

แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบ KAP เพื่อพัฒนาแนวคิดและความสามารถในการแก้ โจทย์ปัญหาเรื่องคลื่น: บทเรียนจากนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู

The good practice of KAP learning management to develop conception and problem solving ability in wave: Lessons learned from pre-service teacher

สหัชชัย เจริญครองสกุล, สุรยศ ทรัพย์ประกอบ*, เกียรติศักดิ์ ชัยมกร, มัลลิกา จุฑามณี

Sahatchai Charoenkhongsakun, Surayot Supprakob*, Kriandsak Chayamphorn, Mallika Chutamanee

วิทยาลัยการฝึกหัดครู มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220

College of Teacher Education, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220, Thailand

*Corresponding author. E-mail address: surayot.s@pnru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแนวคิดเรื่องคลื่น ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา วิชาฟิสิกส์ และเพื่อหาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 33 คน เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ แบบวัดแนวคิด แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา บันทึกอนุทิน และแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและใช้สถิติเชิงบรรยาย ผลการวิจัยพบว่า แนวคิดนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนร้อยละ 69.71 เปอร์เซ็นต์ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มในทุกพฤติกรรมคลื่น ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน 53.03 เปอร์เซ็นต์และแนวปฏิบัติที่ดีในการในการจัดการเรียนรู้แบบ KAP ประกอบด้วย: (1) การใช้กิจกรรมหรือการทดลองเรื่องสมบัติของคลื่นในการทบทวนและตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน; (2) ให้นักเรียนทำกิจกรรมหรือการทดลองสมบัติของคลื่นเพื่อให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง; และ (3) ใช้เทคนิคของโพลยาและ KWDL ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ช่วยให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบ

คำสำคัญ: ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา, แนวคิด, แนวปฏิบัติที่ดี

Abstract

This classroom action research aimed to develop 33 grade 11 students' conception, physics problem solving ability and and investigated the good practice of teaching. The instruments consisted of open-ended conception test, Physics problem-solving test, teacher's journal, and lesson plan analysis form. Data were analyzed through content analysis and descriptive statistic. The findings indicated that students' conception after learning was higher than before learning with 69.71%. They gained the average score increasingly in each item. After learning, students' physics problem solving ability was higher than before learning with 53.03%. The good practices of teaching with KAP were included that: (1) using the wave property activity to revise and elicit students' interest; (2) engaging student to do the wave activity or experiment that allow constructing their own knowledge; and (3) adding the physics problem solving exercise through Polya and KWDL to help them in systematic solving.

Keywords: conception, good practice, problem solving ability

บทนำ

ในชีวิตประจำวันของคนเราจะพบเจอคลื่นเสมอ เช่น คลื่นเสียง คลื่นผิวน้ำ คลื่นแสง (Wittmann, 2002) คลื่นในเส้นเชือก คลื่นแผ่นดินไหว คลื่นกระแทกที่เกิดจากไอพ่นของเครื่องบินคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น จากการศึกษาทางวิจัยพบว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องของเรื่อง คลื่น เช่น นักเรียนเข้าใจว่าคลื่นนิ่งเป็น คลื่นที่ไม่เกิดการเคลื่อนที่ ความถี่ของการหักเหของคลื่นก็จะมีค่าเท่ากันทั้ง 2 ตัวกลาง (สถาบันส่งเสริมการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.], 2562) ทำให้เห็นว่าแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญอย่างมากเพราะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นรอบตัว สามารถประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งอาจทำให้เข้าใจยากต่อการนำมาเรียน เนื่องจากต้องใช้จินตนาการในการเรียน และนักเรียนยังขาดพื้นฐานที่จำเป็นในการตอบ (ธีรพงษ์, 2558) และจากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ พบว่า สิ่งที่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อน คือ คลื่นไม่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง อัตราเร็วของคลื่นในตัวกลางหนึ่งเปลี่ยนแปลง เมื่อความถี่หรือความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง ตัวกลางเคลื่อนที่ไปกับคลื่น เมื่อคลื่นพบกัน หลังจากผ่านพ้นกันคลื่นจะ เปลี่ยนแปลงไป หน้าคลื่นที่แผ่ออกไปเป็นหน้าคลื่นเดิมที่ เคลื่อนที่ออกไป (สสวท., 2562) เมื่อมีแนวคิดที่ถูกต้อง หรือเข้าใจหลักการของวิทยาศาสตร์ ก็จะเป็นพื้นฐานที่นำไปสู่การแก้โจทย์ปัญหาได้ตาม (พัทธมน, ภัทรกร, และสพลณภัทร์, 2559)

โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ส่วนใหญ่เป็นการยกตัวอย่างสถานการณ์หรือสมมติขึ้นมาเกี่ยวกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะมีเพียงแค่ข้อความ ตัวเลข และอาจมีรูปภาพเข้ามาเสริมที่นักเรียนจะใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (ชญาณิศ, นพพร, และสุดาพร 2560) ดังนั้น นักเรียนต้องนำความรู้ และหลักการของฟิสิกส์รวมกับการใช้ทักษะในการคำนวณ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบของโจทย์ปัญหาที่ต้องการรู้ แต่จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ในสถานศึกษาพบว่า นักเรียนใช้วิธีการเรียนรู้จากการฝึกทำโจทย์ปัญหาที่เน้นการคำนวณเป็นหลัก แต่ไม่เน้นการนำทฤษฎีเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแก้โจทย์ปัญหาเพราะต้องนำมาวิเคราะห์โจทย์ว่าควรใช้สมการใดเข้ามาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา และส่งผลให้การแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ ทำให้คะแนนสอบวัดผลกลางภาคเรียนของนักเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ที่โรงเรียนกำหนด อาจเกิดจากการที่นักเรียนยังขาดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา (พัทธมน, ภัทรกร, และสพลณภัทร์, 2559) โดยการจัดการเรียนรู้ที่จะใช้การแก้โจทย์ปัญหานี้ อาจทำให้นักเรียนยังไม่เข้าใจในหลักการหรือแนวคิดหลักของแต่ละเรื่อง จึงทำให้ต้องมีการนำการจัดการเรียนรู้เข้ามาผสมผสานเพื่อให้นักเรียนเข้าใจแนวคิด และยังสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้

จากการศึกษาทางวิจัยพบว่า มีวิธีการและเทคนิคที่ช่วยในการพัฒนาแนวคิด และการแก้โจทย์ปัญหา ที่น่าสนใจ คือ Active Learning ซึ่งสามารถสร้างศักยภาพสูงสุดแก่ผู้เรียน ให้เกิดความคิดสร้างสรรค์และพัฒนาความเชื่อมั่นในตนเอง ให้การจัดการเรียนรู้มีความหมายผู้เรียนเป็นฝ่ายลงมือปฏิบัติอยู่กับเนื้อหาที่จะก่อให้เกิดการเรียนรู้โดยการพูดคุยการเขียนการอ่าน การสะท้อน การตั้งคำถาม หรือการจัดการเรียนรู้ที่มีความเคลื่อนไหว ใช้ได้ทั้งกลุ่มเล็กและห้องเรียนใหญ่ๆ มีขั้นตอนดังนี้ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นการจัดการเรียนรู้ด้วยการจัดกิจกรรม ขั้นนำเสนอความรู้ ขั้นสรุปและประเมินผล แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีเทคนิคที่หลากหลายสามารถช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาได้ตรงประเด็น เช่น การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS (Pizzini, Shepardson & Abell, 1989), การจัดการเรียนรู้รูปแบบ STAR (Maccini & Hughes, 2000), KWDL และแนวคิดของ Polya แต่ที่ชื่นชอบ คือ เทคนิค KWDL และ Polya เพราะทั้งสองเทคนิคนี้มีจุดเด่นที่ทำให้นักเรียนมีการคิดเป็นขั้นตอน ไม่ซับซ้อนในการค้นหาคำตอบ ประหยัดเวลาในการทำ และยังสามารถตรวจคำตอบได้อีกว่าถูกต้องหรือไม่ การที่จะนำเทคนิค KWDL มาใช้ ฉันได้วิเคราะห์แล้วพบว่ายังขาดในส่วนของการให้นักเรียนเลือกใช้สมการ และตรวจสอบคำตอบ ดังนั้นฉันจึงนำทั้งสองเทคนิคมาสังเคราะห์ เมื่อนำทั้งสองเทคนิคมารวมกันได้ขั้นตอนดังนี้: (1) วิเคราะห์โจทย์ปัญหา; (2) โจทย์ต้องการถามหาอะไร; (3) ใช้สมการอะไรในการแก้โจทย์ปัญหา; (4) คำนวณตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อหาคำตอบ; และ (5) ตรวจคำตอบ และที่ฉันไม่เลือกเทคนิค SSCS และ STAR เพราะว่า SSCS ยังขาด

ในขั้นตอนของที่ให้เรียนตอบว่าโจทย์ต้องการหาอะไร ส่วน STAR ในขั้นของสรุปคำตอบเป็นขั้นที่ซ้ำซ้อน เพราะในเมื่อได้คำตอบออกมาแล้วก็ไม่จำเป็นที่จะต้องสรุปซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนมีความคิด ความอยากรู้อยากเห็น การมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม และสามารถนำความรู้ไปใช้ได้ อันจึงมีความสนใจใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบ Active Learning ร่วมกับเทคนิค KWDL และ Polya มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เป็นนวัตกรรมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ที่ชื่อว่า KAP เพื่อพัฒนาแนวคิด และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนให้ดียิ่งขึ้น

