออาศัยความช่วยเหลือจากบุคคลอื่น การที่นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับแนวทางในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับเพื่อนจึงทำให้สามารถสร้างความรู้หรือประสบการณ์ใหม่เพื่อช่วยให้สามารถแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาเดิมให้ประสบความสำเร็จได้ และนำความรู้หรือประสบการณ์ใหม่นี้ไปใช้ในบริบทอื่น ๆ ได้ต่อไป

### 3. ข้อเสนอแนะการวิจัย

ข้อเสนอแนะการวิจัยนำเสนอเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งถัดไป ซึ่งเป็นดังนี้

#### ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1) ครูสามารถใช้ผลการวิจัยเกี่ยวกับผลการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในการพัฒนานักเรียน โดยมีตัวอย่างดังนี้

1.1) ครูควรฝึกให้นักเรียนระบุตัวแปรและสมการให้ถูกต้องก่อนจะสอนกระบวนการแก้ปัญหาทางพีลิสต์ เนื่องจากการระบุตัวแปรและสมการที่ถูกต้องเป็นพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นในการนำไปสู่คำตอบที่ถูกต้อง หากปราศจากพื้นฐานดังกล่าวแล้ว แม้ว่านักเรียนจะเข้าใจกระบวนการแก้ปัญหาทางพีลิสต์แต่อาจจะไม่สามารถนำไปสู่คำตอบของปัญหาทางพีลิสต์ที่ถูกต้องได้ ซึ่งการให้นักเรียนฝึกระบุตัวแปรและสมการสามารถทำได้โดยใช้แนวทางดังนี้

1.1.1) ครูควรให้ผลป้อนกลับทันทีในกระบวนการสอนขณะที่นักเรียนระบุตัวแปรและสมการไม่ถูกต้อง รวมถึงเสริมแรงเมื่อนักเรียนสามารถระบุตัวแปรและสมการได้อย่างถูกต้อง จากนั้นจึงให้นักเรียนลงมือแก้ปัญหาทางพีลิสต์ตามลำดับ

1.1.2) ในการระบุตัวแปรและสมการ ครูสามารถใช้สนับสนุนให้นักเรียนใช้การรู้คิดในการระบุตัวแปรและสมการได้ เช่น ครูให้นักเรียนคิดออกเสียง (Think Aloud) รวมถึงใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนพิจารณากระบวนการคิดหรือกลยุทธ์ของตนเองเพื่อระบุตัวแปรและสมการ และให้เวลานักเรียนฝึกฝนใช้กลยุทธ์ในการระบุตัวแปรและสมการอย่างเหมาะสม เป็นต้น (Simons, 1994; Papeontiou-louca, 2003)

1.1.3) ในการแก้ปัญหาทางพีลิสต์ที่มีความซับซ้อน ครูควรสอนให้นักเรียนแตกปัญหาทางพีลิสต์เป็นปัญหาย่อย ๆ และช่วยให้นักเรียนตระหนักถึงกระบวนการคิดแก้ปัญหาทางพีลิสต์ซึ่งสามารถดำเนินการเป็นวัฏจักรต่อเนื่องไปที่ละปัญหาได้ โดยครูอาจให้นักเรียนเริ่มต้นวางแผนการแก้ปัญหาทางพีลิสต์ในลักษณะของการระบุตัวแปรหลักที่ต้องการทราบค่า จากนั้นให้พิจารณาว่าควรดำเนินการอย่างไร หรือควรหาตัวแปรใดก่อน รวมถึงควรใช้สมการใดเพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแปรหลักที่ต้องการ จากนั้นให้นักเรียนแก้ปัญหาทางพีลิสต์แล้วใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนสังเกตเกี่ยวกับกระบวนการคิดที่กลับไปกลับมาซึ่งมีทั้งการระบุตัวแปรหลักที่เป็นเป้าหมายที่ต้องการรวมถึงสมการทางพีลิสต์ที่เกี่ยวข้องในระหว่างการแก้ปัญหาทางพีลิสต์ เมื่อนักเรียนตั้งข้อสังเกตในลักษณะดังกล่าว จะเกิดเป็นความรู้เชิงกระบวนการซึ่งนำไปใช้แก้ปัญหาทางพีลิสต์ที่ซับซ้อนในบริบทอื่น ๆ ต่อไปได้

1.2) ครูสามารถให้นักเรียนใช้การรู้คิดในการแก้ปัญหาทางพีลิสต์ได้โดยใช้แนวทางต่าง ๆ ดังนี้

1.2.1) ครูสามารถเน้นย้ำให้นักเรียนเกิดความรู้เกี่ยวกับการคิดซึ่งเป็นองค์ประกอบของการรู้คิดที่มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงกว่าการกำกับควบคุมการคิด โดยอาจให้นักเรียนลองใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาทางพีลิสต์แล้วสร้างข้อสรุปเป็นความรู้เกี่ยวกับการคิดที่ชัดเจนทั้งในกรณีที่แก้ปัญหาได้ประสบความสำเร็จและไม่ประสบความสำเร็จ แล้วอาจให้

นักเรียนใช้กลยุทธ์ที่สรุปมาในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ต่อไป เช่น ครูให้นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยตนเองเป็นรายบุคคล จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายว่ากระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการรู้คิดมีส่วนช่วยให้แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ประสบความสำเร็จหรือไม่ อย่างไร จากนั้นจึงให้นักเรียนนำข้อสรุปที่ได้ไปทดลองใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยตนเองในหัวข้อถัดไป เป็นต้น

1.2.2) ครูสามารถแนะนำให้นักเรียนใช้กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การรู้คิด และกลยุทธ์การจัดการสารสนเทศ ที่สอดคล้องกับกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การรู้คิด และกลยุทธ์การจัดการสารสนเทศของนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี ทั้งนี้ ครูสามารถให้นักเรียนใช้การรู้คิดในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ให้สอดคล้องกับธรรมชาติของปัญหาทางฟิสิกส์ปัญหาต่าง ๆ เช่น การวาดแผนภาพในปัญหาที่ควรวาดแผนภาพ การพูดหรือเขียนเพื่อกำกับตนเองในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นต้น

2) นักการศึกษาและนักวัดประเมินผลสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ได้ดังนี้

2.1) นักการศึกษาสามารถนำเสนอแนวทางในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดให้สอดคล้องกับขนาดอิทธิพลและน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานของความสามารถทั้งสองประการจากการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงสามารถสอดแทรกกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การรู้คิด และกลยุทธ์การจัดการสารสนเทศของนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีจากการวิจัยครั้งนี้ ในแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด

2.2) นักวัดประเมินผลสามารถกำหนดองค์ประกอบและน้ำหนักความสำคัญในการวัดองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดให้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างที่นำเสนอในการวิจัยครั้งนี้

2.3) นักการศึกษาและนักวัดประเมินผลสามารถใช้แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และแบบวัดการรู้คิดจากการวิจัยครั้งนี้ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา ความเที่ยง และความตรงเชิงโครงสร้าง ในการสำรวจความสามารถทั้งสองประการในบริบทอื่น ๆ ได้ รวมถึงใช้วัดความสามารถทั้งสองประการเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถทั้งสองประการกับความสามารถอื่น ๆ ที่ถูกระบุไว้ในเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้

3) ผู้กำหนดนโยบายทางการศึกษาสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ได้ โดยสามารถกำหนดนโยบายเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิดให้สอดคล้องกับผลการสำรวจความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด รวมถึงสอดคล้องกับ

ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างในการวิจัยครั้งนี้ โดยสามารถสอดแทรกกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ การรู้คิด และกลยุทธ์การจัดการสารสนเทศของนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี ในแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งถัดไป

1) ควรมีการนำผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างข้างต้นไปพัฒนารูปแบบการสอนที่มุ่งส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์โดยใช้การรู้คิดเป็นตัวแปรหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ นอกจากนี้ควรมีการตรวจสอบผลการพัฒนารูปแบบการสอนข้างต้น

2) ควรมีการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างการรู้คิดกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในบริบทโรงเรียนในสังกัดอื่น ๆ ซึ่งสามารถศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างกลุ่มพหุ (Multiple-Group Structural Equation Model) ได้

3) ควรมีการศึกษาเชิงลึกว่าที่มาของกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนซึ่งมาจากการจัดการเรียนรู้ว่าจะเป็นโดยครูที่โรงเรียนหรือการเรียนพิเศษ การจัดการเรียนรู้ที่ใช้มีลักษณะเป็นอย่างไร โดยสามารถศึกษาทั้งกลุ่มนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีและกลุ่มนักเรียนที่แก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ไม่ดี ผลการวิจัยที่ได้จะทำให้ทราบได้ว่าองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้องค์ประกอบใดบ้างที่มีความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับการที่นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดี

### บรรณานุกรม

- Ali, M., Abd-Talib, C., Ibrahim, N. H., Surif, J., & Abdullah, A. H. (2016). The Importance of Monitoring Skills in Physics Problem Solving. *European Journal of Education Studies*.
- Aljaberi, N. M., & Gheith, E. (2015). University Students' Level of Metacognitive Thinking and Their Ability to Solve Problems. *American International Journal of Contemporary Research*, 5(3), 121-134.
- Ambrose, S. A., & Lovett, M. C. (2014). Prior Knowledge is More Than Content: Skills and Beliefs Also Impact Learning *Applying science of learning in education: Infusing psychological science into the curriculum*, (p. 7–19). Retrieved from [https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1286&context=psych\\_facpub](https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1286&context=psych_facpub)
- Belikov, B. (1989). *General Methods for Solving Physics Problems*: Mir Publishers.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*: Sage.
- Deacon, J., & Bamford, R. (1980). Problem Solving applied to a Direct Current Circuit Problem in a Physics Examination. *Research in Science Education*, 10(1), 55-60.
- Docktor, J. L. (2006). *Physics Problem Solving*. Retrieved from
- Docktor, J. L. (2009). *Development and Validation of a Physics Problem-Solving Assessment Rubric*. (Doctor of Philosophy). University of Minnesota,
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive-Developmental Inquiry. *American psychologist*, 34(10), 906.
- Garofalo, J., & Lester Jr, F. K. (1985). Metacognition, Cognitive Monitoring, and Mathematical Performance. *Journal for research in mathematics education*, 163-176.
- Gok, T. (2010). The General Assessment of Problem Solving Processes in Physics Education. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 2(2), 110-122.

- Grotzer, T., & Mittlefehldt, S. (2012). The Role of Metacognition in Students' Understanding and Transfer of Explanatory Structures in Science. In *Metacognition in Science Education* (pp. 79-99): Springer.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (1998). *Multivariate Data Analysis* (Vol. 5): Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Hollabaugh, M. (1995). *Physics Problem Solving*. University of Minnesota,
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional Design Models for Well-Structured and Ill-Structured Problem-Solving Learning Outcomes. *Educational technology research and development*, 45(1), 65-94.
- Jordan, E. A., & Porath, M. (2006). *Educational Psychology: A Problem-Based Approach*: Pearson/A and B.
- Lukie, M. P. (2015). Fostering Student Metacognition and Personal Epistemology in the Physics Classroom through the Pedagogical Use of Mnemonic Strategies. *Alberta Science Education Journal*, 44(1).
- Martinez, M. E. (2006). What is Metacognition? *Phi delta kappan*, 87(9), 696-699.
- Memnun, D. S., & Hart, L. C. (2012). Elementary School Mathematics Teacher Trainees Metacognitive Awareness Levels: Turkey Case. *Journal of International Education Research (JIER)*, 8(2), 173-182.
- Milbourne, J., & Wiebe, E. (2018). The Role of Content Knowledge in Ill-Structured Problem Solving for High School Physics Students. *Research in Science Education*, 48(1), 165-179.
- National Research Council. (2000). How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition [Press release]
- Nikat, R. F., Parno, & Latifah, E. (2017). The Evaluation of Physics Students' Problem-Solving Ability through MAUVE Strategy (Magnitude, Answer, Units, Variables, and Equation). *PEOPLE: International Journal of Social Sciences*, 3(3).
- Niss, M. (2012). Towards a Conceptual Framework for Identifying Student Difficulties with Solving Real-World Problems in Physics. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(1).
- Niss, M. (2018). What is Physics Problem-Solving Competency? The Views of Arnold Sommerfeld and Enrico Fermi. *Science & Education*, 27(3-4), 357-369.

- Ormrod, J. E., Anderman, E. M., & Anderman, L. H. (2006). Educational Psychology: Developing Learners.
- Oz, H. (2016). Metacognitive Awareness and Academic Motivation: A Cross-Sectional Study in Teacher Education Context of Turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 232, 109-121.
- Ozturk, N. (2017). Assessing Metacognition: Theory and Practices. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 4(2).
- Pimvichai, J., Yuenyong, C., Thomas, G. P., & Art-in, S. (2015). Comparison of Metacognitive Orientation between Thai Urban and Rural Physics Classrooms. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(3 S1), 193.
- Pol, H. (2009). *Computer Based Instructional Support during Physics Problem Solving: A Case for Student Control*.
- Reddy, M., & Panacharoensawad, B. (2017). Students Problem-Solving Difficulties and Implications in Physics: An Empirical Study on Influencing Factors. *Journal of Education and Practice*, 8(14), 59-62.
- Reif, F. (1995). Understanding and Teaching Important Scientific thought Processes. *Journal of Science Education and Technology*, 4(4), 261-282.
- Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing Metacognitive Awareness. *Contemporary educational psychology*, 19(4), 460-475.
- Schraw, G., & Graham, T. (1997). Helping Gifted Students Develop Metacognitive Awareness. *Roeper Review*, 20(1), 4-8.
- Schunk, D. H. (2012). *Learning Theories: An Educational Perspective*. (Sixth edition ed.).
- Simons, P. R. J. (1994). Metacognitive Strategies, Teaching and Testing for. *International encyclopedia of education*, 3788-3792.
- Taasobshirazi, G., Bailey, M., & Farley, J. (2015). Physics Metacognition Inventory Part II: Confirmatory Factor Analysis and Rasch Analysis. *International Journal of Science Education*, 37(17), 2769-2786.
- Taasobshirazi, G., & Farley, J. (2013a). A Multivariate Model of Physics Problem Solving. *Learning and Individual Differences*, 24, 53-62.



- Taasoobshirazi, G., & Farley, J. (2013b). Construct Validation of the Physics Metacognition Inventory. *International Journal of Science Education*, 35(3), 447-459.
- Thomas, G. P. (2003). Conceptualisation, Development and Validation of an Instrument for Investigating the Metacognitive Orientation of Science Classroom Learning Environments: the Metacognitive Orientation Learning Environment Scale–Science (MOLES-S). *Learning Environments Research*, 6(2), 175-197.
- Veenman, M. V. (2012). Metacognition in Science Education: Definitions, Constituents, and Their Intricate Relation with Cognition. In *Metacognition in Science Education* (pp. 21-36): Springer.
- White, B., Frederiksen, J., & Collins, A. (2009). The Interplay of Scientific Inquiry and Metacognition. *Handbook of metacognition in education*, 175.
- Yuliati, L., Riantoni, C., & Mufti, N. (2018). Problem Solving Skills on Direct Current Electricity through Inquiry-Based Learning with PhET Simulations. *International Journal of Instruction*, 11(4), 123-138.
- Zouhor, Z., Bogdanović, I., & Segedinac, M. (2016). Effects of the Know-Want-Learn Strategy on Primary School Students' Metacognition and Physics Achievement. *Journal of Subject Didactics*, 1(1), 39-49.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 [Press release]
- จำเนียร จวงตระกูล, & กัญจนวลัย นนทแก้ว แพร์รี่. (2563). การวิจัยแบบผสม: การนำการออกแบบการวิจัยแบบผสมเจ็ดรูปแบบสู่การปฏิบัติ. วารสารชุมชนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 1.
- ธนาวุฒิ ลาตวงษ์. (2559). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบ 5A เพื่อส่งเสริมอภิปัญญาสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น. (การศึกษาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ,
- นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2537). ความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้น (LISREL): สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ [Press release]

- พณนิดา มิ่งมิตร. (2559). ผลของแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมนทัศน์ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและมนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ครุศาสตร์มหาบัณฑิต). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- พีระยุทธ สุขสำราญ, ภัทรภรชัย ประเสริฐ, & สพลณภัทร์ ศรีแสนยงค์. (2559). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคิดอภิปัญญาวิชาชีววิทยาเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (*Journal of Education Naresuan University*), 18(3), 189-201.
- พูลพงษ์ สุขสว่าง. (2556). โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling) [Press release]
- ยุทธ ไกยวรรณ. (2557). การวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปรสำหรับงานวิจัย [Press release]
- รมิตา ชื่นเปรมชีพ. (2559). ผลของกลยุทธ์การแก้ปัญหาเชิงตรรกะที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ครุศาสตร์มหาบัณฑิต). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ลือชา ลดาชาติ. (2558). การวิจัยเชิงคุณภาพสำหรับครุวิทยาศาสตร์ [Press release]
- วรรณิ แกมเกตุ. (2555). วิธีวิทยาการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์ [Press release]
- ศูนย์สารสนเทศอุดมศึกษา. (2562). ข้อมูลนักเรียนโรงเรียนสาธิต จำแนกตาม โรงเรียน ชั้น และเพศ. Retrieved from [www.info.mua.go.th/information/show\\_all\\_statdata\\_table.php?data\\_show=5](http://www.info.mua.go.th/information/show_all_statdata_table.php?data_show=5). Retrieved 8 ก.พ. 2561
- [www.info.mua.go.th/information/show\\_all\\_statdata\\_table.php?data\\_show=5](http://www.info.mua.go.th/information/show_all_statdata_table.php?data_show=5)
- สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2561a). รายงานค่าสถิติพื้นฐาน การทดสอบ 9 วิชา เพื่อรองรับการรับตรงร่วมกัน ปีการศึกษา 2560 Retrieved from <https://bit.ly/3c1BhaA> Retrieved 30 พ.ค. 64 <https://bit.ly/3c1BhaA>
- สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2561b). สรุปผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560. Retrieved from [www.newonetestresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6\\_2560.pdf](http://www.newonetestresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2560.pdf). Retrieved 17 ธ.ค. 61
- [www.newonetestresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6\\_2560.pdf](http://www.newonetestresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2560.pdf)

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2562a). รายงานค่าสถิติพื้นฐาน การทดสอบ 9 วิชา เพื่อรองรับ การรับตรงร่วมกัน ปีการศึกษา 2561. Retrieved from <https://bit.ly/3vC3nke>.