วิธีการดำเนินวิจัย

กลุ่มที่ใช้ในการศึกษา

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนวิชาฟิสิกส์ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ในโรงเรียนรัฐบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีนักเรียนจำนวนทั้งสิ้น 33 คน เป็นชาย 3 คน หญิง 30 คน ที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection) โดยมีเกณฑ์ในการเลือกคือ เป็นห้องที่ฉันทำการจัดการเรียนรู้และนักเรียนมีความสามารถทางการเรียนมีทั้งกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และนักเรียนเข้าร่วมด้วยความสมัครใจ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ได้แก่ แบบวัดแนวคิดแบบปลายเปิด ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับพฤติกรรมคลื่นที่ศึกษาและอิงจากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ประกอบด้วยคำถามจำนวน 8 ข้อ เครื่องมือที่ใช้ในการตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาแบบอัตนัย โดยครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับพฤติกรรมคลื่น ที่ศึกษาและอิงจากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) จำนวน 6 ข้อ และ เครื่องมือที่ใช้ในการตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ได้แก่ แบบบันทึกทบทวนในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้หลังการจัดการเรียนรู้ทุกคาบ การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง และแบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ โดยผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 3 ท่าน มีการปรับแก้การสื่อความหมายในทุกประเด็นของแบบวัดแนวคิด และแบบวัดความสามารถ ปรับข้อคำถามให้ตรงกับสิ่งที่ต้องการวัดจำนวน 5 ข้อ

การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ มี 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 ข้อมูลการพัฒนาแนวคิดและการแก้โจทย์ปัญหา โดยเก็บข้อมูลก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ KAP วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา เริ่มต้นด้วยการจัดกลุ่มคำตอบตามเกณฑ์ที่พัฒนามาจาก Marek, Eubanks and Gallaher (1990) จากนั้นนำมาค่าความถี่ ร้อยละ ในส่วนของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฉันทำการตรวจและคะแนนตามเกณฑ์ระบุขีดซึ่งปรับปรุงมาจาก สุจิตรา (2555) และชีพิยะห์ อภิสิทธิ์ และรักพร (2561) รวมคะแนนของนักเรียนแต่ละข้อเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติเชิงบรรยาย ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ย และร้อยละ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับระดับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา โดยประเด็นแนวคิดและการแก้โจทย์ปัญหาหากมีประเด็นที่ไม่สามารถจัดกลุ่มได้ฉันจะทำการปรึกษาร่วมกับครูพี่เลี้ยงและอาจารย์นิเทศก์ นอกจากนี้ในบางประเด็นที่นักเรียนตอบคำถามไม่ครบ ฉันจะมีการสัมภาษณ์นักเรียนคนดังกล่าวเพิ่มเติม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับแนวปฏิบัติที่ดีการหาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนเรียนรู้แบบ KAP โดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอุปนัยจากการเก็บข้อมูลจากบันทึกหลังแผนการจัดการเรียนรู้ แบบวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้ อนุทินที่มอบหมายให้นักเรียน ทำการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อหาเป็นข้อสรุปเกี่ยวกับแนวปฏิบัติที่ดี

ผลการวิจัย

1. แนวคิด

แนวคิดวิชาฟิสิกส์ เรื่องคลื่น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นอย่างไร เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ KAP พบว่า นักเรียนได้ทำการดำเนินการ โดยให้นักเรียนทดสอบก่อนเรียน จากนั้นดำเนินการตามแผนวิจัยที่ฉันได้เขียนขึ้นมา เมื่อดำเนินการตามแผนวิจัยเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบหลังเรียน สามารถดูผลการทดสอบ เมื่อจัดกลุ่มเสร็จแล้วตาม Table 1 ดังนี้

Table 1 Students' conception percentage in wave

Conception	Pre-conception				Post-conception			
	SU	PU/MU	SM	NU	SU	PU/MU	SM	NU
Reflection	0	6.06	56.06	37.88	78.79	13.64	7.57	0
Refraction	0	4.54	37.88	57.58	62.11	25.77	12.12	0
Interference	0	12.12	25.76	62.12	68.18	7.58	24.24	0
Diffraction	0	10.60	18.18	72.22	54.55	27.27	18.18	0

Note: SU = Right concept; PU/MU = The concept is partially correct and partially misleading; SM = Wrong concept; NU = Don't understand or don't have an idea?