Retrieved 30 พ.ค. 64 <https://bit.ly/3vC3nke>

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2562b). สรุปผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2561. Retrieved from

[http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6\\_2561.pdf](http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2561.pdf). Retrieved 30 พ.ค. 64

[http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6\\_2561.pdf](http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2561.pdf)

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2563a). รายงานค่าสถิติพื้นฐาน การทดสอบ 9 วิชา เพื่อรองรับ การรับตรงร่วมกัน ปีการศึกษา 2562. Retrieved from <https://bit.ly/3i3TcRv>. Retrieved

30 พ.ค. 64 <https://bit.ly/3i3TcRv>

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2563b). สรุปผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2562. Retrieved from

[http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6\\_2562.pdf](http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2562.pdf). Retrieved 30 พ.ค. 64

[http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6\\_2562.pdf](http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2562.pdf)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). การวัดผลประเมินผลวิทยาศาสตร์ [Press release]

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). สรุปผลการประเมิน PISA 2015 วิทยาศาสตร์ การอ่าน และคณิตศาสตร์. Retrieved from

<https://drive.google.com/file/d/0BwqFSkq5b7zScUJOOV9ldUNfTlk/view>.

<https://drive.google.com/file/d/0BwqFSkq5b7zScUJOOV9ldUNfTlk/view>

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร: สกสศ. ลาดพร้าว.

สิริเกศ หมัดเจริญ และน้อยทิพย์ ลีมยิ่งเจริญ. (2554). การพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาและ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง เสียงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กลวิธีเมตาคอกนิชัน. *Journal of Education Khon Kaen University (Graduate Studies Research)*, 5(4), 94-101.

- สุภมาส อังศุโชติ และคณะ. (2552). สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์: เทคนิคการใช้โปรแกรม LISREL (พิมพ์ครั้งที่ 2 ed.). กรุงเทพมหานคร: เจริญดีมั่งคั่งการพิมพ์.
- อมรรัตน์ บุบผะโชติ. (2558). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตั้งปัญหาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และมโนทัศน์ฟิสิกส์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม: รายงานการวิจัย. Retrieved from <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/47690>
- อรพินท์ ชื่นชอบ. (2549). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์และความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยวิธีสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยเสริมการแก้ปัญหาตามเทคนิคของโพลยา. (การศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา,





## ภาคผนวก ก

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

## 1. ผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้านความตรงเชิงเนื้อหา

- |   |  |
|---|--|
| 1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์ คณะวิทยาศาสตร์ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |
| 2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ศักดิ์สุภาพ                    | โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัย<br>ศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร<br>(ฝ่ายมัธยม) |
| 3) อาจารย์โกเมศ นาแจ่ม  | โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<br>ฝ่ายมัธยม                      |

## 2. ผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ด้านความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1) อาจารย์โกเมศ นาแจ่ม      | โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<br>ฝ่ายมัธยม |
| 2) อาจารย์วรรณ นาคศรีอาภรณ์ | โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย<br>ฝ่ายมัธยม |

## 3. ผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการรู้คิด

- |   |  |
|---|--|
| 1) รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ หลาวทอง        | คณะครุศาสตร์<br>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย    |
| 2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกภูมิ จันทรวงศ์ | คณะศึกษาศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 3) อาจารย์ปิยะมาศ บุญประกอบ                 | โรงเรียนวัดบวรนิเวศ                      |

## 4. ผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบความเหมาะสมของรหัสข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

- |                      |  |
|----------------------|--|
| อาจารย์ปณาลี สติคราม | โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัย<br>ศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร<br>(ฝ่ายมัธยม) |
|----------------------|--|

## ภาคผนวก ข

ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์  
ฉบับทดลองใช้

1. ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

1.1 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหารายข้อ

ปัญหา	ดัชนี IOC	ผลการตรวจสอบ	ผลการปรับแก้ไข
1	0.67	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<b>โจทย์</b> แก้จาก “สระน้ำรูปสี่เหลี่ยม” เป็น “สระน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยม” <b>เฉลย</b> แก้จากคำว่า “วัง” เป็น “เดิน” <b>เกณฑ์</b> เพิ่มในองค์ประกอบที่ 3 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม “หรือระบุเส้นรอบรูปด้วยวิธีอื่น”
2	0.67	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<b>โจทย์</b> แก้จาก “2.5 รอบภายใน” เป็น “2.5 รอบภายใน” <b>เฉลย</b> - เพิ่มรายละเอียดการระบุการจัด “ตามแนวเส้นตรงมีทิศจาก ก ไป ข” - มีรูปประกอบการเฉลยการจัดด้วย - เขียนเป็นสัญลักษณ์แทนตัวแปร <b>เกณฑ์</b> - องค์ประกอบที่ 4 การระบุขนาดของคำตอบ เพิ่มคะแนนในการระบุเวกเตอร์ - องค์ประกอบที่ 3 กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม ควรมีการระบุว่า “ตรวจจากการระบุแผนภาพหรือการเขียนว่า $\vec{S} = 28 \text{ m}$ ”

ปัญหา	ดัชนี IOC	ผลการตรวจสอบ	ผลการปรับแก้ไข
3	0.67	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<p><b>โจทย์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- โจทย์ตีความได้เป็น 2 กรณี คือ ความเร่งคงที่หรือความเร่งแบ่งเป็น 2 ช่วงที่ไม่เท่ากัน แก้ไขโดยการกำหนดให้ “ความเร่งคงที่”</li> <li>- ตัดคำว่า “ทางทิศเหนือ” ที่ซ้ำซ้อน</li> <li>- แก้จาก “เข้าไปในซอยตัน” เป็น “พบว่า เป็นซอยตัน”</li> <li>- แก้จาก “ถอยรถไป” เป็น “ถอยรถกลับไป”</li> <li>- ระบุว่า เวลา 10 วินาทีที่ใช้เป็นเวลาทั้งหมด</li> <li>- แก้คำถามเป็น “รถาขับรถด้วยความเร่งเฉลี่ยเท่าไร”</li> </ul> <p><b>เกณฑ์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- แก้ให้เกณฑ์การตรวจไม่ซ้ำซ้อนกัน</li> </ul>
4	1.00	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<p><b>โจทย์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบุชนิดของวัตถุ หรือชนิดของสัตว์ที่เคลื่อนที่</li> <li>- สลับตำแหน่งของชื่อกราฟกับคำถาม</li> <li>- นำหากลูกศรทิศ -x ออก</li> </ul> <p><b>เฉลย</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- แสดงการคำนวณให้ละเอียด โดยที่ระบุว่า <math>3 = 3 - 0</math>, <math>6 = 9 - 3</math> และ <math>3 = 12 - 9</math></li> <li>- ระบุเป็นสมการที่มีสัญลักษณ์ตัวแปรประกอบด้วยเพื่อให้เห็นเกณฑ์การตรวจ</li> </ul>
5	0.67	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<p><b>โจทย์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- การนำคำตอบของการกระจัดและความเร่งเฉลี่ยหารกันไม่มีความหมายทางฟิสิกส์ จึงปรับคำถามเป็นการหาเฉพาะขนาดของความเร่งเฉลี่ย</li> <li>- แก้จาก “มีทิศ” เป็น “อยู่ในทางทิศ”</li> <li>- ปรับให้สเกลของกราฟสมสัดส่วนมากขึ้น</li> </ul>



ปัญหา	ดัชนี IOC	ผลการตรวจสอบ	ผลการปรับแก้ไข
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- แก้ให้ตัวเลขสำหรับกราฟในแกนเวลาอยู่ใต้แกนให้สอดคล้องกันทั้งหมด</li> <li>- แก้คำผิด จาก “พื้นที่ใต้กราฟ” เป็น “พื้นที่ใต้กราฟ”</li> </ul>
6	0.67	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<p><b>โจทย์</b></p> <p>แก้โจทย์เป็น “ชายคนหนึ่งขับรถ...พบว่าถนนเส้นนี้มีด่านตรวจอยู่ห่างออกไปเป็นระยะ...คนขับต้องการลดความเร็วลงในอัตราคงที่...คนขับรถใช้เวลาในการเบรกนานเท่าไร”</p> <p><b>เกณฑ์</b></p> <p>มีโอกาสนักเรียนจะไม่ระบุตัวแปร เพราะคิดว่าทราบอยู่แล้ว (ผู้วิจัยแก้ไขโดยการย้ำในคำชี้แจงว่าให้ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้วย)</p>
7	1.00	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<p><b>โจทย์</b></p> <p>- แก้คำในปัญหา เป็น “รถคันหนึ่งผ่าไฟแดงด้วยความเร็วคงที่...ในทิศทางเหนือ ตำรวจจึงขับรถออกจากป้อมตำรวจด้วยความเร่งคงที่...ทางทิศเดียวกัน เมื่อตำรวจขับรถตามได้ทัน ตำรวจเคลื่อนที่ได้การกระจัดเท่าไร”</p> <p><b>เฉลย</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบุทิศเหนือให้ชี้ไปทางขวา</li> <li>- แก้เป็น “ตำรวจมีความเร่งคงที่”</li> <li>- แสดงวิธีทำให้เห็นที่ละบรรทัด</li> </ul>
8	1.00	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	<p><b>โจทย์</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- แก้จาก “โทรศัพท์เคลื่อนที่หล่น” เป็น “โทรศัพท์ตกหล่น”</li> <li>- แก้ชื่อบุคคล จาก “ของขวัญ” เป็น “ขวัญ”</li> <li>- แก้จาก “จุดปล่อย” เป็น “มือ”</li> <li>- ตัดคำว่า “จากหยุดนิ่ง” ออก</li> </ul>

ปัญหา	ดัชนี IOC	ผลการตรวจสอบ	ผลการปรับแก้ไข
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- แก้คำถามเป็น “ขณะที่โทรศัพท์ตกกระทบพื้น โทรศัพท์เครื่องนี้จะมีความเร็วขนาดเท่าไร</li> <li>- แก้จาก “จากหยุดนิ่ง” เป็น “โดยเริ่มต้นเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง”</li> </ul> <p><b>เฉลย</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- แก้จาก “ได้” เป็น “ดังนั้น” ในการสรุปคำตอบ</li> <li>- แก้จาก “โทรศัพท์เคลื่อนที่” เป็น “Smartphone”</li> </ul>
9	1.00	ผ่าน	-

### 1.2 ประเด็นการปรับแก้ไขแบบทดสอบในส่วนต่าง ๆ

ส่วนของแบบทดสอบ	ผลการปรับแก้ไข
1. การกำหนด ความหมาย องค์ประกอบ และ โครงสร้างกับน้ำหนัก คะแนนของ แบบทดสอบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เรียงลำดับองค์ประกอบการประเมินตามพฤติกรรมของนักเรียนที่ เกิดขึ้นในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</li> <li>- ลดความซ้ำซ้อนขององค์ประกอบ โดยนำเรื่องทิศทางของคำตอบไป ใส่ในคำตอบ ในขณะที่การประเมินในองค์ประกอบกระบวนการใน ภาพรวมจะไม่ได้พิจารณาความถูกต้องของเครื่องหมายหรือทิศทาง ของคำตอบ</li> <li>- ลดความซ้ำซ้อนของเกณฑ์การให้คะแนน</li> <li>- ปรับแก้คำให้ชัดเจน</li> </ul>
2. คำชี้แจง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ลำดับสิ่งที่ให้นักเรียนเขียนระบุให้สอดคล้องกับพฤติกรรมเขียน ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์</li> </ul>
3. รูปแบบของ แบบทดสอบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ควรมีการให้นักเรียนระบุส่วนที่ต้องให้คะแนนให้ชัดเจน โดยทำเป็น ประเด็นให้นักเรียนเขียน ซึ่งประเด็นที่นักเรียนต้องเขียนได้แก่ <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ตัวแปรพร้อมทั้งค่าตัวเลขของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง</li> <li>2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง</li> <li>3) วิธีทำในการแก้ปัญหา</li> <li>4) คำตอบของปัญหา และหน่วยของคำตอบ</li> </ol> </li> </ul>

ส่วนของแบบทดสอบ	ผลการปรับแก้ไข
4. การเน้นข้อความสำคัญ	จากการสอบถามนักเรียนที่เป็นผู้ทดลองใช้แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่าปัญหาทางฟิสิกส์ต่าง ๆ สามารถอ่านทำความเข้าใจได้ ทั้งนี้ นักเรียนให้ข้อเสนอแนะว่าควรนำการเน้นข้อความสำคัญออก เพื่อให้สามารถวัดได้ว่านักเรียนผู้ทำแบบทดสอบมีความรอบคอบในการอ่านข้อความหรือไม่

## 2. ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความยาก อำนาจจำแนก และความเที่ยงของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับทดลองใช้

ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความยาก และอำนาจจำแนก ของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังนี้

ปัญหาที่	ความยาก	อำนาจจำแนก	แปลผล	ความเที่ยง
1*	0.78	0.16	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ต่ำ	.819
2	0.50	0.31	ยากปานกลาง และจำแนกได้ดี	
3	0.45	0.43	ยากปานกลาง และจำแนกได้ดีมาก	
4	0.37	0.38	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ดี	
5	0.32	0.29	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้พอใช้	
6	0.57	0.63	ยากปานกลาง และจำแนกได้ดีมาก	
7	0.37	0.53	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ดีมาก	
8	0.64	0.53	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ดีมาก	
9	0.41	0.55	ยากปานกลาง และจำแนกได้ดีมาก	

จากปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 9 ข้อพบว่า ปัญหาที่ 2 ถึง 9 มีคุณภาพด้านความยากในระดับค่อนข้างง่ายจนถึงยากปานกลาง มีคุณภาพด้านอำนาจจำแนกในระดับจำแนกได้ต่ำถึงจำแนกได้ดีมาก และมีความเที่ยงอยู่ในระดับสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ แต่ปัญหาที่ 1 ค่อนข้างง่ายและจำแนกได้ต่ำ จึงมีการแก้ไขเพื่อให้ยากมากขึ้น ดังนี้

“สวนสาธารณะมีสระน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง 0.1 กิโลเมตรและความยาว 0.2 กิโลเมตร ถ้าแอมชเดินเล่นรอบสระน้ำเป็นจำนวน 5 รอบ ภายในเวลา 300 วินาที จากนั้นจึงหยุดพักเป็นเวลา 200 วินาที แอมชจะเดินได้ระยะทางเท่าไร”

ทั้งนี้ เนื่องจากผลการทดลองใช้เครื่องมือพบว่านักเรียนใช้เวลาไม่ครบ 90 นาทีในการทำแบบทดสอบ ผู้วิจัยจึงดำเนินการปรับระยะเวลาในการทำแบบทดสอบเป็น 60 นาที



### 3. ผลการทดลองใช้เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

เมื่อทดลองใช้เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่าเกณฑ์การประเมินบางประเด็นไม่ครอบคลุมคำตอบของนักเรียนได้ จึงปรับเกณฑ์การประเมินดังนี้

คะแนน	รายละเอียดของเกณฑ์ฉบับ	รายละเอียดของเกณฑ์ที่ปรับแก้	คำอธิบาย/เหตุผลสนับสนุน การปรับแก้ไข
<b>1. การระบุตัวแปร</b>			
1	1) ระบุรายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) รายละเอียดตัวแปรที่ระบุมีความถูกต้อง	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง	- ไม่ได้พิจารณาตามระดับ ความครบถ้วนของตัวแปร ต่าง ๆ และไม่ได้อธิบายอย่าง ชัดเจนระหว่างตัวแปรที่ ต้องการทราบค่าและตัวแปร ที่ทราบค่าแล้ว
0.5	1) มีการระบุรายละเอียดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) รายละเอียดตัวแปรที่ระบุมีความถูกต้อง	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่ครบถ้วน หรือไม่ระบุ	
0.25	1) ระบุรายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) รายละเอียดตัวแปรที่ระบุมีบางส่วนไม่ถูกต้อง	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบไม่ถูกต้อง หรือไม่ได้ระบุ 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง	
0	1) มีการระบุรายละเอียดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ หรือไม่มีกรระบุรายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) รายละเอียดตัวแปรที่ระบุมีบางส่วนไม่ถูกต้อง	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบไม่ถูกต้อง หรือไม่ได้ระบุ 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่ครบถ้วน หรือไม่ระบุ	