จาก Table 1 พบว่าการวัดแนวคิดเรื่องการสะท้อนของคลื่น ก่อนเรียนนักเรียนอยู่ในกลุ่มที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) ถึง 56.06 เปอร์เซ็นต์ แต่หลังเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ KAP นักเรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หรือแนวคิดที่ถูกต้อง (SU) 78.79 เปอร์เซ็นต์ การวัดแนวคิดเรื่องการหักเหของคลื่น ก่อนเรียนนักเรียนจะอยู่ในกลุ่มที่ไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (NU) ที่ร้อยละ 57.58 เปอร์เซ็นต์ แต่หลังเรียนนักเรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หรือแนวคิดที่ถูกต้อง (SU) 62.11 เปอร์เซ็นต์ในการวัดแนวคิดเรื่อง การแทรกสอดของคลื่น ก่อนเรียนนักเรียนจะอยู่ในกลุ่มที่ไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (NU) 62.12 เปอร์เซ็นต์ แต่หลังเรียนนักเรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หรือแนวคิดที่ถูกต้อง (SU) 68.18 เปอร์เซ็นต์และในการวัดแนวคิดเรื่องการเลี้ยวเบนของคลื่น ก่อนเรียนนักเรียนจะอยู่ในกลุ่มที่ไม่มีแนวคิดหรือไม่ตอบคำถาม (NU) 72.22 เปอร์เซ็นต์ แต่หลังเรียนนักเรียนอยู่ในกลุ่มแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หรือแนวคิดที่ถูกต้อง (SU) 54.55 เปอร์เซ็นต์

จากการสัมภาษณ์นักเรียนที่อยู่ในกลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนและแนวคิดบางส่วนที่คลาดเคลื่อน (PU/MU) เกิดจากการที่นักเรียนอ่านบทเรียนล่วงหน้า และเรียนพิเศษมาก่อน แต่เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ KAP ทำ

ให้นักเรียนนั้นมีความเข้าใจมากขึ้นผ่านจากการทำกิจกรรม การทดลอง ทำให้ในขณะเรียนนั้นขยายความรู้ที่มองเห็นได้ชัดขึ้นว่าพฤติกรรมคลื่นแต่ละลักษณะจะเกิดได้อย่างไร ทำให้มองเห็นการเกิดของพฤติกรรมคลื่นได้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น

ฉันคิดว่าการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนานักเรียนตามแนวทางในการจัดการเรียนรู้ของฉัน เช่นในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ฉันสอนตามขั้นตอน KAP ขั้นแรก การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมทำการสาธิตเกี่ยวกับการสะท้อนของคลื่นโดยการแจ้งให้นักเรียนนั้นสังเกตในขณะที่ลูกบอลกระทบกำแพงจะมีการเคลื่อนที่ไปทางใด และเกิดการเคลื่อนที่กลับมาด้วยมุมประมาณเท่าใด หลังจากนั้นฉันปล่อยลูกบอลให้โดนกำแพง

2.ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

ฉันได้ให้นักเรียนทำการทดสอบก่อนเรียน จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และทำการดำเนินการตามแผนวิจัย เมื่อดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว เก็บรวบรวมข้อมูลหลังเรียน ที่แต่ละข้อมีคะแนนเต็มเฉลี่ย 13 คะแนน มีจำนวน 6 ข้อ ทำให้ได้ผลตามตารางที่ 2

Table 2 Student's Physics problem solving ability

N = 33	Pre		Post		Gain
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
Refraction	2.69(20.69%)	2.72	7.96(61.23%)	2.72	40.54%
Interference	2.64(20.31%)	2.16	7.77(59.77%)	4.67	39.46%
Average	2.67(20.54%)	1.54	7.86 (59.08%)	2.40	39.92%

จาก Table 2 พบว่า เมื่อเก็บข้อมูลก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.67 คิดเป็น 20.54 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.54 แต่หลังจากการที่นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ KAP ทำให้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่า โดยหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 7.86 คิดเป็น 59.08 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.40 และพบว่านักเรียนมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 39.92 เปอร์เซ็นต์ หรือเป็นรายเรื่องมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 40.54, 39.46 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และระดับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาก่อนเรียนอยู่ในระดับ ควรพัฒนา หลังเรียนอยู่ในระดับ ดี และระดับความสามารถในการพัฒนาขึ้นมาอยู่ในระดับ พอใช้

จากผลการพัฒนาที่พบว่าร้อยละหลังเรียนจัดอยู่ในระดับ ดี ฉันได้มีการจัดการเรียนรู้ในการแก้โจทย์ปัญหาให้มีระบบมากขึ้น โดยการให้นักเรียนวิเคราะห์โจทย์ก่อนว่าโจทย์กำหนดอะไรมาให้บ้าง โจทย์ถามหาอะไร ควรใช้สมการใดในการแก้ปัญหา และใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ในการหาคำตอบออกมา เมื่อได้คำตอบ ก็นำคำตอบมาแทนค่าเพื่อตรวจสอบว่าคำตอบนั้นถูกต้อง แต่สิ่งที่พบในการทำวิจัยคือนักเรียนทุกคนไม่มีการตรวจสอบคำตอบ

3. แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบ KAP

แนวปฏิบัติที่ 1 ใช้กิจกรรมทบทวนความรู้ สาทิตของกิจกรรมที่เฉพาะเจาะจงกับเรื่องพฤติกรรมคลิ่น สามารถตรวจความรู้เดิมเกี่ยวกับเรื่องพฤติกรรมคลิ่นของนักเรียนและเร้าความสนใจของนักเรียนได้

ฉันค้นพบแนวปฏิบัตินี้ในวงจรที่ 1 เรื่องการจัดการเรียนรู้เรื่อง การสะท้อนของคลิ่น เป็นการเริ่มต้นการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ในชั้นแรกจะเป็นการนำกิจกรรมการสาธิต โดยใช้ลูกบอลขนาดเล็กสาธิตให้นักเรียนเห็นว่าลักษณะการสะท้อนเป็นอย่างไร และใช้คำถามกระตุ้นการคิด โดยในขณะที่ทำการสาธิตได้ชี้จุดให้นักเรียนสังเกตตรงที่ลูกบอลกระทบถึงพื้นจะมีลักษณะในการเคลื่อนที่อย่างไร จะมีนักเรียนตอบว่าเกิดการกระเด็นไปอีกทางที่ลูกบอลมา ซึ่งคำตอบใกล้เคียงกับแนวคิดของการสะท้อนของคลิ่น ก็จะใช้คำถาม ถามนักเรียนเพื่อให้เข้ามาสู่เรื่องการสะท้อน ซึ่งสอดคล้องกับ หรือในวงจากที่ 3 จะทบทวนความรู้ในเรื่องของอัตราเร็วคลิ่น คือการถามเกี่ยวกับความถี่ ความยาวคลิ่น ว่าแต่ละอย่างมีความหมายว่าอย่างไร สามารถนำมาหาอัตราเร็วของคลิ่นได้อย่างไร นักเรียนตอบว่า ความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรนี้ ถ้านำมาคูณกัน ก็จะสามารถหาอัตราเร็วของคลิ่นได้ หรือการสมการของเส้นตรงมาก็ยังสามารถหาอัตราเร็วของคลิ่นได้โดยการ วัดระยะทางที่คลิ่นเคลื่อนที่ได้ มาหากับเวลาที่คลิ่นเคลื่อนที่ได้เช่นเดียวกัน

แนวปฏิบัติที่ 2 ให้นักเรียนทำกิจกรรม/การทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมคลิ่นร่วมกันอภิปรายกับเพื่อนในชั้นเรียน เพื่อเป็นการทำให้นักเรียนนั้นได้มีการค้นพบองค์ความรู้ด้วยตนเอง

ในวงจรที่ 1 ฉันได้พยายามที่บอกวิธีการทดลองให้นักเรียนได้ทำตามแต่ไม่ได้ชี้แจงจุดที่ควรสังเกตในกิจกรรมการทดลอง ทำความค้นพบว่านักเรียนไม่สามารถเข้าใจและมองเห็นในประเด็นที่ฉันต้องการให้นักเรียนได้เห็นเกี่ยวกับกิจกรรมการทดลองได้ ดังนั้นฉันจึงปรับปรุงในวงจรที่ 2 โดยการเพิ่มจุดที่นักเรียนควรจะสังเกต และจุดที่นักเรียนควรจะตั้งพึงระวังในการทดลอง ฉันพบว่านักเรียนเกือบทุกคนสังเกตและเข้าใจในประเด็นที่ฉันต้องการให้นักเรียนเข้าใจได้มากขึ้น และฉันพบแนวปฏิบัตินี้ทุกวงจรของการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลิ่น ซึ่งจะเป็นขั้นที่ 2 ของการจัดการเรียนรู้ของ Active learning ในขั้นนี้ให้นักเรียนทำกิจกรรม/การทดลอง ด้วยตนเองร่วมกับเพื่อนในกลุ่ม ในการแบ่งกลุ่มครูจะเป็นผู้กำหนดตามผลการเรียนของนักเรียน จากนั้นให้นักเรียนแต่ละคนแบ่งหน้าที่ในการทำการทดลอง รับผิดชอบ จดบันทึก หลังจากนั้นให้นักเรียนฟังครู อธิบายวิธีการทำกิจกรรม/ทดลอง ให้นักเรียนทำการทดลองด้วยตนเอง ถ้าหากกลุ่มใดสงสัยให้ยกมือถาม ในระหว่างนั้นครูจะเดินดูนักเรียนที่ละกลุ่ม ถ้าหากพบว่ากลุ่มใดไม่ทำ ครูจะกระตุ้นและคอยชี้แนะให้นักเรียนทำ เพื่อให้นักเรียนอยู่ใน การทดลองเดียวกัน เมื่อทำการทดลองเสร็จครูจะให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนเพื่อร่วมกันอภิปรายว่าสิ่งที่ได้จากการทดลองว่าเป็นอย่างไรเหมือนหรือต่างจากกลุ่มเพื่อนอย่างไร จากการอภิปรายผลของนักเรียน พบว่านักเรียนทุกกลุ่มมีผลการทดลองที่กันทั้งหมดคือเมื่อ คลิ่นเคลื่อนที่เข้าไปกระทบสิ่งกีดขวางด้วยมุม 30 องศา ก็จะสะท้อนกลับออกมาเท่าเดิม