คะแนน	รายละเอียดของเกณฑ์ต้นฉบับ	รายละเอียดของเกณฑ์ที่ปรับแก้	คำอธิบาย/เหตุผลสนับสนุนการปรับแก้ไข
<b>2. การระบุสมการ</b>			
1	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง	- การระบุสมการที่ไม่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบไม่ควรนำมาคิดคะแนน แต่ควรพิจารณาจากการระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ
0.5	1) มีการระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) มีการระบุสมการ <b>ไม่ถูกต้อง</b>	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> บางส่วน <b>ไม่ชัดเจน</b> หรือ <b>ไม่สมบูรณ์</b>	
0.25	1) มีการระบุสมการที่ <b>ไม่เกี่ยวข้อง</b> กับการหาคำตอบ 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> ทั้งหมด หรือ <b>ไม่สามารถ</b> สื่อความถึงสมการที่ถูกต้องได้ หรือ <b>ไม่ครบถ้วน</b> (กรณีที่มีขั้นตอนการแก้ปัญหาทางพีลิสต์หลายขั้นตอนและต้องใช้สมการทางพีลิสต์อย่างน้อย 2 สมการหลักในการแก้ปัญหาทางพีลิสต์)	
0	1) มีการระบุสมการที่ <b>ไม่เกี่ยวข้อง</b> กับการหาคำตอบ หรือ <b>ไม่ระบุ</b> สมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ 2) มีการระบุสมการ <b>ไม่ถูกต้อง</b>	1) <b>ไม่ได้</b> ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ	
<b>3. กระบวนการแก้ปัญหาทางพีลิสต์ในภาพรวม</b>			

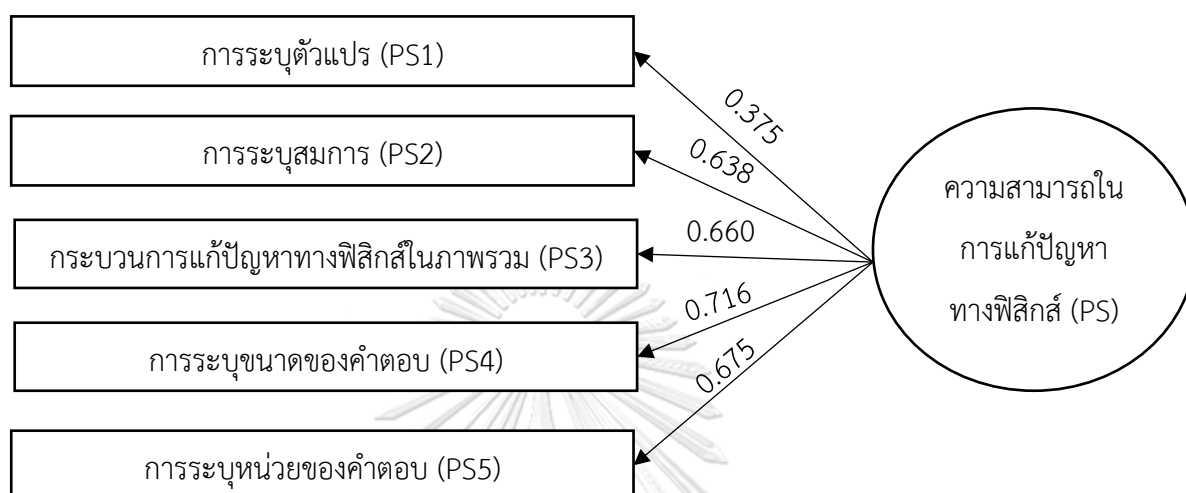
คะแนน	รายละเอียดของเกณฑ์ต้นฉบับ	รายละเอียดของเกณฑ์ที่ปรับแก้	คำอธิบาย/เหตุผลสนับสนุนการปรับแก้ไข
1	<p>1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “ดังนี้” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ)</p> <p>2) <b>ไม่พบ</b>ข้อผิดพลาดในการคำนวณ</p>	<p>1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “เช่น” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ)</p> <p>2) <b>ไม่พบ</b>ข้อผิดพลาดในการคำนวณ</p>	<p>- เนื่องจากปัญหาทางฟิสิกส์บางปัญหาสามารถแก้ได้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์จึงควรนำเสนอเป็นตัวอย่างซึ่งควรใช้คำว่า “เช่น” มากกว่า “ดังนี้”</p> <p>- ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สามารถนำไปสู่คำตอบได้ ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้น ๆ ไม่ควรให้คะแนน</p> <p>- ปัญหาทางฟิสิกส์บางปัญหา มีขั้นตอนในการแก้</p>
0.5	<p>1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “ดังนี้” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ)</p> <p>2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ</p>	<p>1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “เช่น” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ)</p> <p>2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณบางส่วน</p>	<p>- ปัญหาทางฟิสิกส์บางปัญหา คำตอบได้ ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้น ๆ ไม่ควรให้คะแนน</p> <p>- ปัญหาทางฟิสิกส์บางปัญหา มีขั้นตอนในการแก้</p>
0.25	<p>1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์<b>ไม่นำไป</b>สู่คำตอบ</p> <p>2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ</p>	<p>1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ (ในปัญหาต่าง ๆ จะใช้คำว่า “เช่น” ต่อจากข้อความข้างต้น แล้วจึงนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิธีทำ)</p> <p>2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณทั้งหมด</p>	<p>- ปัญหาทางฟิสิกส์บางปัญหา คำตอบได้ ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นั้น ๆ ไม่ควรให้คะแนน</p> <p>- ปัญหาทางฟิสิกส์บางปัญหา มีขั้นตอนในการแก้</p>
0	<p>1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์<b>ไม่นำไป</b>สู่คำตอบ</p> <p>2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ</p>	<p>ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์<b>ไม่สามารถนำไป</b>สู่คำตอบได้</p>	<p>หลากหลายขั้นตอน การพิจารณาข้อผิดพลาดในการคำนวณจึงควรให้ความสำคัญ</p>

คะแนน	รายละเอียดของเกณฑ์ต้นฉบับ	รายละเอียดของเกณฑ์ที่ปรับแก้	คำอธิบาย/เหตุผลสนับสนุน การปรับแก้ไข
			กับระดับความผิดพลาดที่พบ ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์
<b>4. การระบุขนาดของคำตอบ</b>			
	ระบุคำตอบได้ถูกต้อง	ระบุคำตอบได้ถูกต้อง	ไม่ได้ปรับแก้ไข
	ระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง	ระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง	
<b>5. การระบุหน่วยของคำตอบ</b>			
	ระบุหน่วยของคำตอบ	ระบุหน่วยของคำตอบ	ไม่ได้ปรับแก้ไข
	ระบุหน่วยของคำตอบที่ไม่ถูกต้อง	ระบุหน่วยของคำตอบที่ไม่ถูกต้อง	



#### 4. ผลการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับทดลองใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับองค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (Physics Problem Solving, PS) เป็นดังแผนภาพ และตารางต่อไปนี้



**แผนภาพ** กรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งแสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน

**ตาราง** น้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Beta) ส่วนเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (SE) สถิติทดสอบ t และค่าความผันแปรร่วม ( $R^2$ ) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และค่าดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับข้อมูลเชิงประจักษ์

องค์ประกอบ	Beta	SE	t	$R^2$
1) การระบุตัวแปร (PS1)	0.375	0.245	2.088	0.141
2) การระบุสมการ (PS2)	0.638	0.217	4.152	0.407
3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม (PS3)	0.660	0.235	3.966	0.435
4) การระบุขนาดของคำตอบ (PS4)	0.716	0.238	4.261	0.513
5) การระบุหน่วยของคำตอบ (PS5)	0.675	0.223	4.285	0.456

**ดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับข้อมูลเชิงประจักษ์**

$\chi^2 = 0.215$	df = 3	p-value = 0.975	RMSEA = 0.000	RMR = 0.038
SRMR = 0.020	GFI = 0.981	AGFI = 0.907	CFI = 1.000	

\*p<.05

จากแผนภาพและตารางข้างต้น พบว่า กรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยที่น้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานขององค์ประกอบทั้งหมดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งองค์ประกอบที่มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงสุด 3 ลำดับแรก คือ การระบุขนาดของคำตอบ การระบุหน่วยของคำตอบ และกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม โดยน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเป็น 0.716, 0.675 และ 0.660 ตามลำดับ ในขณะที่องค์ประกอบที่มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานต่ำสุด คือ การระบุตัวแปร ซึ่งมีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเป็น 0.375 นอกจากนี้ องค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงสุด 3 ลำดับแรก คือ การระบุขนาดของคำตอบ การระบุหน่วยของคำตอบ และกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม ซึ่งมีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์คิดเป็นร้อยละ 51.3, 45.6 และ 43.5 ตามลำดับ ในขณะที่องค์ประกอบที่มีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ต่ำสุด คือ การระบุตัวแปร ซึ่งมีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์คิดเป็นร้อยละ 14.1

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับองค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความตรงเชิงโครงสร้าง

## ภาคผนวก ค

## ตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เฉลย

## และผลการตรวจสอบคุณภาพ

## 1. แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ชื่อ-นามสกุล \_\_\_\_\_ โรงเรียน \_\_\_\_\_ ชั้น \_\_\_\_\_ เลขที่ \_\_\_\_\_ เบอร์โทรศัพท์ \_\_\_\_\_

1) แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับนี้เป็นแบบอัตนัยจำนวน 9 ปัญหา โดยแต่ละปัญหามีจำนวนข้อย่อยทั้งสิ้น 4 ข้อย่อย ใช้เวลาทำทั้งสิ้น 60 นาที

2) ในการแสดงวิธีทำแต่ละปัญหา ให้นักเรียนระบุ

2.1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

2.2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องซึ่งเขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

2.3) วิธีทำในการแก้ปัญหา

2.4) คำตอบของปัญหา และหน่วยของคำตอบ

3) เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาแต่ละปัญหาแตกต่างกัน การกำหนดคะแนนปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งหมดจึงมีการให้คะแนนที่แตกต่างกัน โดยมีน้ำหนักคะแนนดังตาราง

ตาราง คะแนนสำหรับปัญหาทางฟิสิกส์แต่ละปัญหาจำแนกตามองค์ประกอบในการแก้โจทย์ปัญหา

ปัญหาทางฟิสิกส์ที่	คะแนน					
	ตัวแปร	สมการ	วิธีทำ	คำตอบ	หน่วย	รวม
1 การเดินเล่นริมสระน้ำ	1	1	1	1	1	5
2 การวิ่งรอบสนาม	1	1	1	1	1	5
3 การเบรกรถแล้วถอยรถ	1	1	1	1	1	5
4 กราฟความเร่งกับเวลา	1	1	1	1	1	5
5 กราฟความเร็วกับเวลา	2	2	2	2	2	10
6 การเบรกรถก่อนด่านตรวจ	1	1	1	1	1	5
7 การเคลื่อนที่ทันกัน	2	2	2	2	2	10
8 การทำโทรศัพท์เคลื่อนที่หล่น	1	1	1	1	1	5
9 การโยนของขึ้นในแนวตั้ง	2	2	2	2	2	10
รวม	12	12	12	12	12	60

3) กำหนดให้ ค่าคงที่ที่อาจจำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีค่าดังนี้

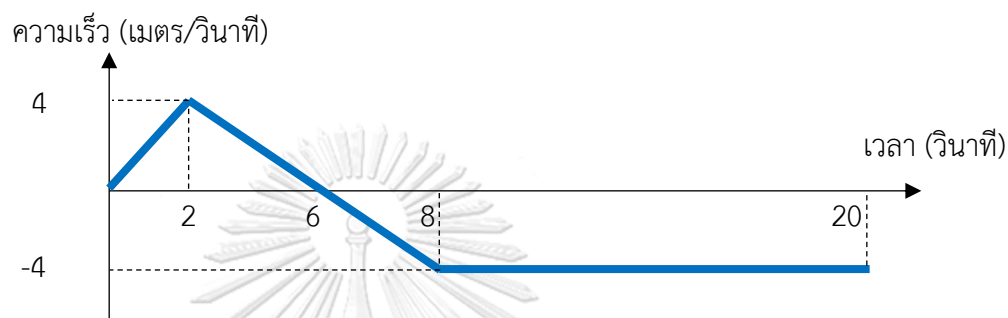
3.1) ค่าคงที่พาย =  $\pi = \frac{22}{7}$

3.2) ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก =  $g = 10 \text{ m/s}^2$

### ปัญหาที่ 5 กราฟความเร็วกับเวลา

บอลสี่ล้อขยับจากจุดเริ่มต้น โดยความเร็วของรถเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาดังกราฟที่ 2 ถ้าเครื่องหมายของความเร็วที่เป็นบวกแสดงให้เห็นว่าความเร็วของรถอยู่ในทิศเหนือ และเครื่องหมายของความเร็วที่เป็นลบแสดงให้เห็นว่าความเร็วของรถอยู่ในทิศใต้

กราฟที่ 2 ความเร็วของรถที่เวลาต่าง ๆ สำหรับปัญหาที่ 5



ขนาดของความเร่งเฉลี่ย ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงวินาทีที่ 20 เป็นเท่าไร

#### วิธีทำ

- 1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

---



---

- 2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง) ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- 3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

---



---



---



---



---

- 4) คำตอบและหน่วย

---

### **ปัญหาที่ 6 การเบรกรถก่อนด่านตรวจ**

ชายคนหนึ่งขับรถไปทางทิศเหนือด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที เขาพบว่าถนนเส้นนี้มีด่านตรวจอยู่ห่างออกไปเป็นระยะ 40 เมตร เขาจึงต้องการลดความเร็วลงในอัตราคงที่จนหยุดนิ่งที่ด่านตรวจพอดี เขาใช้เวลาในการเบรกรถนานเท่าไร

#### **วิธีทำ**

- 1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

---



---



---

- 2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง) ได้แก่

---



---



---

- 3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหามทางฟิสิกส์

---



---



---

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- 4) คำตอบและหน่วย

---

### ปัญหาที่ 7 การขับรถให้เคลื่อนที่ทันกัน

รถคันหนึ่งฝ่าไฟแดงด้วยความเร็วคงที่ 30 เมตร/วินาทีในทิศเหนือ ตำรวจจึงขับออกจากป้อม ตำรวจด้วยความเร่งคงที่ 4 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ทางทิศเดียวกัน เมื่อตำรวจสามารถตามได้ทัน ตำรวจจะเคลื่อนที่ได้การกระจัดเท่าไร

#### วิธีทำ

- 1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

---



---



---

- 2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง) ได้แก่

---



---



---

- 3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

---



---



---

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- 4) คำตอบและหน่วย

---

### ปัญหาที่ 8 การทำโทรศัพท์เคลื่อนที่หล่น

ขวัญยืนอยู่บนสะพานลอย ขวัญเผลอทำ Smartphone หล่นลงสู่พื้นล่างซึ่งอยู่ห่างจากมือ 5 เมตร โดยเริ่มต้นเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง ขณะที่ Smartphone เริ่มกระทบพื้นล่าง Smartphone จะมีความเร็วขนาดเท่าไร

#### วิธีทำ

- 1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

---



---



---

- 2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง) ได้แก่

---



---



---

- 3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

---



---



---

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- 4) คำตอบและหน่วย

---

### ปัญหาที่ 9 การโยนของขึ้นในแนวตั้ง

ฟ้าโยนก้อนหินเล่น โดยโยนขึ้นด้วยความเร็วต้น 20 เมตร/วินาที เมื่อก้อนหินเคลื่อนที่ตกกลับมาที่จุดเริ่มต้น ก้อนหินจะมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เท่าไร

#### วิธีทำ

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

---



---



---

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง) ได้แก่

---



---



---

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

---



---



---



---



---



---



---

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) คำตอบและหน่วย

---

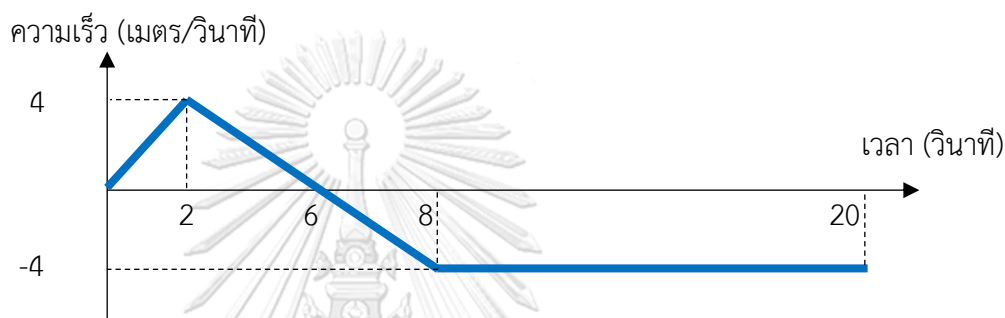


## 2. เฉลยตัวอย่างแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

### ปัญหาที่ 5 กราฟความเร็วกับเวลา

บอลล์ซ์บรตจากจุดเริ่มต้น โดยความเร็วของรถเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาดังกราฟที่ 2 ถ้าเครื่องหมายของความเร็วที่เป็นบวกแสดงให้เห็นว่าความเร็วของรถอยู่ในทิศเหนือ และเครื่องหมายของความเร็วที่เป็นลบแสดงให้เห็นว่าความเร็วของรถอยู่ในทิศใต้

กราฟที่ 2 ความเร็วของรถที่เวลาต่าง ๆ สำหรับปัญหาที่ 5



ขนาดของความเร่งเฉลี่ย ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงวินาทีที่ 20 เป็นเท่าไร

### เฉลยปัญหาที่ 5 กราฟความเร็วกับเวลา

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

1.1) ตัวแปรที่ต้องการหา คือ ความเร่งเฉลี่ย  $\vec{a}_{avg}$

1.2) ตัวแปรที่ทราบค่า เป็นดังนี้

- เวลาเริ่มต้น  $t_i = 0$  s      - ความเร็วต้น  $\vec{v}_i = 0$  m/s

- เวลาสิ้นสุด  $t_f = 20$  s      - ความเร็วปลาย  $\vec{v}_f = -4$  m/s

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

$$2.1) \text{ ความเร่งเฉลี่ย} = \frac{\text{ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{เวลา}} \text{ หรือ } \vec{a}_{avg} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t}$$