แนวปฏิบัติที่ 3 ให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาเรื่องการหักเห และการแทรกสอดของคลิ่น ตามแนวคิดของโพลยา และ KWDL ช่วยให้การแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบ

จากวงจรที่ 1 ฉันได้เปิดโอกาสให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้แนวคิดของโพลยาและ KWDL และให้นักเรียนแก้โจทย์โดยใช้วิธีการของตนเองที่ง่าย ปัญหาที่เกิดขึ้นคือนักเรียนเลือกใช้วิธีการของตนเอง และเมื่อฉันให้นักเรียนอธิบายพบว่านักเรียนไม่สามารถอธิบายตัวแปร และวิเคราะห์ตัวแปรได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นในวงจรที่ 2 ฉันจึงพยายามที่จะสอดแทรกแนวคิดของโพลยาและ KWDL ลงไปเพื่อช่วยให้นักเรียนมีหลักการในการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบ ฉันได้

ใช้แนวปฏิบัติในวงจรที่ 2 และ 3 ของการจัดการเรียนรู้เรื่อง การหักเห และการแทรกสอดของคลื่น ในแนวปฏิบัตินี้จะอยู่ในขั้นที่ 3 ของการจัดการเรียนรู้แบบ KAP โดยให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาตามแนวคิดของโพลยาและ เทคนิค KWDL ใช้ทั้งสองร่วมกันโดยนำแต่ละแนวคิดหรือเทคนิคมาใช้ร่วมกันซึ่งมีทั้งหมด 5 ขั้น ดังนี้ 1. การอธิบายปัญหาเพื่อกำหนดข้อมูลที่มีมาให้ ทำให้นักเรียนกำหนดและเขียนสัญลักษณ์ข้อมูลที่โจทย์ให้มาครบทุกตัว 2. การอธิบายในสิ่งที่โจทย์ถามหา เป็นการให้นักเรียนเขียนสัญลักษณ์เพื่อเป็นแนวทางไม่ให้หลงประเด็น ซึ่งนำไปสู่ในส่วนของขั้นที่ 3 การวางแผนในการแก้ปัญหา เป็นการให้นักเรียนนำผลการอธิบายในขั้นที่ 1 และ 2 มาใช้ในการเลือกสมการที่จะนำมาแก้ปัญหา ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เป็นการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์การบวก ลบ คูณ หาร และย้ายข้างสมการ ซึ่งเป็นที่มาของขั้นที่ 5 คือได้คำตอบ และในการจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับวงจรที่ 3 ตัวอย่างเช่น

อภิปรายผลการวิจัย

1. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง คลื่น จำนวน 8 ข้อ ก่อนเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ KAP พบว่านักเรียนไม่ตอบคำถามหรือจัดอยู่ในกลุ่มที่ 4 มากถึง 67.05 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น ข้อที่ 1 ถ้าแสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนผิวโลกด้วยมุม 30 องศาแสงที่ตกกระทบลงบนผิวโลกในจุดที่มีกระจกอยู่จะมีมุมสะท้อนกลับไปที่เท่าใด ส่วนใหญ่นักเรียนจะไม่ตอบคำถาม จากการสัมภาษณ์นักเรียนให้เหตุผลว่ายังไม่เข้าใจในคำถาม และยังไม่เคยเรียนมาก่อนจึงทำให้ไม่กล้าตอบคำถาม ข้อที่ 2 การสะท้อนในเส้นเชือกแบบปลายตรึง เมื่อเส้นลึงถูกสะบัดเข้าไปที่ปลายด้วยรูปร่างสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมและเส้นสีแดงที่เป็นการสะท้อนกลับออกมาจะเป็นแบบใด ส่วนใหญ่นักเรียนมีแนวคิดที่ผิดไปจากแนวคิดวิทยาศาสตร์เนื่องจากนักเรียนคิดว่าไม่ว่าจะเป็นปลายตรึงหรืออิสระก็จะสะท้อนกลับออกมาแบบเดิม ภายหลังที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ KAP นักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น 69.71 เปอร์เซ็นต์ การที่ทำให้แนวคิดนักเรียนเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการที่นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า ลองทำด้วยตนเอง มีความกล้าที่จะถาม ตัดสินใจแลกเปลี่ยนความรู้กับรอบข้าง และกิจกรรมทำให้นักเรียนมองเห็นในสิ่งที่ป็นรูปธรรมได้ยาก ทำให้นักเรียนมองเห็นป็นรูปธรรมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธีรพงษ์ (2558) แนวคิดหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน (สุชาติดา, 2555) ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพความสำคัญต่อการพัฒนาพฤติกรรมกระเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา

2. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง คลื่น จำนวน 6 ข้อ โดยใช้ เทคนิค KWDL ร่วมกับ Polya เพื่อทำให้นักเรียนมีแบบแผนในการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบมากขึ้น ซึ่งทำให้เห็นว่าผลการพัฒนานักเรียนนั้นนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 5.82 คะแนน คิดเป็น 7.46 เปอร์เซ็นต์ เพราะนักเรียนส่วนใหญ่ทำได้แค่การวิเคราะห์โจทย์ และมีนักเรียน 2-3 คน ได้เตรียมการเรียนรู้เนื้อหาล่วงหน้าทำให้สามารถทำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาได้ และหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 47.18 คิดเป็น 60.49 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผลการพัฒนาพบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อาจเป็นเพราะกิจกรรมในวงจรที่ 2 ที่มีการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้วิเคราะห์โจทย์ จะทำให้นักเรียนสามารถนำตัวแปรไปใช้ได้ถูกต้อง (พัทธมน, 2559) และสอดคล้องกับ ชญาณิศ และคณะ(2560) ที่พบว่าเมื่อใช้เทคนิค KWDL / polya ทำให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาที่พัฒนาขึ้น

3. แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบ KAP ที่สามารถทำให้นักเรียนมีการพัฒนาแนวคิดที่ดีขึ้นได้ หรือมีแนวคิดที่สอดคล้องตามทางวิทยาศาสตร์ มีแนวการจัดการเรียนรู้โดยการทบทวนบทเรียนที่ผ่านมา หรือการนำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องเข้าสาธิตให้ดูก่อน จากนั้นให้นักเรียนค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองจากการทำการทดลองแล้วนำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องมาสาธิตนำผลการทดลองมาร่วมกันอภิปรายหน้าชั้นเรียน สุชาติดา (2555) และให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปบทเรียนและนำเสนอหน้าชั้นเรียน และทำแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อทบทวนความรู้ในส่วนของการแก้โจทย์ปัญหาได้ให้นักเรียนวิเคราะห์โจทย์ว่ากำหนดสิ่งใดมาให้ โจทย์ต้องการรู้อะไร (สุจิตรา, 2555) ใช้สมการใดในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบสิ่งที่

โจทย์ต้องการรู้ แต่เนื่องจากนักเรียนยังขาดพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ จึงได้มีการจัดการเรียนรู้ทบทวนคณิตศาสตร์สำหรับพิสิทส์เพิ่มเติมให้ก่อนเรียน (ศิริรัตน์, สุรยศ, และปิยะวรรณ, 2564) เนื่องจากการทำแบบฝึกหัดกลุ่มนักเรียนที่ชั้นทำการศึกษาบางส่วนยังขาดทักษะการคำนวณเกี่ยวกับการบวก ลบเศษส่วน จึงทำให้นักเรียนที่ชั้นทำการศึกษาทำแบบฝึกหัดไม่ได้

การจัดการเรียนรู้แบบ KAP สามารถสรุปได้เป็น 4 ขั้นตอน ดัง Figure 1 และจากการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนจำนวน 4 วงจร มีแนวปฏิบัติในการจัดการเรียนรู้แบบ KAP เรื่อง คลื่นได้ดังนี้



Figure 1 KAP learning management

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ใช้คำถามปลายเปิดกระตุ้นให้นักเรียนสนใจในการเรียน เพื่อหาคำตอบ เปิดโอกาสให้นักเรียนสามารถถามและแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ หรือการใช้กิจกรรมสร้างคำถามให้นักเรียนเกิดการสงสัย คิดตาม และนำไปสู่การจัดกิจกรรมในขั้นที่ 2

2. ขั้นการจัดการเรียนรู้กิจกรรม ในการจัดการเรียนรู้ขั้นนี้ ทำให้นักเรียนได้ทำกิจกรรมกลุ่มแบบคละและให้นักเรียนร่วมกันทำการทดลอง/กิจกรรมตามที่ครูอธิบาย หรือสาธิตการทดลอง/กิจกรรม

3. ขั้นการนำเสนอความรู้ ให้นักเรียนนำเสนอผลที่นักเรียนได้จากการทดลอง และอภิปรายร่วมกัน ครูจะเป็นผู้ใช้คำถาม นำทางเพื่อให้อยู่ในประเด็นหรือประเด็นที่ตกลงไป นอกจากนั้นจะเป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียน แก้ไขปัญหาให้เป็นระบบ และขั้นตอนมากขึ้น โดยการนำจุดเด่นของ KWDL กับ Polya ร่วมกันได้อย่างเหมาะสม และพบว่าในขั้นสุดท้ายของโพลยา เป็นการตรวจคำตอบไม่เหมาะกับนักเรียนกลุ่มนี้ โดยจากการสัมภาษณ์นักเรียนพบว่าขั้นตอนที่เข้าใจยากและเป็นการทำที่ซ้ำซ้อนเกินไป

4. ขั้นการสรุปและประเมินผล เป็นขั้นที่ให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย ตั้งคำถาม หรือสรุปองค์ความรู้ที่นักเรียนได้รับเป็นรายบุคคลภายในกลุ่มก่อน และให้นักเรียนส่งตัวแทนออกมา นำเสนอองค์ความรู้ที่นักเรียนได้กลุ่มละ 1 หัวข้อจนครบทุกกลุ่ม

ข้อเสนอแนะ

1. การจัดการเรียนรู้แบบ KAP ช่วยให้นักเรียนค้นหาความรู้ด้วยตนเอง และทำให้ครูมีหน้าที่ช่วยชี้แนะในการเรียน หรือเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ แต่ปัญหาที่พบ คือ ในช่วงที่ให้นักเรียนทดลองทำกิจกรรมจะมีนักเรียนบางส่วนไม่สนใจทำกิจกรรมร่วมกับเพื่อน ทำให้ครูต้องใส่ใจนักเรียนกลุ่มนี้เป็นพิเศษโดยคอยกระตุ้นนักเรียนหรือหากิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนให้มีความหลากหลายมากกว่านี้ เพื่อให้นักเรียนมองเห็นสิ่งรอบๆ ตัวที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น แบบจำลองในเว็บไซต์ของ PhET

2. การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เพื่อให้นักเรียนเกิดความชำนาญจึงให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดนักเรียนทำเพิ่มขึ้น ให้ทำด้วยตนเองหากมีจุดใดที่สงสัยให้นักเรียนถามครู จะเป็นคนคอยชี้แนะนักเรียน และในขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์มาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการพัฒนาความรู้ทางคณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์ก่อนที่จะฝึกการแก้โจทย์ปัญหา

เอกสารอ้างอิง

- ชญาณิศา เป็งจันทร์, นพพร ธนะชัยพันธ์, และสุดาพร ปัญญาพฤกษ์. (2560). การจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิค KWDL เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. *วารสารบัณฑิตวิจัย*, 8(1), 71–82.
- ชัยพียะห์ สาและ, อภิสทิธิ ภคพงศ์พันธุ์, และรักพร ดอกจันทร์. (2561). ผลการจัดการเรียนรู้ด้วย KWDL เรื่องค่ากลางของข้อมูล ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและ ความสามารถในการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 20(4). 35–44.
- ธีรพงศ์ แสงประดิษฐ์. (2558). แนวคิดทางเลือกของนักเรียนในวิชาฟิสิกส์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 17(4). 202–209.
- พัทธมน วิริยะธรรม, ภัทรภร ชัยประเสริฐ, และสพลณภัทร์ ศรีแสนยงค์. (2561). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7E ร่วมกับเทคนิค KWDL. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 20(2). 140–152.
- ศิริรัตน์ ศรีภูวณษ์, สุยศ ทรัพย์ประกอบ, และปิยะวรรณ มาศิริ. (2564). การพัฒนาความสามารถทางคณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์และการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สมองเป็นฐาน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 12*, 2564(1), 51–65.
- สถาบันส่งเสริมการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.) (2562). *คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ เล่ม3*. กรุงเทพฯ: ลาตพรว.
- สุจิตรา ศรีสละ. (2555). ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิค K-W-D-L เรื่องโจทย์ปัญหาสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สุชาดา แก้วพิกุล. (2555). การพัฒนากิจกรรมคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจัดการเรียนการจัดการเรียนรู้้อย่างกระตือรือร้น โดยเน้นการเรียนรู้เป็นคู่ร่วมกับการบริหารสมอง เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และความสุขในการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ต่ำ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Maccini, P. & Hughes, C. A. (2000). Effects of a problem-solving strategy on the introductory algebra performance of secondary student. *Learning Disabilities Research & Practice*, 15(1). 10–21.

Marek, E. A., Eubanks, C., & Gallaher, T. H. (1990). Teachers understanding and the use of the learning cycle. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(9). 821–834.

Pizzini, E. L., Shepardson, D. P. & Abell, S. K. (1989). A rationale for and the development of a problem solving model of instruction in science education. *Science Education*, 73(5). 523–534.

Wittmann, M. C. (2002). The object coordination class applied to wave pulses: Analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24(1), 97–118.