หรือ 2.2) ความเร่งเฉลี่ย = ความชันของกราฟความเร็วกับเวลา

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \vec{a}_{avg} &= \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{t} \\ &= \frac{-4 - 0}{20} \\ &= \frac{-4}{20} \end{aligned}$$

$$= -0.2 \text{ m/s}^2$$

$$= 0.2 \text{ m/s}^2 \text{ ในทิศใต้}$$

#### 4) คำตอบและหน่วย

0.2 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ในทิศใต้

#### เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ สำหรับปัญหาที่ 5

คะแนน	รายละเอียด
<b>1. การระบุตัวแปร</b>	
1	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการหา คือ ความเร่งเฉลี่ย $\vec{a}_{\text{avg}}$ ) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (เวลาเริ่มต้น $t_i = 0 \text{ s}$ ความเร็วต้น $\vec{v}_i = 0 \text{ m/s}$ เวลาสิ้นสุด $t_f = 20 \text{ s}$ ความเร็วปลาย $\vec{v}_f = -4 \text{ m/s}$ )
0.5	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการหา คือ ความเร่งเฉลี่ย $\vec{a}_{\text{avg}}$ ) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <u>ไม่ครบถ้วน</u> หรือ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ระบุ</u>
0.25	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ได้ระบุ</u> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (เวลาเริ่มต้น $t_i = 0 \text{ s}$ ความเร็วต้น $\vec{v}_i = 0 \text{ m/s}$ เวลาสิ้นสุด $t_f = 20 \text{ s}$ ความเร็วปลาย $\vec{v}_f = -4 \text{ m/s}$ )
0	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ได้ระบุ</u> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <u>ไม่ครบถ้วน</u> หรือ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ระบุ</u>
<b>2. การระบุสมการ (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่าและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง)</b>	
1	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงความเร่งกับความชันของกราฟ หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง
0.5	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงความเร่งกับความชันของกราฟ หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <u>ไม่ถูกต้อง</u> บางส่วน <u>ไม่ชัดเจน</u> หรือ <u>ไม่สมบูรณ์</u>

คะแนน	รายละเอียด
0.25	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงความเร่งกับความชันของกราฟ หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> ทั้งหมด หรือ <b>ไม่สามารถ</b> สื่อความถึงสมการที่ถูกต้องได้
0	1) <b>ไม่ได้ระบุ</b> สมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ
<b>3. กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม</b>	
1	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณหรือเขียนแสดงความเร่งเฉลี่ยจากความชันของกราฟ 2) ไม่พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ
0.5	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณหรือเขียนแสดงความเร่งเฉลี่ยจากความชันของกราฟ 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณบางส่วน
0.25	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณหรือเขียนแสดงความเร่งเฉลี่ยจากความชันของกราฟ 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณทั้งหมด
0	ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่สามารถ</b> นำไปสู่คำตอบได้
<b>4. การระบุขนาดของคำตอบ</b>	
1	ระบุคำตอบที่ถูกต้อง คือ 0.2 ในทิศใต้ หรือระบุคำตอบเป็น - 0.2
0.5	ระบุคำตอบว่า 0.2 แต่ระบุทิศไม่ถูกต้อง หรือไม่ได้ระบุทิศทาง
0.25	ระบุทิศว่าเป็นทิศใต้ หรือแสดงเครื่องหมายลบ แต่ไม่ได้ระบุขนาดที่ถูกต้อง
0	ระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
<b>5. การระบุหน่วยของคำตอบ</b>	
1	ระบุหน่วยของคำตอบ คือ เมตร/วินาที <sup>2</sup>
0	ระบุหน่วยของคำตอบที่ <b>ไม่</b> ถูกต้อง

## ปัญหาที่ 6 การเบรกรถก่อนด่านตรวจ

ชายคนหนึ่งขับรถไปทางทิศเหนือด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที เขาพบว่าถนนเส้นนี้มีด่านตรวจอยู่ห่างออกไปเป็นระยะ 40 เมตร เขาจึงต้องการลดความเร็วลงในอัตราคงที่จนหยุดนิ่งที่ด่านตรวจพอดี เขาใช้เวลาในการเบรกรถนานเท่าไร

### เฉลย ปัญหาที่ 6 การเบรกรถก่อนด่านตรวจ

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

1.1) ตัวแปรที่ต้องการหา คือ เวลา  $t$

1.2) ตัวแปรที่ทราบค่า เป็นดังนี้

- ความเร็วต้น  $\vec{v}_i = 20 \text{ m/s}$  - การกระจัด  $\vec{s} = 40 \text{ m}$

- ความเร็วปลาย  $\vec{v}_f = 0 \text{ m/s}$

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

$$\vec{s} = \left( \frac{\vec{v}_f + \vec{v}_i}{2} \right) t$$

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังนี้

$$\vec{s} = \left( \frac{\vec{v}_f + \vec{v}_i}{2} \right) t$$

$$40 = \left( \frac{0 + 20}{2} \right) t$$

$$= 10t$$

$$t = 4 \text{ s}$$

4) คำตอบและหน่วย

4 วินาที

เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ สำหรับปัญหาที่ 6

คะแนน	รายละเอียด
<b>1. การระบุตัวแปร</b>	
1	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการ คือ เวลา $t$ ) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วต้น $\vec{v}_i = 20 \text{ m/s}$ การกระจัด $\vec{s} = 40 \text{ m}$ ความเร็วปลาย $\vec{v}_f = 0 \text{ m/s}$ )
0.5	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการ คือ เวลา $t$ )

คะแนน	รายละเอียด
	2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>
0.25	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วต้น $\vec{v}_i = 20 \text{ m/s}$ การกระจัด $\vec{s} = 40 \text{ m}$ ความเร็วปลาย $\vec{v}_f = 0 \text{ m/s}$ )
0	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>
<b>2. การระบุสมการ (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่าและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง)</b>	
1	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการกระจัด ความเร็วต้น ความเร็วปลาย และเวลา หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง
0.5	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการกระจัด ความเร็วต้น ความเร็วปลาย และเวลา หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> บางส่วน <b>ไม่ชัดเจน</b> หรือ <b>ไม่สมบูรณ์</b>
0.25	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการกระจัด ความเร็วต้น ความเร็วปลาย และเวลา หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> ทั้งหมด หรือ <b>ไม่สามารถสื่อความถึงสมการที่ถูกต้องได้</b>
0	1) <b>ไม่ได้ระบุ</b> สมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ
<b>3. กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม</b>	
1	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณหาเวลาจากการกระจัด ความเร็วต้น ความเร็วปลาย 2) ไม่พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ
0.5	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณหรือเขียนแสดงการคำนวณหาเวลาจากการกระจัด ความเร็วต้น ความเร็วปลาย 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณบางส่วน
0.25	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น

คะแนน	รายละเอียด
	1.1) คำนวณหรือเขียนแสดงการคำนวณหาเวลาจากการกระจัด ความเร็วต้น ความเร็วปลาย
	2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณทั้งหมด
0	ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่สามารถนำไปสู่คำตอบได้
<b>4. การระบุขนาดของคำตอบ</b>	
1	ระบุคำตอบที่ถูกต้อง คือ 4
0	ระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
<b>5. การระบุหน่วยของคำตอบ</b>	
1	ระบุหน่วยของคำตอบ คือ วินาที
0	ระบุหน่วยของคำตอบที่ไม่ถูกต้อง

## ปัญหาที่ 7 การขั้รถให้เคลื่อนที่ทันกัน

รถคันหนึ่งฝ่าไฟแดงด้วยความเร็วคงที่ 30 เมตร/วินาทีในทิศเหนือ ตำรวจจึงขับออกจากป้อม ตำรวจด้วยความเร่งคงที่ 4 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ทางทิศเดียวกัน เมื่อตำรวจสามารถตามได้ทัน ตำรวจจะเคลื่อนที่ได้การกระจัดเท่าไร

### เฉลย ปัญหาที่ 7 การขั้รถให้เคลื่อนที่ทันกัน

#### 1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

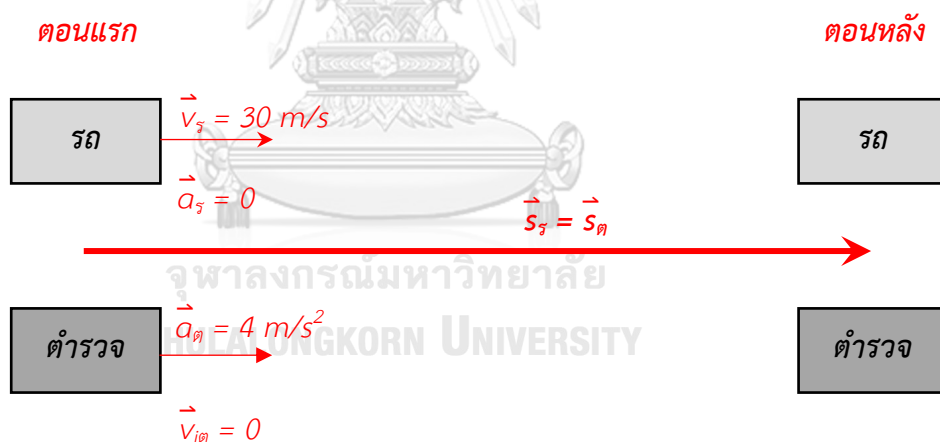
1.1) ตัวแปรที่ต้องการหา คือ การกระจัดของตำรวจ  $\vec{s}_d$

1.2) ตัวแปรที่ทราบค่า เป็นดังนี้

- ความเร็วของรถ  $\vec{v}_r = 30 \text{ m/s}$  - ความเร่งของรถ  $\vec{a}_r = 0$

- ความเร็วเริ่มต้นของตำรวจ  $\vec{v}_{i,d} = 0$  - ความเร่งของตำรวจ  $\vec{a}_d = 4 \text{ m/s}^2$

ตำรวจและรถใช้เวลาเคลื่อนที่เท่ากัน (เท่ากับ  $t$ ) กำหนดให้ทิศเหนือชี้ไปทางขวา จากข้อมูลข้างต้น สามารถนำมาวาดแผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของรถและตำรวจได้ดังนี้



#### 2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

2.1) การกระจัดของรถเท่ากับการกระจัดของตำรวจ หรือ  $\vec{s}_r = \vec{s}_d$

หรือ 2.2)  $\vec{s}_r = \vec{v}_r t$

2.3)  $\vec{s}_d = \vec{v}_{i,d} t + \frac{1}{2} \vec{a}_d t^2$

#### 3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังนี้

3.1) หาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

เนื่องจากการกระจัดของรถเท่ากับการกระจัดของตำรวจ

$$\vec{s}_r = \vec{s}_d$$

$$\vec{v}_r t = \vec{v}_{id} t + \frac{1}{2} \vec{a}_d t^2$$

$$30t = 2t^2$$

$$t = 0, 15 \text{ s}$$

เวลาไม่เป็นศูนย์ ดังนั้น  $t = 15 \text{ s}$

### 3.2) หากการกระจัดของตำรวจ

จากสมการ  $\vec{s}_d = \vec{v}_{id} t + \frac{1}{2} \vec{a}_d t^2$

แทนค่า จะได้  $\vec{s}_d = 2t^2$   
 $= 2 \times 15^2$   
 $= 2 \times 225$   
 $= 450 \text{ m}$

หมายเหตุ: เนื่องจากการกระจัดของตำรวจเท่ากับการกระจัดของรถ จึงสามารถหาได้จากสมการของรถ

จากสมการ

$$\vec{s}_r = \vec{v}_r t$$

แทนค่า จะได้

$$\vec{s}_r = 30 \times 15$$

$$= 450 \text{ m}$$

### 4) คำตอบและหน่วย

450 เมตร

เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ สำหรับปัญหาที่ 7

คะแนน	รายละเอียด
<b>1. การระบุตัวแปร</b>	
1	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการหาคือการกระจัดของตำรวจ $\vec{s}_d$ ) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วของรถ $\vec{v}_r = 30 \text{ m/s}$ ความเร่งของรถ $\vec{a}_r = 0$ ความเร็วเริ่มต้นของตำรวจ $\vec{v}_{id} = 0$ ความเร่งของตำรวจ $\vec{a}_d = 4 \text{ m/s}^2$ )
0.5	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการหาคือการกระจัดของตำรวจ $\vec{s}_d$ )



คะแนน	รายละเอียด
	2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>
0.25	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วของรถ $\vec{v}_r = 30 \text{ m/s}$ ความเร่งของรถ $\vec{a}_r = 0$ ความเร็วเริ่มต้นของตำรวจ $\vec{v}_{\text{ต}} = 0$ ความเร่งของตำรวจ $\vec{a}_{\text{ต}} = 4 \text{ m/s}^2$ )
0	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>
<b>2. การระบุสมการ (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่าและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง)</b>	
1	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการเคลื่อนที่ของรถ และสมการแสดงการเคลื่อนที่ของตำรวจ หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง
0.5	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการเคลื่อนที่ของรถ และสมการแสดงการเคลื่อนที่ของตำรวจ หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> บางส่วน <b>ไม่ชัดเจน</b> หรือ <b>ไม่สมบูรณ์</b>
0.25	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการเคลื่อนที่ของรถ และสมการแสดงการเคลื่อนที่ของตำรวจ หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> ทั้งหมด หรือ <b>ไม่สามารถ</b> สื่อความถึงสมการที่ถูกต้องได้ หรือ <b>ระบุไม่ครบถ้วน</b>
0	1) <b>ไม่ได้ระบุ</b> สมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ
<b>3. กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม</b>	
1	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) แสดงสมการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของรถ 1.2) แสดงสมการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของตำรวจ (หรือทำ 1.2 ก่อน 1.1) 1.3) นำสมการจาก 1.1 และ 1.2 มาเท่ากัน 1.4) แก้สมการหาเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ 1.5) คำนวณหาการกระจัด 2) <b>ไม่พบ</b> ข้อผิดพลาดในการคำนวณ

คะแนน	รายละเอียด
0.5	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) แสดงสมการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของรถ 1.2) แสดงสมการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของตำรวจ (หรือทำ 1.2 ก่อน 1.1) 1.3) นำสมการจาก 1.1 และ 1.2 มาเท่ากัน 1.4) แก้สมการหาเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ 1.5) คำนวณหาการกระจัด 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณบางส่วน
0.25	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) แสดงสมการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของรถ 1.2) แสดงสมการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของตำรวจ (หรือทำ 1.2 ก่อน 1.1) 1.3) นำสมการจาก 1.1 และ 1.2 มาเท่ากัน 1.4) แก้สมการหาเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ 1.5) คำนวณหาการกระจัด 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณทั้งหมด
0	ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่สามารถ</b> นำไปสู่คำตอบได้
<b>4. การระบุขนาดของคำตอบ</b>	
1	ระบุคำตอบได้ถูกต้อง คือ 450
0	ระบุคำตอบที่ <b>ไม่</b> ถูกต้อง
<b>5. การระบุหน่วยของคำตอบ</b>	
1	ระบุหน่วยของคำตอบ คือ เมตร
0	ระบุหน่วยของคำตอบที่ <b>ไม่</b> ถูกต้อง

### ปัญหาที่ 8 การทำโทรศัพท์เคลื่อนที่หล่น

ขวัญยืนอยู่บนสะพานลอย ขวัญเผลอทำ Smartphone หล่นลงสู่พื้นล่างซึ่งอยู่ห่างจากมือ 5 เมตร โดยเริ่มต้นเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง ขณะที่ Smartphone เริ่มกระทบพื้นล่าง Smartphone จะมีความเร็วขนาดเท่าไร

#### เฉลย ปัญหาที่ 8 การทำโทรศัพท์เคลื่อนที่หล่น

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

1.1) ตัวแปรที่ต้องการหา คือ ขนาดของความเร็วปลาย  $v_f$

1.2) ตัวแปรที่ทราบค่า เป็นดังนี้

$$\text{- ความเร็วต้น} = \vec{v}_i = 0 \text{ m/s}$$

$$\text{- การกระจัด} = \vec{s} = 5 \text{ m}$$

$$\text{- ความเร่ง} = \vec{a} = \vec{g} = 10 \text{ m/s}^2 \text{ (ไม่นำมาคิดคะแนนเนื่องจากเป็นค่าที่กำหนดให้)}$$

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

$$v_f^2 = v_i^2 + 2as$$

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังนี้

$$v_f^2 = v_i^2 + 2as$$

$$= 0^2 + 2 \times 10 \times 5$$

$$= 0 + 100$$

$$= 100$$

$$v_f = 10 \text{ m/s}$$

4) คำตอบและหน่วย

10 เมตร/วินาที

เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ สำหรับปัญหาที่ 8

คะแนน	รายละเอียด
<b>1. การระบุตัวแปร</b>	
1	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการคือขนาดของความเร็วปลาย $v_f$ ) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วต้น $= \vec{v}_i = 0 \text{ m/s}$ การกระจัด $= \vec{s} = 5 \text{ m}$ )

คะแนน	รายละเอียด
0.5	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการคือขนาดของความเร็วปลาย $v_f$ ) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <u>ไม่ครบถ้วน</u> หรือ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ระบุ</u>
0.25	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ได้ระบุ</u> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วต้น = $v_i = 0$ m/s การกระจัด = $s = 5$ m)
0	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ได้ระบุ</u> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <u>ไม่ครบถ้วน</u> หรือ <u>ไม่ถูกต้อง</u> หรือ <u>ไม่ระบุ</u>
<b>2. การระบุสมการ (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่าและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง)</b>	
1	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงความเร็วปลาย ความเร็วต้น การกระจัด และความเร่ง หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง
0.5	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงความเร็วปลาย ความเร็วต้น การกระจัด และความเร่ง หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <u>ไม่ถูกต้อง</u> บางส่วน <u>ไม่ชัดเจน</u> หรือ <u>ไม่สมบูรณ์</u>
0.25	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงความเร็วปลาย ความเร็วต้น การกระจัด และความเร่ง หรือสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <u>ไม่ถูกต้อง</u> ทั้งหมด หรือ <u>ไม่สามารถสื่อความถึงสมการที่ถูกต้องได้</u>
0	1) <u>ไม่ได้ระบุ</u> สมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ
<b>3. กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม</b>	
1	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณหาขนาดความเร็วปลายจากความเร็วต้น การกระจัด และความเร่ง 2) ไม่พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ
0.5	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น

คะแนน	รายละเอียด
	1.1) คำนวณหาขนาดความเร็วปลายจากความเร็วต้น การกระจัด และความเร่ง 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ
0.25	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณหาขนาดความเร็วปลายจากความเร็วต้น การกระจัด และความเร่ง 2) ไม่พบข้อผิดพลาดในการคำนวณ
0	ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <u>ไม่สามารถ</u> นำไปสู่คำตอบได้
<b>4. การระบุขนาดของคำตอบ</b>	
1	ระบุคำตอบได้ถูกต้อง คือ 10
0	ระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
<b>5. การระบุหน่วยของคำตอบ</b>	
1	ระบุหน่วยของคำตอบ คือ เมตร/วินาที
0	ระบุหน่วยของคำตอบที่ <u>ไม่</u> ถูกต้อง

### ปัญหาที่ 9 การโยนของขึ้นในแนวตั้ง

ฟ้าโยนก้อนหินเล่น โดยโยนขึ้นด้วยความเร็วต้น 20 เมตร/วินาที เมื่อก้อนหินเคลื่อนที่ตกกลับมาที่จุดเริ่มต้น ก้อนหินจะมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เท่าไร

#### เฉลย ปัญหาที่ 9 การโยนของขึ้นในแนวตั้ง

อัตราเร็วเฉลี่ย หาจาก ระยะทางทั้งหมดหารด้วยเวลาทั้งหมด

การหาระยะทางทั้งหมด

เนื่องจากต้องการหาระยะทางทั้งหมด ซึ่งเท่ากับ ระยะ AB + ระยะ BC

ระยะทางทั้งหมด =  $h + h = 2h$  การหา  $h$  จึงพิจารณาการเคลื่อนที่จากจุด A ไป B

ให้เวกเตอร์ที่ชี้ขึ้นมีเครื่องหมายบวก และเวกเตอร์ที่ชี้ลงมีเครื่องหมายลบ

ความเร็วต้น =  $\vec{v}_i = 20 \text{ m/s}$  ความเร่ง =  $\vec{a} = \vec{g} = -10 \text{ m/s}^2$  ความเร็วปลาย =  $\vec{v}_f = 0 \text{ m/s}$  หา

การกระจัด  $\vec{s}$  (หรือ  $h$ ) จากสมการ  $v_f^2 = v_i^2 + 2as$  แทนค่า ได้  $0^2 = 20^2 + 2(-10)h = 400 - 20h$  ได้  $h = 20 \text{ m}$

ดังนั้น ระยะทางทั้งหมด =  $2h = 2 \times 20 = 40 \text{ m}$

การหาเวลาที่ใช้เคลื่อนที่

การหาเวลา พิจารณาช่วง A ถึง C ซึ่ง ความเร็วต้น =  $\vec{v}_i = 20 \text{ m/s}$  ความเร่ง =  $\vec{a} = \vec{g} = -10 \text{ m/s}^2$

การกระจัด =  $\vec{s} = 0$  หา  $t$  จาก  $\vec{s} = \vec{v}_i t + \frac{1}{2} a t^2$  ได้  $0 = 20t + \frac{1}{2}(-10)t^2 = 20t - 5t^2$  ได้  $t = 4 \text{ s}$

ดังนั้น อัตราเร็วเฉลี่ย =  $\frac{\text{ระยะทางทั้งหมด}}{\text{เวลา}} = \frac{40}{4} = 10 \text{ เมตร/วินาที}$

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

1.1) ตัวแปรที่ต้องการหา คือ อัตราเร็วเฉลี่ย

1.2) ตัวแปรที่ทราบค่า เป็นดังนี้ (ให้เวกเตอร์ที่ชี้ขึ้นและชี้ลง มีเครื่องหมายบวกและลบตามลำดับ)

- ความเร็วต้น  $\vec{v}_i = 20 \text{ m/s}$

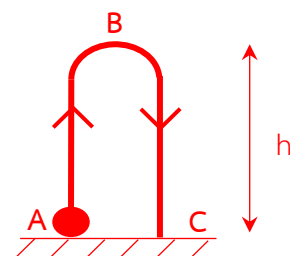
- ความเร่ง  $\vec{a} = \vec{g} = -10 \text{ m/s}^2$  (ไม่นำมาคิดคะแนนเนื่องจากเป็นค่าที่กำหนดให้)

- ข้อมูล ณ จุดสูงสุด

\* ความเร็วปลาย ณ จุดสูงสุด  $\vec{v}_f = 0 \text{ m/s}$

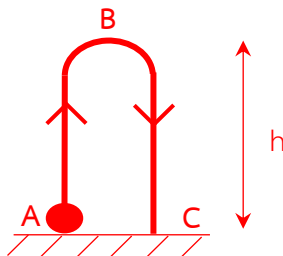
\* การกระจัดจากเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุด  $\vec{s} = h$

- ข้อมูล ณ จุดสิ้นสุดการเคลื่อนที่



\* การกระจัดทั้งหมด จากพื้นถึงพื้น  $\vec{s} = 0$

จากข้อมูลข้างต้น สามารถวาดแผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ ดังนี้



2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

$$2.1) v_f^2 = v_i^2 + 2as$$

$$2.2) \vec{s} = \vec{v}_i t + \frac{1}{2}at^2$$

$$2.3) \text{อัตราเร็วเฉลี่ย} = \frac{\text{ระยะทางทั้งหมด}}{\text{เวลา}} \text{ หรือ } v_{\text{avg}} = \frac{s}{t}$$

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังนี้

อัตราเร็วเฉลี่ย หาจาก ระยะทางทั้งหมดหารด้วยเวลาทั้งหมด

3.1) การหาระยะทางทั้งหมด (s)

$$\begin{aligned} \text{จากแผนภาพ ระยะทางทั้งหมด} &= \text{ระยะ AB} + \text{ระยะ BC} \\ &= h + h \\ &= 2h \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องหา h โดยใช้สมการเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แนวตั้ง จากจุด A ถึงจุด C

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } v_f^2 &= v_i^2 + 2as \\ 0^2 &= 20^2 + 2(-10)h \\ &= 400 - 20h \end{aligned}$$

$$20h = 400$$

$$h = 20 \text{ m}$$

ดังนั้น ระยะทางทั้งหมด  $s = 2h$

$$= 2 \times 20$$

$$= 40 \text{ m}$$

3.2) การหาเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ (t)

การหาเวลา พิจารณาช่วง A ถึง C

$$\text{จากสมการ } \vec{s} = \vec{v}_i t + \frac{1}{2}at^2$$

$$\begin{aligned}
 0 &= 20t + \frac{1}{2}x(-10)t^2 \\
 &= 20t - 5t^2 \\
 &= 5t \times (4 - t) \\
 t &= 0, 4 \text{ s}
 \end{aligned}$$

แต่เวลาไม่เป็นศูนย์

ดังนั้น เวลาทั้งหมด  $t = 4 \text{ s}$

### 3.3 การหาอัตราเร็วเฉลี่ย

จากสมการ  $v_{avg} = \frac{s}{t}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{40}{4} \\
 &= 10 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

#### 4) คำตอบและหน่วย

10 เมตร/วินาที

เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ สำหรับปัญหาที่ 9

คะแนน	รายละเอียด
<b>1. การระบุตัวแปร</b>	
1	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการหา คือ อัตราเร็วเฉลี่ย) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วต้น $v_i = 20 \text{ m/s}$ )
0.5	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง (ตัวแปรที่ต้องการหา คือ อัตราเร็วเฉลี่ย) 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>
0.25	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ครบถ้วน และถูกต้อง (ความเร็วต้น $v_i = 20 \text{ m/s}$ )
0	1) ระบุตัวแปรที่ต้องการทราบ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ได้ระบุ</b> 2) ระบุค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ <b>ไม่ครบถ้วน</b> หรือ <b>ไม่ถูกต้อง</b> หรือ <b>ไม่ระบุ</b>



คะแนน	รายละเอียด
<b>2. การระบุสมการ (เขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่าและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง)</b>	
1	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการหาการกระจัดในการเคลื่อนที่ขาขึ้น และสมการแสดงการหาเวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่ หรือสมการที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุมีความถูกต้อง
0.5	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการหาการกระจัดในการเคลื่อนที่ขาขึ้น และสมการแสดงการหาเวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่ หรือสมการที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> บางส่วน <b>ไม่ชัดเจน</b> หรือ <b>ไม่สมบูรณ์</b>
0.25	1) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ (ได้แก่ สมการแสดงการหาการกระจัดในการเคลื่อนที่ขาขึ้น และสมการแสดงการหาเวลาทั้งหมดในการเคลื่อนที่ หรือสมการที่เกี่ยวข้อง) 2) สมการที่ระบุ <b>ไม่ถูกต้อง</b> ทั้งหมด หรือ <b>ไม่สามารถ</b> สื่อความถึงสมการที่ถูกต้องได้ หรือ <b>ระบุไม่ครบถ้วน</b>
0	1) <b>ไม่ได้</b> ระบุสมการที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบ
<b>3. กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม</b>	
1	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณการกระจัดสูงสุด                      1.2) คำนวณระยะทางทั้งหมดจากการกระจัด 1.3) คำนวณเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ทั้งหมด      1.4) คำนวณอัตราเร็วเฉลี่ย 2) <b>ไม่พบ</b> ข้อผิดพลาดในการคำนวณ
0.5	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณการกระจัดสูงสุด                      1.2) คำนวณระยะทางทั้งหมดจากการกระจัด 1.3) คำนวณเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ทั้งหมด      1.4) คำนวณอัตราเร็วเฉลี่ย 2) พบข้อผิดพลาดในการคำนวณบางส่วน
0.25	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นำไปสู่คำตอบ เช่น 1.1) คำนวณการกระจัดสูงสุด                      1.2) คำนวณระยะทางทั้งหมดจากการกระจัด 1.3) คำนวณเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ทั้งหมด      1.4) คำนวณอัตราเร็วเฉลี่ย

คะแนน	รายละเอียด
	2) ไม่พบข้อผิดพลาดในการคำนวณทั้งหมด
0	1) ลำดับการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่นำไปสู่คำตอบ
<b>4. การระบุขนาดของคำตอบ</b>	
1	ระบุคำตอบได้ถูกต้อง คือ 10
0	ระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
<b>5. การระบุหน่วยของคำตอบ</b>	
1	ระบุหน่วยของคำตอบ คือ เมตร/วินาที
0	ระบุหน่วยของคำตอบที่ไม่ถูกต้อง



### 3. ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความยาก อำนาจจำแนก และความเที่ยง ของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความยาก อำนาจจำแนก และความเที่ยง ของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นดังตารางต่อไปนี้

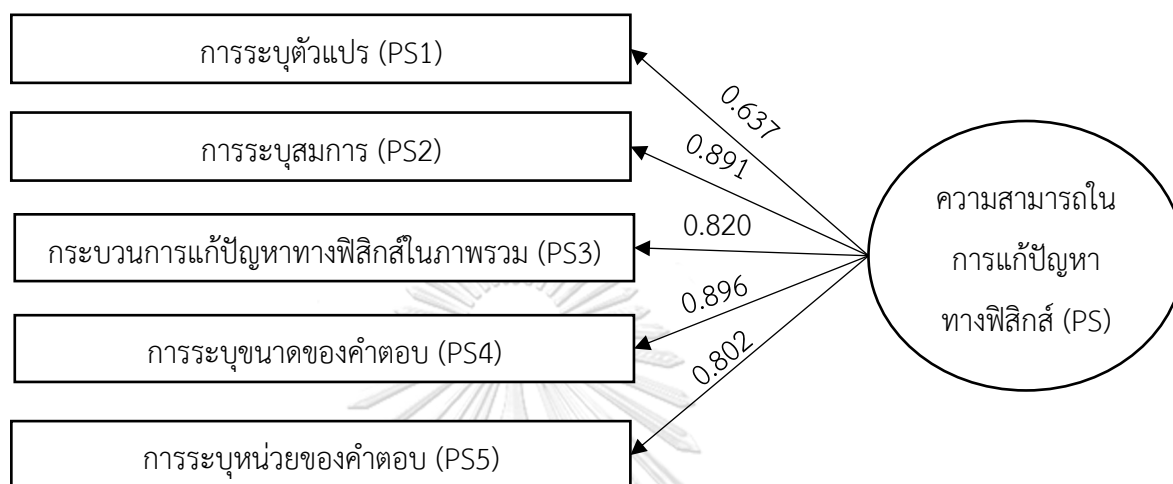
**ตาราง** คุณภาพด้านความยาก อำนาจจำแนก และความเที่ยง ของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ปัญหาที่	ความยาก	อำนาจจำแนก	แปลผล	ความเที่ยง
1	0.67	0.26	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้พอใช้	.807
2	0.50	0.24	ยากปานกลาง และจำแนกได้พอใช้	
3	0.49	0.27	ยากปานกลาง และจำแนกได้พอใช้	
4	0.46	0.28	ยากปานกลาง และจำแนกได้พอใช้	
5	0.37	0.35	ค่อนข้างยาก และจำแนกได้ดี	
6	0.67	0.34	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ดี	
7	0.35	0.38	ค่อนข้างยาก และจำแนกได้ดี	
8	0.71	0.42	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ดีมาก	
9	0.41	0.34	ยากปานกลาง และจำแนกได้ดี	

จากปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 9 ข้อพบว่า ปัญหาทั้งหมดมีคุณภาพด้านความยากในระดับค่อนข้างง่ายจนถึงยากปานกลาง มีคุณภาพด้านอำนาจจำแนกในระดับจำแนกได้พอใช้ถึงจำแนกได้ดีมาก และมีความเที่ยงอยู่ในระดับสูง จึงสรุปได้ว่าแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีคุณภาพเครื่องมือสอดคล้องตามเกณฑ์และสามารถนำไปใช้ได้

#### 4. ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงโครงสร้างของแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันสำหรับองค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ (Physics Problem Solving, PS) เป็นดังแผนภาพและตารางต่อไปนี้



**แผนภาพ** กรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ซึ่งแสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน

**ตาราง** น้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Beta) ส่วนเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (SE) สถิติทดสอบ t และค่าความผันแปรร่วม ( $R^2$ ) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ และค่าดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับข้อมูลเชิงประจักษ์

องค์ประกอบ	Beta	SE	t	$R^2$
1) การระบุตัวแปร (PS1)	0.637	0.068	9.403*	0.406
2) การระบุสมการ (PS2)	0.891	0.059	15.065*	0.793
3) กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม (PS3)	0.820	0.062	13.271*	0.672
4) การระบุขนาดของคำตอบ (PS4)	0.896	0.059	15.190*	0.803
5) การระบุหน่วยของคำตอบ (PS5)	0.802	0.063	12.675*	0.644

**ดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์กับข้อมูลเชิงประจักษ์**

$\chi^2 = 1.982$	df = 3	p-value = 0.576	RMSEA = 0.000	RMR = 0.012
SRMR = 0.012	GFI = .996	AGFI = 0.978	CFI = 1.000	

\*p<.05

จากแผนภาพและตารางข้างต้น พบว่า กรอบแนวคิดในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานขององค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งหมดมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งองค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงสุดและต่ำสุด ได้แก่ การระบุขนาดของคำตอบ และการระบุตัวแปร ซึ่งมีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเป็น 0.896 และ 0.637 ตามลำดับ ทั้งนี้ องค์ประกอบการระบุขนาดของคำตอบมีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์สูงสุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80.3 และองค์ประกอบการระบุตัวแปรมีความผันแปรร่วมกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ต่ำสุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40.6

จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่า แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีความตรงเชิงโครงสร้าง



## ภาคผนวก ง

## ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบวัดการรู้คิด ฉบับทดลองใช้

## 1. ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดการรู้คิด

ข้อที่	ดัชนี IOC	ผลการตรวจสอบ	ผลการปรับแก้ไข
1	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ขยายความคำว่า “หลักการ” ให้ครอบคลุมกับ ความรู้ที่นักเรียนต้องใช้ เช่น หลักการ ความสัมพันธ์ ทฤษฎี
2	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ยกตัวอย่างทักษะประกอบ เช่น ทักษะการวิเคราะห์ โจทย์ ทักษะการคำนวณ ทักษะการแก้สมการ
3	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	สลับข้อคำถามกับข้อ 4
4	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	สลับข้อคำถามกับข้อ 3
5	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ใช้เป็นคำว่า “การวางแผน การกำหนดลำดับ หรือ ขั้นตอน” เพิ่มเติมจากคำว่า “ขั้นตอน” เพื่อให้ ครอบคลุมกับประเด็นเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาทาง ฟิสิกส์
6	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ยกตัวอย่างว่าการแก้ปัญหาควรเริ่มจากอะไร เช่น ระบุปัญหา วิเคราะห์ปัญหา
7	0.67	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ปรับแก้ไขเป็น “ฉันจะใช้เทคนิคหนึ่ง ๆ ในการแก้ โจทย์ปัญหาในสถานการณ์ใด”
8	0.67	ผ่าน	-
9	0.33 (แก้เป็น 1)	ไม่ผ่าน แต่ปรับแก้ ตามข้อเสนอแนะ แล้ว ผู้ทรงคุณวุฒิ จึงปรับคะแนนให้	ระบุวัตถุประสงค์การแก้โจทย์ปัญหาให้ชัดเจน โดย ปรับแก้ไขเป็น “ก่อนเริ่มแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันมีการตั้งเป้าหมายว่าจะหาคำตอบเกี่ยวกับอะไร”
10	0.33 (แก้เป็น 1)	ไม่ผ่าน แต่ปรับแก้ ตามข้อเสนอแนะ แล้ว ผู้ทรงคุณวุฒิ จึงปรับคะแนนให้	ปรับแก้ไขเป็น “ก่อนเริ่มแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันมีการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาว่าเป็นโจทย์เกี่ยวกับ เนื้อหาอะไร โจทย์ปัญหาให้ปริมาณอะไรมาบ้าง มี ทฤษฎีหรือหลักการอะไรที่เกี่ยวข้อง”

ข้อที่	ดัชนี IOC	ผลการตรวจสอบ	ผลการปรับแก้ไข
11	1	ผ่าน	-
12	0.67	ผ่าน	-
13	1	ผ่าน	-
14	0.33 (แก้เป็น 1)	ไม่ผ่าน แต่ปรับแก้ ตามข้อเสนอแนะ แล้ว ผู้ทรงคุณวุฒิ จึงปรับคะแนนให้	การแทนค่าตัวเลขหรือตัวแปรอย่างระมัดระวังยังไม่ สอดคล้องกับ “กลยุทธ์ที่เจาะจง” ในกรณีเก็บข้อมูล กับเนื้อหาการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง จึงปรับแก้ไข เป็น “เมื่อฉันแก้ไขภัยปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันมีการใช้ กราฟ หรือวาดเวกเตอร์ที่จำเป็นต่อการแก้ไขภัย ปัญหาทางฟิสิกส์”
15	1	ผ่าน	-
16	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ปรับแก้ไขเป็น “ฉัน <u>ไม่ได้</u> กำกับตนเองให้แก้ปัญหา ตามที่วางแผนดำเนินการที่กำหนดไว้”
17	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ปรับแก้ไขเป็น “เมื่อฉันไม่เข้าใจเกี่ยวกับภัยปัญหา ทางฟิสิกส์ ฉันจะหาทางออกในการแก้ไขภัยปัญหา โดยการขอความช่วยเหลือจากบุคคลรอบข้าง เช่น ถามครู ปรึกษาเพื่อน เป็นต้น”
18	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ปรับแก้ไขเป็น “เมื่อฉันไม่เข้าใจเกี่ยวกับภัยปัญหา ทางฟิสิกส์ ฉันจะหาทางออกในการแก้ไขภัยปัญหา โดยการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม เช่น สืบค้นข้อมูลจาก หนังสือ อินเทอร์เน็ต ห้องสมุด หรือวีดิทัศน์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากอินเทอร์เน็ต”
19	1	ผ่าน	-
20	1	ผ่าน แต่มีการปรับแก้ไข	ปรับแก้ไขเป็น “ฉัน <u>ไม่ได้</u> ตรวจสอบคำตอบว่ามีความ สมเหตุสมผลหรือไม่ (เช่น ไม่ได้ตรวจสอบความ เป็นไปได้ของเครื่องหมาย หน่วย หรือทิศทางของ คำตอบ)”

## 2. ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความเที่ยงของแบบวัดการรู้คิด

ความเที่ยงของแบบวัดการรู้คิดพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ซึ่งมีค่าเท่ากับ .669 โดยอยู่ในระดับปานกลาง

เมื่อนำข้อคำถามที่ 14 ออกจากแบบวัด พบว่าความเที่ยงของแบบวัดมีค่าเป็น .832 ซึ่งอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้ การตัดข้อคำถามที่ 14 ไม่ส่งผลกระทบต่อความครบถ้วนขององค์ประกอบของการรู้คิด

ความเที่ยงของแบบวัดการรู้คิดสำหรับแบบวัดฉบับเดิมและแบบวัดฉบับแก้ไขมีค่าสรุปได้ดังตาราง

ตาราง ความเที่ยงของแบบวัดการรู้คิดสำหรับแบบวัดฉบับเดิมและแบบวัดฉบับแก้ไข

ความเที่ยงของแบบวัดฉบับเดิม	ความเที่ยงของแบบวัดฉบับแก้ไข
.669	.832

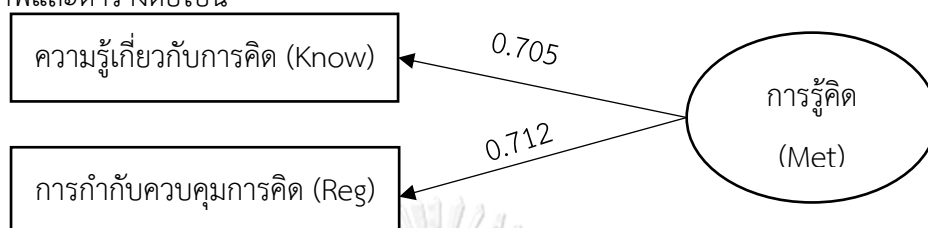




### 3. ผลการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการรู้คิดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

#### 3.1 ความตรงเชิงโครงสร้างของกรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดการรู้คิด (Metacognition, Met) เป็นดังแผนภาพและตารางต่อไปนี้



**แผนภาพ** กรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดซึ่งแสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน

**ตาราง** น้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Beta) ส่วนเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (SE) สถิติทดสอบ t และค่าความผันแปรร่วม ( $R^2$ ) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดการรู้คิด และค่าดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดกับข้อมูลเชิงประจักษ์

องค์ประกอบในการวัดการรู้คิด	Beta	SE	t	$R^2$
1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Know)	0.705	0.144	4.882*	0.497
2) การกำกับควบคุมการคิด (Reg)	0.712	0.143	4.962*	0.508

**ดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดกับข้อมูลเชิงประจักษ์**

$\chi^2 = 0.009$	df = 1	p-value = 0.924	RMSEA = 0.000	RMR = 0.005
SRMR = 0.005	GFI = 0.990	AGFI = 0.970	CFI = 1.000	

\* $p < .05$

จากแผนภาพและตารางข้างต้น พบว่า กรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานของความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด ในการวัดการรู้คิดมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยองค์ประกอบที่มีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงที่สุดคือการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเป็น 0.712 นอกจากนี้ ความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด มีความผันแปรร่วมกับการรู้คิดซึ่งคิดเป็นร้อยละ 49.7 และ 50.8 ตามลำดับ

จากสารสนเทศข้างต้น จึงสรุปได้ว่า แบบวัดการรู้คิดมีความตรงเชิงโครงสร้าง

## ภาคผนวก จ

### แบบวัดการรู้คิด และผลการตรวจสอบคุณภาพ

#### 1. แบบวัดการรู้คิด

##### คำชี้แจง

- 1) ระหว่างการตอบแบบวัดนี้ ให้นักเรียนนึกถึงกระบวนการคิดของตนเองที่เกิดขึ้นในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ได้ทำไปเมื่อสักครู่ หรือกระบวนการคิดของตนเองที่เกิดขึ้นในการแก้ปัญหาฟิสิกส์ในเนื้อหาการเคลื่อนที่แนวตรงในห้องเรียน
- 2) ข้อมูลการตอบคำถามของนักเรียนจะ**ไม่มีผลกระทบ**ต่อคะแนนในรายวิชาใด ๆ
- 3) ข้อมูลของนักเรียนทั้งหมดนี้แบบวัดจะถูกเก็บเป็นความลับ ไม่เปิดเผยแก่ผู้ใด และการนำข้อมูลของนักเรียนไปใช้จะนำเสนอในภาพรวมเท่านั้น

##### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ให้นักเรียนกรอกข้อมูลของตนเองต่อไปนี้

- 1) ชื่อ \_\_\_\_\_ นามสกุล \_\_\_\_\_ 2) โรงเรียน \_\_\_\_\_
- 3) ชั้น \_\_\_\_\_ 4) เลขที่ \_\_\_\_\_ 5) เบอร์โทรศัพท์ \_\_\_\_\_

##### ส่วนที่ 2 ข้อคำถามในการวัดการรู้คิด

จากข้อความที่กำหนดให้แต่ละข้อ ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย X ลงในช่องระดับความเป็นจริงที่ตรงกับนักเรียนมากที่สุด โดยกำหนดระดับความเป็นจริง 1 - 5 มีความหมายดังนี้

- |                                       |   |  |
|---------------------------------------|---|--|
| ระดับความเป็นจริง 1 ไม่เคยเป็นจริงเลย | ระดับความเป็นจริง 2 แทบจะไม่เคยเป็นจริง | ระดับความเป็นจริง 3 เป็นจริงบ้างบางครั้ง |
| ระดับความเป็นจริง 4 เป็นจริงบ่อยครั้ง | ระดับความเป็นจริง 5 เป็นจริงเสมอ        |  |

ข้อความ	ระดับความเป็นจริงที่ตรงกับนักเรียน				
	ไม่เคยเป็นจริงเลย	แทบจะไม่เคยเป็นจริง	เป็นจริงบ้างบางครั้ง	เป็นจริงบ่อยครั้ง	เป็นจริงเสมอ
	1	2	3	4	5
1) เมื่อฉันแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ว่า ฉันต้องใช้หลักการ ความสัมพันธ์ หรือทฤษฎีทางฟิสิกส์อะไรในการแก้โจทย์ปัญหา					
2) เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ว่า ฉันต้องใช้ทักษะอะไรบางอย่างในการแก้โจทย์ปัญหา (เช่น ทักษะการวิเคราะห์โจทย์ ทักษะการคำนวณ ทักษะการแก้สมการ)					
3) เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉัน <b>ไม่สามารถบอกได้ว่า</b> ฉันจะแก้โจทย์ปัญหาได้หรือไม่					
4) เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันสามารถประเมินตนเองได้ว่าฉันแก้โจทย์ปัญหาได้ดีเพียงใด					
5) เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ว่า วิธีการวางแผน การกำหนดลำดับ หรือขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาควาร์เป็นอย่างไร					
6) เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ว่า การแก้โจทย์ปัญหาควรรเริ่มต้นจากอะไร (เช่น การระบุปัญหา การวิเคราะห์โจทย์ปัญหา)					
7) เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันรู้ว่า ฉันจะใช้เทคนิคหนึ่ง ๆ ในการแก้โจทย์ปัญหาในสถานการณ์ใด					
8) เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉัน <b>ไม่รู้ว่า</b> ทำฉันจึงใช้เทคนิคหนึ่ง ๆ ในการแก้โจทย์ปัญหา					
9) ก่อนเริ่มแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันมีการตั้งเป้าหมายว่าจะหาคำตอบเกี่ยวกับอะไร					

ข้อความ	ระดับความเป็นจริงที่ตรงกับนักเรียน				
	ไม่เคยเป็นจริงเลย	แทบจะไม่เคยเป็นจริง	เป็นจริงบ้างบางครั้ง	เป็นจริงบ่อยครั้ง	เป็นจริงเสมอ
	1	2	3	4	5
10) ก่อนเริ่มแก้ไขปัญหทางฟิสิกส์ ฉันมีการวิเคราะห์หรือหาวิธีแก้ปัญหว่าเป็นโจทย์เกี่ยวกับเนื้อหาอะไร โจทย์ปัญหาให้ปริมาณอะไรมาบ้าง มีทฤษฎีหรือหลักการอะไรที่เกี่ยวข้อง					
11) ก่อนเริ่มแก้ไขปัญหทางฟิสิกส์ ฉันมีการวางแผนหรือคิดขั้นตอนในการแก้ไขปัญห					
12) ก่อนเริ่มแก้ไขปัญหทางฟิสิกส์ ฉัน <b>ไม่</b> มีกฏเกณฑ์จำเป็นที่ต้องใช้ในการแก้ไขปัญห					
13) เมื่อฉันแก้ไขปัญหทางฟิสิกส์ ฉันวาดรูปหรือแผนภาพที่จำเป็นต่อการแก้ไขปัญห					
14) ระหว่างการแก้ไขปัญหทางฟิสิกส์ ฉันทบทวนกับตนเองว่า ขั้นตอนหรือวิธีการที่ฉันใช้แก้ไขปัญหสามารถนำไปสู่คำตอบที่ต้องการได้หรือไม่					
15) ระหว่างการแก้ไขปัญหทางฟิสิกส์ ฉัน <b>ไม่</b> ได้กำกับตนเองให้แก้ปัญหตามที่วางแผนดำเนินการที่กำหนดไว้					
16) เมื่อฉันไม่เข้าใจเกี่ยวกับโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันจะหาทางออกในการแก้ไขปัญหโดยการขอความช่วยเหลือจากบุคคลรอบข้าง เช่น ถามครู ปรึกษาเพื่อน เป็นต้น					
17) เมื่อฉันไม่เข้าใจเกี่ยวกับโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันจะหาทางออกในการแก้ไขปัญหโดยการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม เช่น สืบค้นข้อมูลจากหนังสือ อินเทอร์เน็ต ห้องสมุด หรือวีดิทัศน์จากอินเทอร์เน็ต					

ข้อความ	ระดับความเป็นจริงที่ตรงกับนักเรียน				
	ไม่เคย เป็นจริงเลย	แทบจะ ไม่เคยเป็น จริง	เป็นจริง บ้าง	เป็นจริง บ่อยครั้ง	เป็นจริง เสมอ
	1	2	3	4	5
18) หลังการแก้ไขปัญหาทางฟิสิกส์ ฉันตรวจสอบขั้นตอนการแก้ไขปัญหาคงฉันว่า ขั้นตอน ที่ใช้มีความถูกต้องหรือไม่					
19) หลังการแก้ไขปัญหาทางฟิสิกส์ ฉัน <b>ไม่ได้</b> ตรวจสอบคำตอบว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ (เช่น ไม่ได้ตรวจสอบความเป็นไปได้ของเครื่องหมาย หน่วย หรือทิศทางของคำตอบ)					

\*\*\*\*\*ขอขอบคุณนักเรียนที่ให้ความร่วมมือ\*\*\*\*\*

นายชัชวัญ ศิริพันธ์ศักดิ์ (ผู้จัดทำแบบวัด)

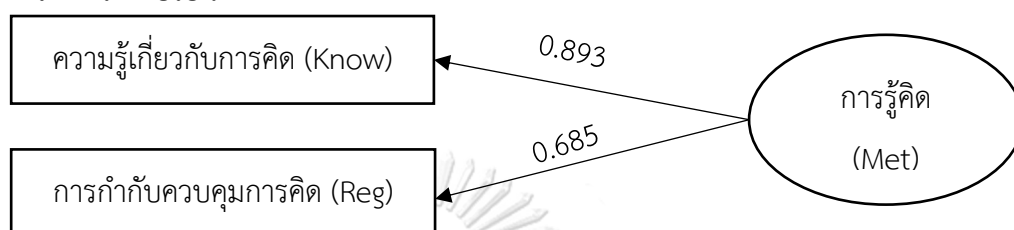
\*หมายเหตุ: ดัดแปลงจาก Taasobshirazi, Bailey & Farley (2015)

## 2. ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความเที่ยงของแบบวัดการรู้คิด

ความเที่ยงของแบบวัดการรู้คิดพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.745 โดยอยู่ในระดับสูง

## 3. ผลการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงโครงสร้างของแบบวัดการรู้คิด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดการรู้คิด (Metacognition, Met) เป็นผังแผนภาพและตารางต่อไปนี้



**แผนภาพ** กรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดซึ่งแสดงค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน

**ตาราง** น้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Beta) ส่วนเบี่ยงเบนความคลาดเคลื่อน (SE) สถิติทดสอบ t และค่าความผันแปรร่วม ( $R^2$ ) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในการวัดการรู้คิด และค่าดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดกับข้อมูลเชิงประจักษ์

องค์ประกอบในการวัดการรู้คิด	Beta	SE	t	$R^2$
1) ความรู้เกี่ยวกับการคิด (Know)	0.893	0.058	15.430*	0.799
2) การกำกับควบคุมการคิด (Reg)	0.685	0.067	10.275*	0.484

**ดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของกรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดกับข้อมูลเชิงประจักษ์**

$\chi^2 = 0.516$	df = 1	p-value = 0.472	RMSEA = 0.000	RMR = 0.019
SRMR = 0.019	GFI = 0.997	AGFI = 0.992	CFI = 1.000	

\* $p < .05$

จากแผนภาพและตารางข้างต้น พบว่า กรอบแนวคิดในการวัดการรู้คิดสอดคล้องกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานขององค์ประกอบในการวัดการรู้คิดทั้งหมดมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งองค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานสูงสุดและต่ำสุดได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการคิด และการกำกับควบคุมการคิด ซึ่งมีน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานเป็น 0.893 และ 0.685 ตามลำดับ ทั้งนี้ องค์ประกอบความรู้เกี่ยวกับการคิดมีความผันแปรร่วมกับการรู้คิดสูงสุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 79.9 และองค์ประกอบการกำกับควบคุมการคิดมีความผันแปรร่วมกับการรู้คิดต่ำสุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.4

จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่า แบบวัดการรู้คิดมีความตรงเชิงโครงสร้าง

### ภาคผนวก ฉ

#### ผลการทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับนักเรียน ฉบับทดลองใช้

เมื่อให้นักเรียนทำแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหาทงฟิสิกส์ พบว่านักเรียนสามารถแสดงการเขียนวิธีทำพร้อมกับการคิดออกเสียงได้จริง ดังตัวอย่างคำพูดของนักเรียน ดังนี้

“ขับรถไฟทางทิศเหนือด้วยความเร็ว 20 เมตร (ต่อวินาที) ... อ่าห๊ะ 20 เมตร (เขียนแผนภาพ) ด้านตรงหัวออกไปเป็นระยะ 40 เมตร ... 40 เมตร (เขียนแผนภาพ) ...”

(นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการทดลองใช้เครื่องมือ, 20 ม.ค. 63)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ภาคผนวก ข

## ผลการทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับนักเรียน

ชื่อ-นามสกุล \_\_\_\_\_ โรงเรียน \_\_\_\_\_ ชั้น \_\_\_\_\_ เลขที่ \_\_\_\_\_ เบอร์โทรศัพท์ \_\_\_\_\_

1) แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับนี้เป็นแบบอัตนัยจำนวน 9 ปัญหา โดยแต่ละปัญหามีจำนวนข้อย่อยทั้งสิ้น 4 ข้อย่อย ใช้เวลาทำทั้งสิ้น 60 นาที

2) ในการแสดงวิธีทำแต่ละปัญหา ให้นักเรียนระบุ

2.1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

2.2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องซึ่งเขียนในรูปตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

2.3) วิธีทำในการแก้ปัญหา

2.4) คำตอบของปัญหา และหน่วยของคำตอบ

3) เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาแต่ละปัญหาแตกต่างกัน การกำหนดคะแนนปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งหมดจึงมีการให้คะแนนที่แตกต่างกัน โดยมีน้ำหนักคะแนนดังตารางต่อไปนี้

ตาราง คะแนนสำหรับปัญหาทางฟิสิกส์แต่ละปัญหาและจำแนกตามองค์ประกอบ

ปัญหาทางฟิสิกส์ที่	คะแนน					
	ตัวแปร	สมการ	วิธีทำ	คำตอบ	หน่วย	รวม
1 การเดินเล่นริมสระน้ำ	1	1	1	1	1	5
2 การวิ่งรอบสนาม	1	1	1	1	1	5
3 การเบรกรถแล้วถอยรถ	1	1	1	1	1	5
4 กราฟความเร่งกับเวลา	1	1	1	1	1	5
5 กราฟความเร็วกับเวลา	2	2	2	2	2	10
6 การเบรกรถก่อนด่านตรวจ	1	1	1	1	1	5
7 การเคลื่อนที่ที่ทันกัน	2	2	2	2	2	10
8 การทำโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่หล่น	1	1	1	1	1	5
9 การโยนของขึ้นในแนวตั้ง	2	2	2	2	2	10
รวม	12	12	12	12	12	60

3) กำหนดให้ ค่าคงที่ที่อาจจำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มีค่าดังนี้

$$3.1) \text{ ค่าคงที่พิสัย} = \pi = \frac{22}{7} \quad 3.2) \text{ ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก} = g = 10 \text{ m/s}^2$$

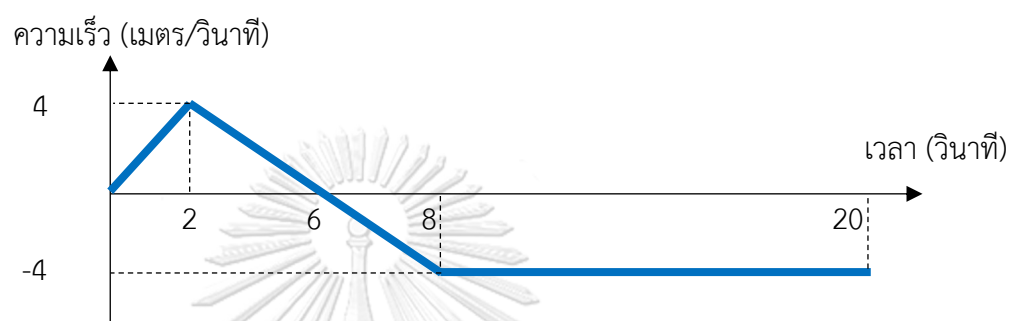
4) ระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ขอให้นักเรียนพูดทุกสิ่งที่เกิดขึ้นในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ไม่ว่าจะเป็นการอ่าน ความรู้สึก ความคิด การแทนค่า และสิ่งอื่น ๆ ได้อย่างอิสระ



### ปัญหาที่ 5 กราฟความเร็วกับเวลา

บอลลิ้ข้รถจากจุดเริ่มต้น โดยความเร็วของรถเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาดังกราฟที่ 2 ถ้าเครื่องหมายของความเร็วที่เป็นบวกแสดงให้เห็นว่าความเร็วของรถอยู่ในทิศเหนือ และเครื่องหมายของความเร็วที่เป็นลบแสดงให้เห็นว่าความเร็วของรถอยู่ในทิศใต้

กราฟที่ 2 ความเร็วของรถที่เวลาต่าง ๆ สำหรับปัญหาที่ 5



ขนาดของความเร่งเฉลี่ย ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงวินาทีที่ 20 เป็นเท่าไร

#### วิธีทำ

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

4) คำตอบและหน่วย

### ปัญหาที่ 6 การเบรกรถก่อนด่านตรวจ

ชายคนหนึ่งขับรถไปทางทิศเหนือด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที เขาพบว่าถนนเส้นนี้มีด่านตรวจอยู่ห่างออกไปเป็นระยะ 40 เมตร เขาจึงต้องการลดความเร็วลงในอัตราคงที่จนหยุดนิ่งที่ด่านตรวจพอดี เขาใช้เวลาในการเบรกรถนานเท่าไร

#### วิธีทำ

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) คำตอบและหน่วย

### ปัญหาที่ 7 การขับรถไฟเคลื่อนที่ทันกัน

รถคันหนึ่งฝ่าไฟแดงด้วยความเร็วคงที่ 30 เมตร/วินาทีในทิศเหนือ ตำรวจจึงขับออกจากป้อม ตำรวจด้วยความเร่งคงที่ 4 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ทางทิศเดียวกัน เมื่อตำรวจสามารถตามได้ทัน ตำรวจจะเคลื่อนที่ได้การกระจัดเท่าไร

#### วิธีทำ

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) คำตอบและหน่วย

### ปัญหาที่ 8 การทำโทรศัพท์เคลื่อนที่หล่น

ขวัญยืนอยู่บนสะพานลอย ขวัญเผลอทำ Smartphone หล่นลงสู่พื้นล่างซึ่งอยู่ห่างจากมือ 5 เมตร โดยเริ่มต้นเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง ขณะที่ Smartphone เริ่มกระทบพื้นล่าง Smartphone จะมีความเร็วขนาดเท่าไร

#### วิธีทำ

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4) คำตอบและหน่วย

### ปัญหาที่ 9 การโยนของขึ้นในแนวตั้ง

ฟ้าโยนก้อนหินเล่น โดยโยนขึ้นด้วยความเร็วต้น 20 เมตร/วินาที เมื่อก้อนหินเคลื่อนที่ตกกลับมาที่จุดเริ่มต้น ก้อนหินจะมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่เท่าไร

#### วิธีทำ

1) ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า และตัวแปรที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งค่าของตัวแปร ได้แก่

---

2) สมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

---

3) ขั้นตอน/วิธีทำในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

4) คำตอบและหน่วย

---



## ภาคผนวก ซ

## แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัย

ชื่อนักเรียน \_\_\_\_\_ โรงเรียน \_\_\_\_\_

วันที่บันทึก \_\_\_\_\_ เวลาเริ่มบันทึก \_\_\_\_\_ เวลาสิ้นสุด \_\_\_\_\_

1. พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกระหว่างการแก้ปัญหทางฟิสิกส์

ปัญหาที่ \_\_\_\_\_

วินาทีที่	พฤติกรรม	การคิดออกเสียง
-----------	----------	----------------



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. รายละเอียดเพิ่มเติม

---



---



---



---



---

## ภาคผนวก ฅ

## ผลการทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหทางฟิสิกส์สำหรับผู้วิจัย

ชื่อนักเรียน เอ็ม (นามสมมติ)

โรงเรียน สาธิต มศว ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)

วันที่บันทึก 20 ม.ค. 63

เวลาเริ่มบันทึก 16.30 น.

เวลาสิ้นสุด 17.00 น.

## 1. พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกระหว่างการแก้ปัญหทางฟิสิกส์

ปัญหาที่	วินาทีที่	พฤติกรรม	การคิดออกเสียง
1	1	- มีการเขียนแสดงรูปที่เกี่ยวข้อง	-
2	60	- มีการเขียนทิศทางในปัญหา	- มีการถามตัวเองว่า “ใช่ไหมนะ” ในระหว่างการแก้ปัญห
3	180	- มีการวาดรูปแสดงทิศทาง	- มีเสียง “อืม...”
	300		- มีการถามตัวเองว่า “ใช่ไหมนะ” และ “ลองแบบนี้ดูก่อน”
	360	- มีการเขียนสูตรที่ไม่ถูกต้อง แต่ชงักและทำการแก้ไข	
	420		- มีการระบุว่า “ไม่มั่นใจ ชั่งมันก่อน”
4	480	- มีการระบุเครื่องหมายแสดงทิศ แต่ลบออก	- มีการอ่านข้อมูลจากโจทย์ที่ไม่ถูกต้อง แต่ทบทวนซ้ำ ๆ
	500	- มีการเขียนทดลองในโจทย์เหนือคำสำคัญ	
	560		- มีการพูดถึงตัวแปรที่ทราบค่า “เรามี u มี ... a”
	600		- มีการถามตนเองว่า “a เป็นเท่าไร” “ต้องหาทีละอัน” และ “ใช่ไหมนะ”
	660	- หาปริมาณที่ต้องการตามที่ตนเองได้พูดออกมา	
	740	- ย้อนกลับมาแก้ไขระหว่างแก้ปัญหาที่ 5	
5	720	- ระหว่างทำมีการย้อนไปแก้ปัญหาที่ 4	- พูดเกี่ยวกับตัวแปรสำคัญที่โจทย์กำหนดให้

ปัญหาที่	วินาทีที่	พฤติกรรม	การคิดออกเสียง
	820	- เมื่อแก้ปัญหาเสร็จ ย้อนพิจารณาสิ่งที่ถามเป็นลำดับสุดท้ายแล้วลบคำตอบที่ไม่ได้ใช้ออก	
6	900 920	- วาดรูปจากข้อมูลที่กำหนดให้ก่อน	- อ่านคำถามของโจทย์ - พูดถึงตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหลายตัว พูดเกี่ยวกับการเลือกใช้สูตร “ได้ไม่มี a”
7	1000 1020 1060 1080 1100 1120 1700 1730 1800	- วาดรูปจากสิ่งที่โจทย์กำหนดให้     - มีการข้ามเมื่อทำต่อไม่ได้ (กลับมาทำต่อหลังแก้ปัญหาที่ 9 แล้ว)  - มีการเขียนสมการและไล่ตรวจสอบตัวแปร	- ถามตนเองว่า “ใช่ไหมนะ” - พูดเกี่ยวกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า - ถามตนเองย้าว่า “ใช่ไหมนะ” - พูดเกี่ยวกับเงื่อนไขของโจทย์ “a คงที่ด้วย ดังนั้น” - พูดเกี่ยวกับการแก้โจทย์ “ถ้ารูป ... ก็จะทำ ... ได้”  - ถามตนเองว่า “เวลาเท่าไหม” “ถ้าใช้ s เชื่อมจะได้ไหม ลองก่อน”  - มีการพูดถึงเงื่อนไขของคำตอบ “t ไม่ติดลบ เพราะ t เป็นบวก”
8	1200 1230	- พิจารณาโจทย์แล้วจึงวาดภาพตาม	- พูดถึงตัวแปรที่ทราบค่า



ปัญหาที่	วินาทีที่	พฤติกรรม	การคิดออกเสียง
	1240		- พูดถึงการแทนค่าความเร่ง “ $a = g$ นั้นแหละ”
	1280		- มีการถามตนเองว่า “ใช้มัย... ลองดู”
	1300	- มีการเขียนสมการที่ใช้ไม่ได้ แล้ว จึงตัดออก	
	1310	- เลือกสมการใหม่	
			- มีการถามตนเองว่า “ใช้ไหมนะ”
9	1320	- พิจารณาโจทย์แล้วจึงวาดรูป	- พูดย้ำในค่าที่ไมู้ “เราไม่รู้...”
	1350		- ถามตนเองว่า “ใช้ไหมนะ”
	1400	- หลังคำนวณค่าได้ นำข้อมูล กลับไปเติมในรูป	
	1450		พูดเกี่ยวกับสูตรที่เกี่ยวข้อง
	1500		พูดเกี่ยวกับการหาเวลา “เวลาขึ้น เท่ากับเวลาลงไหมนะ ไม่เท่า เพราะเป็น Free fall ใช้ไหมนะ หรือเวลาเท่า ใช้แหละ (เวลา เท่า)”
	1600	มีการทวนสูตรที่ใช้ในภายหลัง กลับไปแก้ปัญหาคำที่ 7	

## 2. รายละเอียดเพิ่มเติม

- นักเรียนแก้ปัญหามาทางฟิสิกส์ไปตามลำดับ
- มักพูดว่า “เอาแล้ว” เมื่อติดขัดในการแก้ปัญหามาทางฟิสิกส์
- หลังการแก้ปัญหามาทางฟิสิกส์ครบทุกปัญหาแล้ว มีการย้อนกลับไปทบทวนตั้งแต่ปัญหาที่ 1 อีกครั้ง

## 3. สรุปผลการทดลองใช้แบบบันทึกการคิดออกเสียงสำหรับผู้วิจัย

เมื่อให้นักเรียนทำแบบบันทึกการคิดออกเสียงการแก้ปัญหามาทางฟิสิกส์ ผู้วิจัยทำการบันทึกพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกในระหว่างการแก้ปัญหามาทางฟิสิกส์ได้จริง โดยทำการบันทึกพฤติกรรมที่ปรากฏในแต่ละข้อลงในแบบบันทึก และบันทึกพฤติกรรมที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการแก้ปัญหามาทางฟิสิกส์ลงในส่วนรายละเอียดเพิ่มเติม

**ภาคผนวก ญ**  
**ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์**

ชื่อนักเรียน \_\_\_\_\_ โรงเรียน \_\_\_\_\_  
วันที่บันทึก \_\_\_\_\_ เวลาเริ่มบันทึก \_\_\_\_\_ เวลาสิ้นสุด \_\_\_\_\_

**ประเด็นการสัมภาษณ์**

1. เนื่องจากนักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีเลย จึงอยากรอบว่านักเรียนมีวิธีการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับคนอื่น ๆ ตอบได้เต็มที่ตามอิสระเลยนะครับ
2. การเริ่มสนทนาเพื่อสร้างความคุ้นเคย (เช่น จากโจทย์ที่นักเรียนแก้ไปเมื่อสักครู่ นักเรียนเป็นอย่างไรบ้าง รู้สึกอย่างไรบ้าง เป็นต้น)
3. การให้นักเรียนทบทวนสิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ดังตัวอย่างคำถาม
  - 3.1 เมื่อสักครู่นี้ นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ได้หรือไม่
  - 3.2 นักเรียนแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ครบถ้วนทุกปัญหาหรือไม่
4. การตั้งคำถามเชิงลึกเกี่ยวกับกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน ซึ่งขึ้นอยู่กับสิ่งที่ตอบ ดังตัวอย่างคำถาม
  - 4.1 จากปัญหาที่ \_\_\_\_\_ นักเรียนพอจะเล่าให้ฟังได้หรือไม่ว่า นักเรียนมีขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นี้ได้อย่างไร
  - 4.2 เมื่อเห็นโจทย์แล้ว นักเรียนคิดว่าอะไรบ้างที่จะเป็นข้อได้เปรียบที่จะทำให้นักเรียนแก้ปัญหาได้ และอะไรบ้างจะเป็นอุปสรรคในการแก้ปัญหาของนักเรียน
  - 4.3 นักเรียนมีเทคนิคหรือวิธีการในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างไรบ้าง
  - 4.4 เมื่อครู่ นักเรียนมีการกระทำ...เล่าให้ฟังหน่อยว่าเพราะอะไรจึงทำเช่นนั้น\*\*\*\*\*
5. การให้นักเรียนระบุที่มาของการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ ดังตัวอย่างคำถาม
  - 5.1 นักเรียนได้ฝึกขั้นตอนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์นี้มาได้อย่างไร
  - 5.2 นักเรียนได้ฝึกเทคนิคหรือวิธีการในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์มาได้อย่างไร

## ภาคผนวก ก

### ผลการทดลองใช้ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

จากการทดลองใช้ประเด็นการสัมภาษณ์การแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า คำถามสามารถทำให้นักเรียนตอบได้ตามจุดมุ่งหมายของคำถามที่ต้องการ ทั้งนี้ เมื่อสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับคำถามที่ผู้วิจัยใช้ พบว่านักเรียนสามารถตอบได้ และไม่ทำให้นักเรียนเกิดความอึดอัดใจ ดังตัวอย่างคำพูดของนักเรียนดังนี้

“...คำถามที่อาจารย์ถามมาผมสามารถตอบได้ตรง ๆ และสบายใจที่จะตอบครับ...”

(นักเรียนผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการทดลองใช้เครื่องมือ, 20 ม.ค. 63)

ทั้งนี้ จากการทดลองใช้พบว่าผู้วิจัยใช้ระยะเวลาช่วงต้นในการสร้างบทสนทนาและคำถามเพื่อสร้างความคุ้นเคยกับการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตของบทสนทนาคำถามเพื่อสร้างความคุ้นเคยในช่วงต้นเพิ่มเติมและเพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการสัมภาษณ์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. การเริ่มสนทนาเพื่อสร้างความคุ้นเคย (เช่น จากโจทย์ที่นักเรียนแก้ไปเมื่อสักครู่นักเรียนเป็นอย่างไรบ้าง รู้สึกอย่างไรบ้าง เป็นต้น)

## ภาคผนวก ก

### ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตอบ

#### คำถามวิจัยข้อที่ 2

การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2 กำหนดสัญลักษณ์แสดงตัวแปรสังเกตได้ดังนี้

สัญลักษณ์แสดงองค์ประกอบของการรู้คิด

MET1 = ความรู้เกี่ยวกับการคิด

MET2 = การกำกับควบคุมการคิด

สัญลักษณ์แสดงองค์ประกอบของความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์

PS1 = การระบุตัวแปร

PS2 = การระบุสมการ

PS3 = กระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม

PS4 = การระบุขนาดของคำตอบ

PS5 = การระบุหน่วยของคำตอบ

เนื่องจากในการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างกรอบแนวคิดการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ในครั้งนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์อิทธิพลของการรู้คิดที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และการรู้คิด การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2 นี้จึงนำเสนอเมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ในการศึกษา ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบในการวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และองค์ประกอบในการวัดการรู้คิด พร้อมทั้งใช้สถิติทดสอบ KMO และ Bartlett's Test of Sphericity เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรสังเกตได้มีความสัมพันธ์ระหว่างกันและสามารถนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันได้หรือไม่ โดยที่ผลการตรวจสอบเป็นดังตาราง

ตาราง เมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ในการวิจัย และการทดสอบด้วยสถิติทดสอบ

KMO และ Bartlett's Test of Sphericity

	Met1	Met2	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5
MET1	1.000						
MET2	.602**	1.000					
PS1	.234**	.173*	1.000				
PS2	.373**	.270**	.558**	1.000			
PS3	.447**	.323**	.556**	.804**	1.000		
PS4	.443**	.292**	.492**	.723**	.942**	1.000	
PS5	.410**	.313**	.556**	.726**	.731**	.700**	1.000

KMO = 0.807, Bartlett's Test of Sphericity:  $\chi^2 = 978.84$  df = 21 p = .000

\*p < .05

\*\* p < .01

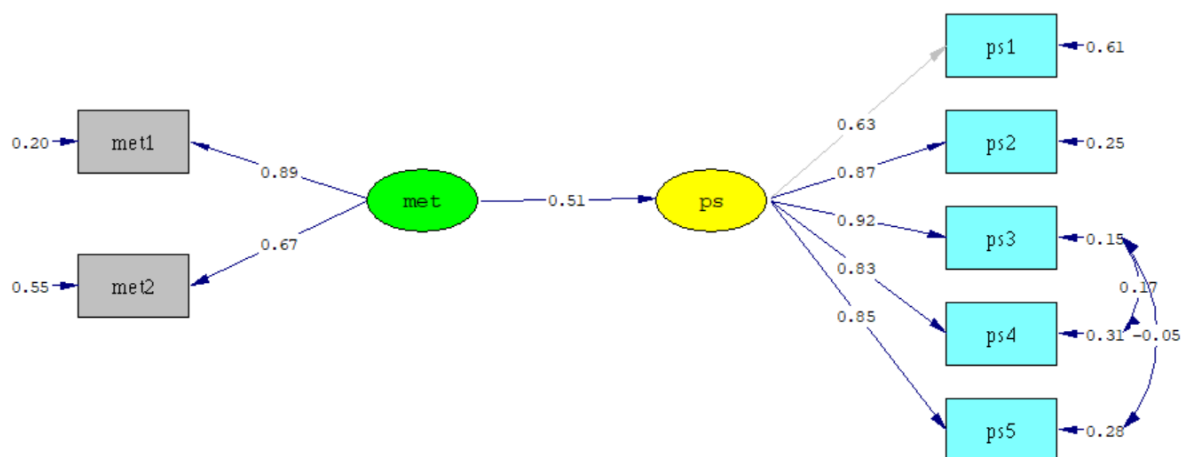
จากตารางข้างต้น พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้มีค่าตั้งแต่ระดับต่ำไปจนถึงสูง และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทุกค่า โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่ามากที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ในภาพรวม (PS3) กับการระบุขนาดของคำตอบ (PS4) ซึ่งมีค่าเป็น .942 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าน้อยที่สุดคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการระบุตัวแปร (PS1) กับการกำกับควบคุมการคิด (Met2) ซึ่งมีค่าเป็น .173

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ในการวิจัย สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบ พบว่า KMO มีค่ามากกว่า 0.5 และ Bartlett's Test of Sphericity มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ไม่เป็นเมทริกซ์เอกลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หรือกล่าวได้ว่า ตัวแปรสังเกตได้มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน และเมทริกซ์สหสัมพันธ์มีความเหมาะสมซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันได้

## ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจากโปรแกรม LISREL เพื่อตอบคำถามวิจัย

## ข้อที่ 2



Chi-Square=9.22, df=11, P-value=0.60129, RMSEA=0.000



DATE: 9/ 6/2020

TIME: 16:23

LISREL 8.80 (STUDENT EDITION)

BY

Karl G. Jöreskog & Dag Sörbom

This program is published exclusively by  
Scientific Software International, Inc.

7383 N. Lincoln Avenue, Suite 100

Lincolnwood, IL 60712, U.S.A.

Phone: (800)247-6113, (847)675-0720, Fax: (847)675-2140

Copyright by Scientific Software International, Inc., 1981-2006

Use of this program is subject to the terms specified in the  
Universal Copyright Convention.

Website: [www.ssicentral.com](http://www.ssicentral.com)

The following lines were read from file D:\Thesis\Stat Data Thesis\After cut\Causal Thesis.spj:

met ps causal relationships

observed variable

met1 - met2 ps1 - ps5

correlation matrix

1

.602 1

.234 .173 1

.373 .270 .558 1

.447 .323 .556 .804 1

.443 .292 .492 .723 .942 1

.410 .313 .556 .726 .731 .700 1

sample sizes = 187

latent variable

met ps

relationships

met1 - met2 = met

ps1 - ps5 = ps

ps = met

set the error between ps3 and ps4

set the error between ps3 and ps5

path diagram

LISREL OUTPUT: ME = ML nd = 3 MI EF FS SC

end of problem

met ps causal relationships

Correlation Matrix

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5	met1
ps1	1.000					
ps2	0.558	1.000				
ps3	0.556	0.804	1.000			
ps4	0.492	0.723	0.942	1.000		
ps5	0.556	0.726	0.731	0.700	1.000	
met1	0.234	0.373	0.447	0.443	0.410	1.000
met2	0.173	0.270	0.323	0.292	0.313	0.602

Correlation Matrix

	met2
met2	1.000

met ps causal relationships



## Parameter Specifications

## LAMBDA-Y

ps

-----

ps1	0
ps2	1
ps3	2
ps4	3
ps5	4

## LAMBDA-X

met

-----

met1	5
met2	6

## GAMMA

met

-----

ps	7
----	---

## PSI

ps

-----

8

## THETA-EPS

ps1 ps2 ps3 ps4 ps5

-----

ps1	9				
ps2	0	10			
ps3	0	0	11		
ps4	0	0	12	13	
ps5	0	0	14	0	15



## THETA-DELTA

met1	met2
-----	-----
16	17

met ps causal relationships

Number of Iterations = 9

LISREL Estimates (Maximum Likelihood)

## LAMBDA-Y

	ps
	-----
ps1	0.626
ps2	0.867
	(0.090)
	9.622
ps3	0.923
	(0.095)
	9.739
ps4	0.831
	(0.091)
	9.135
ps5	0.847
	(0.092)
	9.246

## LAMBDA-X

	met
	-----
met1	0.893
	(0.091)
	9.812
met2	0.674
	(0.084)
	8.039



GAMMA

met  
-----  
ps 0.512  
(0.095)  
5.408

Covariance Matrix of ETA and KSI

	ps	met
ps	1.000	
met	0.512	1.000

PHI

met  
-----  
1.000

PSI

ps  
-----  
0.737  
(0.165)  
4.474



Squared Multiple Correlations for Structural Equations

ps  
-----  
0.263

Squared Multiple Correlations for Reduced Form

ps  
-----  
0.263

## THETA-EPS

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
ps1	0.608 (0.066) 9.226				
ps2	--	0.249 (0.037) 6.659			
ps3	--	--	0.148 (0.038) 3.894		
ps4	--	--	0.174 (0.038) 4.640	0.309 (0.044) 7.025	
ps5	--	--	-0.049 (0.016) -3.023	--	0.282 (0.042) 6.642

## Squared Multiple Correlations for Y - Variables

ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
0.392	0.751	0.852	0.691	0.718

## THETA-DELTA

met1	met2
0.203 (0.129) 1.575	0.546 (0.092) 5.941

## Squared Multiple Correlations for X - Variables

met1	met2
0.797	0.454

## Goodness of Fit Statistics

Degrees of Freedom = 11

Minimum Fit Function Chi-Square = 9.190 (P = 0.604)

Normal Theory Weighted Least Squares Chi-Square = 9.223 (P = 0.601)

Estimated Non-centrality Parameter (NCP) = 0.0

90 Percent Confidence Interval for NCP = (0.0 ; 9.139)

Minimum Fit Function Value = 0.0494

Population Discrepancy Function Value (F0) = 0.0

90 Percent Confidence Interval for F0 = (0.0 ; 0.0491)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.0

90 Percent Confidence Interval for RMSEA = (0.0 ; 0.0668)

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA &lt; 0.05) = 0.867

Expected Cross-Validation Index (ECVI) = 0.242

90 Percent Confidence Interval for ECVI = (0.242 ; 0.291)

ECVI for Saturated Model = 0.301

ECVI for Independence Model = 6.366

Chi-Square for Independence Model with 21 Degrees of Freedom = 1170.030

Independence AIC = 1184.030

Model AIC = 43.223

Saturated AIC = 56.000

Independence CAIC = 1213.648

Model CAIC = 115.152

Saturated CAIC = 174.471

Normed Fit Index (NFI) = 0.992

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 1.003

Parsimony Normed Fit Index (PNFI) = 0.520

Comparative Fit Index (CFI) = 1.000

Incremental Fit Index (IFI) = 1.002

Relative Fit Index (RFI) = 0.985

Critical N (CN) = 501.468

Root Mean Square Residual (RMR) = 0.0222

Standardized RMR = 0.0222

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.986

Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.964

Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.387

met ps causal relationships

Modification Indices and Expected Change

No Non-Zero Modification Indices for LAMBDA-Y

No Non-Zero Modification Indices for LAMBDA-X

No Non-Zero Modification Indices for BETA

No Non-Zero Modification Indices for GAMMA

No Non-Zero Modification Indices for PHI

No Non-Zero Modification Indices for PSI

Modification Indices for THETA-EPS

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
ps1	--				
ps2	0.500	--			
ps3	0.046	0.290	--		
ps4	0.211	0.017		--	
ps5	1.046	0.664	--	0.160	--

Expected Change for THETA-EPS

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
ps1	--				
ps2	0.026	--			
ps3	-0.004	0.013	--		
ps4	-0.010	-0.003	--	--	
ps5	0.041	-0.036	--	-0.018	--

Completely Standardized Expected Change for THETA-EPS

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
ps1	--				
ps2	0.026	--			
ps3	-0.004	0.013	--		
ps4	-0.010	-0.003	--	--	
ps5	0.041	-0.036	--	-0.018	--

## Modification Indices for THETA-DELTA-EPS

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
met1	0.536	0.130	1.505	3.880	0.002
met2	0.096	0.376	1.133	1.536	0.492

## Expected Change for THETA-DELTA-EPS

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
met1	-0.032	-0.011	-0.020	0.037	0.002
met2	-0.014	-0.020	0.018	-0.024	0.026

## Completely Standardized Expected Change for THETA-DELTA-EPS

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5
met1	-0.032	-0.011	-0.020	0.037	0.002
met2	-0.014	-0.020	0.018	-0.024	0.026

Maximum Modification Index is 3.88 for Element ( 1, 4) of THETA DELTA-EPSILON

met ps causal relationships

Factor Scores Regressions

ETA

	ps1	ps2	ps3	ps4	ps5	met1
ps	0.056	0.188	0.792	-0.301	0.299	0.027

ETA

met2

-----

ps 0.008

KSI

ps1 ps2 ps3 ps4 ps5 met1

-----

met 0.006 0.021 0.090 -0.034 0.034 0.723

KSI

met2

-----

met 0.203

met ps causal relationships

Standardized Solution

LAMBDA-Y

ps

-----

ps1 0.626

ps2 0.867

ps3 0.923

ps4 0.831

ps5 0.847

LAMBDA-X

met

-----

met1 0.893

met2 0.674

GAMMA





met  
-----  
ps 0.512

Correlation Matrix of ETA and KSI

	ps	met
ps	1.000	
met	0.512	1.000

PSI

ps  
-----  
0.737

Regression Matrix ETA on KSI (Standardized)

met  
-----  
ps 0.512

met ps causal relationships

Completely Standardized Solution

LAMBDA-Y

ps  
-----  
ps1 0.626  
ps2 0.867  
ps3 0.923  
ps4 0.831  
ps5 0.847

LAMBDA-X

met



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```

-----
met1  0.893
met2  0.674
    
```

GAMMA

```

      met
-----
ps    0.512
    
```

Correlation Matrix of ETA and KSI

```

      ps    met
-----  -----
ps    1.000
met    0.512  1.000
    
```

PSI

```

      ps
-----
0.737
    
```

THETA-EPS

```

      ps1    ps2    ps3    ps4    ps5
-----  -----  -----  -----  -----
ps1    0.608
ps2    --     0.249
ps3    --     --     0.148
ps4    --     --     0.174  0.309
ps5    --     --     -0.049  --     0.282
    
```

THETA-DELTA

```

      met1    met2
-----  -----
0.203    0.546
    
```

Regression Matrix ETA on KSI (Standardized)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

met  
-----  
ps 0.512

met ps causal relationships

Total and Indirect Effects

Total Effects of KSI on ETA

met  
-----  
ps 0.512  
(0.095)  
5.408

Total Effects of ETA on Y

ps  
-----  
ps1 0.626  
ps2 0.867  
(0.090)  
9.622  
ps3 0.923  
(0.095)  
9.739  
ps4 0.831  
(0.091)  
9.135  
ps5 0.847  
(0.092)  
9.246



Total Effects of KSI on Y

met  
-----  
ps1 0.321  
(0.059)  
5.408

ps2 0.444  
 (0.074)  
 6.038  
 ps3 0.473  
 (0.076)  
 6.190  
 ps4 0.426  
 (0.071)  
 5.995  
 ps5 0.434  
 (0.072)  
 6.032

met ps causal relationships

Standardized Total and Indirect Effects

Standardized Total Effects of KSI on ETA

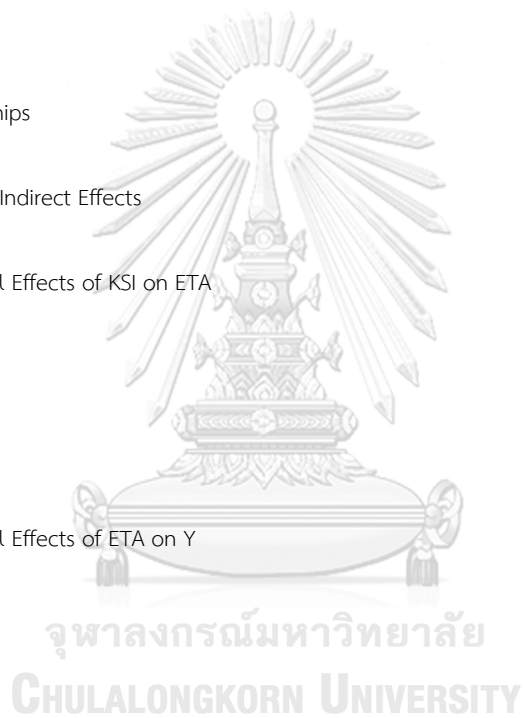
met  
 -----  
 ps 0.512

Standardized Total Effects of ETA on Y

ps  
 -----  
 ps1 0.626  
 ps2 0.867  
 ps3 0.923  
 ps4 0.831  
 ps5 0.847

Completely Standardized Total Effects of ETA on Y

ps  
 -----  
 ps1 0.626  
 ps2 0.867  
 ps3 0.923  
 ps4 0.831



ps5 0.847

Standardized Total Effects of KSI on Y

met  
-----  
ps1 0.321  
ps2 0.444  
ps3 0.473  
ps4 0.426  
ps5 0.434

Completely Standardized Total Effects of KSI on Y

met  
-----  
ps1 0.321  
ps2 0.444  
ps3 0.473  
ps4 0.426  
ps5 0.434

Time used: 0.031 Seconds

Time used: 0.000 Seconds

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชยวัฏ ศิริพันธ์ศักดิ์
วัน เดือน ปี เกิด	30 ธันวาคม 2536
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ครุศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยม สาขาวิชามัธยมศึกษา (วิทยาศาสตร์) วิชาเอก ฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59
รางวัลที่ได้รับ	รางวัล "เพื่อนในดวงใจ" จากคณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2561



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY