



**การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูผ่านการจัดการเรียนการสอน
ตาม PTRU Model**

ปรีดาภรณ์ สุวรรณดี

โปรแกรมวิชา ฟิสิกส์

คณะครุศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากคณาจารย์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนให้คำปรึกษา แนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ทั้งแผนการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบ PTRU Model ในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง 1 (PHYED2207) แบบทดสอบวัดแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ และแบบประเมินสมรรถนะทางวิชาชีพครู ทำให้เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีความถูกต้องเหมาะสมและมีคุณภาพตามหลักวิชาการ

ขอขอบใจนักศึกษาครู สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 2 คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 6 คน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้ ที่ได้ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในกระบวนการจัดการเรียนการสอนและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตั้งแต่ระยะการเตรียมความพร้อม การเรียนรู้ ทฤษฎีผ่านเทคโนโลยี การวิจัยและการสะท้อนคิด ตลอดจนการประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อวิชาชีพ ทำให้ผู้วิจัยสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานการวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชา พระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจสำคัญแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ปรีดาภรณ์ สุวรรณดี

มิถุนายน 2569

ชื่อเรื่อง : การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูผ่านการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model

ชื่อผู้วิจัย : นางสาวปรีดาภรณ์ สุวรรณดี

สาขาวิชา/คณะ : ครุศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ : 2568

ระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัยปี : มิถุนายน พ.ศ. 2568 ถึง เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2569

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกของนักศึกษาครูในวิชาฟิสิกส์ 2) เปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการเรียนการสอน และ 3) สำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาครูเกี่ยวกับการพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพผ่านการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว กลุ่มเป้าหมายคือนักศึกษาครู สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 6 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบ PTRU Model จำนวน 4 แผน ในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง 1 (PHYED2207) หัวข้อแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งขับเคลื่อนด้วยกระบวนการจัดการเรียนการสอน 4 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะ P (Preparation) การเตรียมความพร้อมและบุคลิกภาพวิชาชีพ 2) ระยะ T (Theory & Technology) การเรียนรู้หลักการทฤษฎีผ่านเทคโนโลยีดิจิทัลและสถานการณ์จำลอง 3) ระยะ R (Research & Reflection) การวิจัยเชิงปฏิบัติการและการสะท้อนคิดร่วมกันเป็นทีม และ 4) ระยะ U (Utility & Universal) การประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อวิชาชีพผ่านการออกแบบการเรียนรู้เชิงรุกและการสอนแบบจุลภาค เครื่องมือวัดและประเมินผล ได้แก่ แบบทดสอบวัดแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ แบบประเมินสมรรถนะทางวิชาชีพครู (เน้น 3 ด้านหลัก ได้แก่ การทำงานเป็นทีม การใช้เทคโนโลยี และการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์) และแบบสอบถามความคิดเห็น สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ และการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงคุณภาพ

ผลการวิจัยพบว่า

แนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ นักศึกษาครูมีคะแนนแนวคิดเชิงลึกหลังเรียน (ค่าเฉลี่ย 23.17 หรือร้อยละ 77.22) สูงวก่อนเรียน (ค่าเฉลี่ย 11.17 หรือร้อยละ 37.22) อย่างเด่นชัด ผลเชิงคุณภาพชี้ให้เห็นว่านักศึกษามีพัฒนาการจากการเรียนรู้แบบจดจำสูตรไปสู่ความเข้าใจเชิงมีโนทัศน์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรในปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างเป็นระบบ

สมรรถนะทางวิชาชีพ สมรรถนะทางวิชาชีพหลังเรียน (ค่าเฉลี่ย 4.38 อยู่ในระดับสูง) สูงวก่อนเรียน (ค่าเฉลี่ย 2.77) โดยด้านที่มีการพัฒนาสูงสุดคือ ด้านการใช้เทคโนโลยี (ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.00 อยู่ในระดับสูงมาก) รองลงมาคือ ด้านการทำงานเป็นทีม และด้านการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ตามลำดับ

ความคิดเห็นของนักศึกษาครู นักศึกษามีความคิดเห็นต่อการเรียนรู้ตาม PTRU Model โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.67, S.D. = 0.49) โดยประเด็นที่เห็นด้วยมากที่สุดคือ รูปแบบการสอนช่วยพัฒนากลยุทธ์การสื่อสารและการตั้งคำถามเพื่อสร้างแนวคิดเชิงลึก

คำสำคัญ : PTRU Model, แนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์, สมรรถนะทางวิชาชีพครู, ปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง

Research Title : Developing Deep Conceptual Understanding in Physics of Pre-Service Teachers through PTRU Model-Based Instruction

Author : Mrs.Preedaporn Suwandee

Faculty : Department of Physics, Faculty of Education.

Fiscal Year : 2025

Year of Research : June 2025 to May 2026

Abstrat

The objectives of this research were: 1) to study the effects of PTRU Model-based instruction on developing deep conceptual understanding in physics among pre-service teachers; 2) to compare pre-service teachers' professional competencies before and after instruction; and 3) to survey their opinions on professional competency development through the implementation of this instructional model. The target group consisted of six second-year pre-service physics teachers from Chiang Rai Rajabhat University, selected through purposive sampling. Research instruments included four lesson plans based on the PTRU Model for the course "Specialized Physics Laboratory 1" (PHYED2207) focusing on electromagnetism, driven by a 4-phase instructional process consisting of: 1) P (Preparation) for readiness and professional personality development, 2) T (Theory & Technology) for learning theoretical principles through digital technology and simulations, 3) R (Research & Reflection) for classroom action research and team reflection, and 4) U (Utility & Universal) for professional application through active learning design and micro-teaching. Assessment tools included a deep conceptual understanding test, a professional competency assessment (focusing on teamwork, technology use, and strategic communication), and an opinion questionnaire. Data were analyzed using mean, standard deviation, percentage, and qualitative content analysis.

The findings revealed:

Deep Conceptual Understanding: Pre-service teachers' post-test scores (77.22%) significantly exceeded their pre-test scores (37.22%). Qualitative results indicated a shift from rote memorization to systematic conceptual explanations of electromagnetic phenomena, such as Ampere's Law, Hall Effect, and Maxwell's Equations.

Professional Competencies: Post-instruction competency levels (Mean = 4.38, "High") were significantly higher than pre-instruction levels (Mean = 2.77). The highest growth was observed in "Technology Capability" (Mean increase = 2.00), followed by "Teamwork" and "Strategic Communication."

Opinions: Overall, pre-service teachers' opinions toward the PTRU Model were at the highest level (Mean = 4.67, S.D. = 0.49). They particularly highlighted the model's effectiveness in developing strategic communication and questioning skills to foster deep conceptual understanding.

Keywords: PTRU Model, Deep conceptual understanding in physics, Pre-service teacher professional competencies, Specialized physics laboratory.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	vi
สารบัญ	viii
สารบัญตาราง	
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิด ทฤษฎี.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.3 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	9
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	11
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	11
3.3 การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	12
4 ผลการวิจัย.....	13
4.1 ตอนที่ 1 ผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อ การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกของนักศึกษาครูในวิชาฟิสิกส์.....	13
4.2 ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครู ก่อนและหลังการเรียนการสอนตาม PTRU Model.....	16
4.3 ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของนักศึกษาครูเกี่ยวกับการพัฒนาสมรรถนะ ทางวิชาชีพผ่านการเรียนการสอนฟิสิกส์ตาม PTRU Model.....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	22
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	22
5.2 การอภิปรายผล.....	23
5.3 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย.....	23
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป.....	25
บรรณานุกรม.....	26
ประวัติผู้วิจัย.....	28

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คะแนนแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูรายบุคคล	13
2	ค่าเฉลี่ยสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการพัฒนา	17
3	ค่าเฉลี่ยสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการพัฒนา	20

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญยิ่งในการสร้างความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและเทคโนโลยีต่าง ๆ รอบตัว เป้าหมายสูงสุดของการเรียนรู้ฟิสิกส์มิใช่เพียงการจดจำสูตรหรือวิธีการคำนวณเท่านั้น หากแต่เป็นการพัฒนา "แนวคิดเชิงลึก" ที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงหลักการทางฟิสิกส์เข้ากับสถานการณ์ในชีวิตจริงและประยุกต์ใช้ความรู้ได้อย่างมีวิจารณญาณ (ประพันธ์ศิริ, 2023) แนวคิดเชิงลึกนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง เช่น การคิดเชิงวิพากษ์ และการคิดแบบอภิปัญญา ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาในศตวรรษที่ 21 (Dessie et al., 2023)

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่านักศึกษาครูซึ่งเป็นกำลังสำคัญในการบ่มเพาะเยาวชนรุ่นต่อไป มักประสบปัญหาในการพัฒนาความเข้าใจเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญ (ประพันธ์ศิริ, 2023) ปัญหานี้สอดคล้องกับงานวิจัยหลายชิ้นที่ชี้ให้เห็นว่าผู้เรียนจำนวนมาก รวมถึงครูฟิสิกส์ในอนาคต มักให้ความสำคัญกับการท่องจำสูตรและการแก้ปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ มากกว่าการทำความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานอย่างถ่องแท้ ซึ่งนำไปสู่ความยากลำบากในการเลือกใช้หลักการที่ถูกต้องและสร้างความเข้าใจที่ผิดพลาดได้ (Bao & Koenig, 2019; Pranata, 2024; Sukarmin et al., 2018) ความท้าทายนี้ยังรวมถึงการขาดโอกาสในการเรียนรู้แนวคิดพื้นฐานผ่านการอภิปราย แทนที่จะเน้นเพียงการสอนเชิงนามธรรมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ (Alemu et al., 2019) การที่นักศึกษาครูขาดความเข้าใจเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการอธิบาย ถ่ายทอดความรู้ และจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพเมื่อเป็นครูในอนาคต ครูที่มีความเข้าใจแนวคิดอย่างลึกซึ้งซึ่งเท่านั้นที่จะสามารถระบุและจัดการกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน นำเสนอแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องและสร้างกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสืบเสาะหาความรู้ได้ (Xiong et al., 2025)

เพื่อยกระดับคุณภาพการผลิตบัณฑิตครูให้มีสมรรถนะที่ตอบสนองต่อความต้องการของสังคมและมาตรฐานวิชาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏทั้ง 38 แห่งจึงได้ร่วมกันพัฒนารูปแบบการผลิตครูฐานสมรรถนะ หรือ PTRU Model ขึ้น โดยรูปแบบดังกล่าวเน้นกระบวนการ 4 ระยะ (P-T-R-U) ที่บูรณาการทั้งเนื้อหาและเทคโนโลยีเพื่อสร้างนวัตกรรมทางการศึกษา งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ และสมรรถนะทางวิชาชีพ 3 ด้านที่สอดคล้องกับธรรมชาติของรายวิชาปฏิบัติการ ได้แก่ การทำงานเป็นทีม การใช้เทคโนโลยี และการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ (Polgampala, 2017)

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครู จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยประเมินประสิทธิผลของโมเดลที่พัฒนาขึ้นในบริบทของการเรียนการสอนฟิสิกส์เท่านั้น แต่ยังจะให้ข้อมูลเชิงประจักษ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงหลักสูตรการผลิตครูฟิสิกส์ในอนาคต การฝึกอบรมครูที่มีโครงสร้างที่ดีสามารถเสริมสร้างความเข้าใจเชิงแนวคิดของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ (Lichtenberger et al., 2024) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านการทำงานเป็นทีม การใช้เทคโนโลยี และการสื่อสารเชิงกลยุทธ์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ 17 สมรรถนะ

ตาม PTRU Model จะช่วยให้เห็นภาพรวมของการพัฒนาวิชาชีพของนักศึกษาครูได้อย่างชัดเจน รวมถึงการสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาครูจะสะท้อนมุมมองของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยตรงต่อกระบวนการพัฒนาสมรรถนะ (ประพันธ์ศิริ, 2023)

จากการจัดการเรียนการสอนในรายวิชา PHYED2207 ปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง 1 ซึ่งครอบคลุมหัวข้อสำคัญ ได้แก่ กฎของแอมแปร์ กฎของบีโอด-ซาวาร์ต ปฏิกิริยาการเหนี่ยวนำของฮอลล์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทฤษฎีแมกซ์เวลล์ พบว่านักศึกษาครูมักประสบปัญหาในการพัฒนาความเข้าใจเชิงลึกอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในส่วนของปฏิบัติการเฉพาะทาง นักศึกษามักให้ความสำคัญกับการท่องจำขั้นตอนการทดลองและสูตรคำนวณจากคู่มือปฏิบัติการ (Lab Manual) มากกว่าการทำความเข้าใจหลักการพื้นฐานที่อยู่เบื้องหลังปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้าอย่างถ่องแท้ ส่งผลให้นักศึกษาขาดความมั่นใจในการอธิบาย "เหตุและผล" ของการติดตั้งอุปกรณ์และการวิเคราะห์ผลการทดลองในสถานการณ์ใหม่ ๆ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูผ่านการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวที่มีต่อแนวคิดเชิงลึก เปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการเรียนการสอน และสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาครูต่อการพัฒนาสมรรถนะด้านวิชาชีพครู ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพของบัณฑิตครูฟิสิกส์ให้มีสมรรถนะที่เข้มแข็งและพร้อมต่อการเป็นครูมืออาชีพในศตวรรษที่ 21

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกของนักศึกษาครูในวิชาฟิสิกส์
- 2) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการเรียนการสอนตาม PTRU Model
- 3) เพื่อสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาครูเกี่ยวกับการพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพผ่านการเรียนการสอนฟิสิกส์ตาม PTRU Model

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) เนื้อหาฟิสิกส์ที่ศึกษาเน้นแนวคิดเชิงลึกที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิก ได้แก่ กฎของแอมแปร์, กฎของบีโอด-ซาวาร์ต, ปฏิกิริยาการเหนี่ยวนำของฮอลล์ และทฤษฎีแมกซ์เวลล์
- 2) กลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาครูระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 จำนวน 6 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา PHYED2207 ปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง 1 ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1) PTRU Model คือ โมเดลมหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการผลิตครูวิชาชีพ ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏทั้ง 38 แห่ง ร่วมกันภายใต้การสนับสนุนจากกระทรวงศึกษาธิการและคุรุสภา เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะครูวิชาชีพที่จำเป็น 17 ประการสำหรับศตวรรษที่ 21 โดยมุ่งผลิตบัณฑิตครูที่มีคุณภาพ รอบรู้บริบทโรงเรียนและสังคมท้องถิ่น สามารถปฏิบัติงานครูอย่างมืออาชีพ อดทน สู้งาน และบูรณาการนวัตกรรมการศึกษาเข้ากับการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สมรรถนะทั้ง 17 ประการ ได้แก่ 1) ปฏิบัติงานครูอย่างมืออาชีพ 2) ภาวะผู้นำและสัมพันธชุมชน 3) การบริหารจัดการชั้นเรียน 4) ทำงานเป็นทีม 5) ใช้เทคโนโลยี 6) สื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ 7) บุคลิกภาพความเป็นครูและทัศนคติการปรับตัว 8) จิตอาสา 9) ศิลปะการใช้สื่อ 10) อำนวยการเรียนรู้ 11) วัดและประเมินผล 12) ประยุกต์ใช้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง 13) ออกแบบและพัฒนาหลักสูตร 14) เป็นพลเมืองดี 15) บูรณาการศาสตร์สู่การสอน 16) นวัตกรรมทางการศึกษา และ 17) จิตวิญญาณความเป็นครู

ในงานวิจัยนี้ การจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model มุ่งเน้นกระบวนการพัฒนาผ่าน 4 ระยะ (P-T-R-U) เพื่อยกระดับแนวคิดเชิงลึกและสมรรถนะวิชาชีพ ดังนี้

ระยะ P: Preparation (การเตรียมความพร้อม) เน้นการเตรียมความพร้อมด้านเนื้อหาเบื้องต้นและบุคลิกภาพวิชาชีพ การสร้างบรรยากาศเชิงบวกในห้องเรียน และการสื่อสารวัตถุประสงค์การเรียนรู้ตลอดจนเกณฑ์การประเมินให้ชัดเจน

ระยะ T: Theory & Technology (ทฤษฎีและเทคโนโลยี) มุ่งเน้นการเรียนรู้หลักการทางทฤษฎีผ่านเทคโนโลยีดิจิทัล โดยใช้เครื่องมือ เช่น โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) หรือ AI เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสำรวจปรากฏการณ์ฟิสิกส์ที่เป็นนามธรรมให้เห็นเป็นรูปธรรมและเข้าใจได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

ระยะ R: Research & Reflection (การวิจัยและการสะท้อนคิด) เป็นการใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนและการทำงานเป็นทีม เพื่อร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาจากการทดลอง แก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และสะท้อนคิดผลการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ

ระยะ U: Utility & Universal (การประยุกต์ใช้และสากล) เป็นการนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) ฝึกการสอนแบบจุลภาค (Micro-teaching) โดยเน้นเทคนิคการตั้งคำถามกระตุ้นคิด และการสร้างนวัตกรรมทางการศึกษาเพื่อประโยชน์ต่อวิชาชีพและสังคม

โมเดลนี้เน้นการพัฒนาหลักสูตรฐานสมรรถนะ การฝึกปฏิบัติจริงผ่านเครือข่ายสถานศึกษา การกำกับติดตามด้วย formative และ summative assessment และการบูรณาการ STEM TPACK CLIL เพื่อยกระดับคุณภาพครูให้ตอบโจทย์การศึกษาไทยในยุค disruption

2) แนวคิดเชิงลึก หมายถึง ความเข้าใจเชิงแนวคิดที่ลึกซึ้ง ถ่องแท้ และยั่งยืนต่อหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้กับปรากฏการณ์และสถานการณ์ในชีวิตจริง ประยุกต์ใช้อย่างมีวิจารณญาณในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน และพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง เช่น การคิดเชิงวิพากษ์ การคิดแบบอภิปัญญา (metacognition) และการคิดเชิงระบบ (Dessie et al., 2023) แนวคิดเชิงลึกนี้แตกต่างจากการท่องจำสูตรหรือการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากเน้นการสร้างกรอบความคิดที่มั่นคง สามารถนำไปอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ๆ หรือถ่ายทอดให้ผู้อื่นเข้าใจได้ โดยไม่พึ่งพาการจำแบบผิวเผิน ซึ่งมักนำไปสู่ความเข้าใจ

ผิดพลาด (misconceptions) ที่ฝังรากลึก (Bao & Koenig, 2019; Sukarmin et al., 2018) ในบริบทการศึกษา วิชาฟิสิกส์สำหรับนักศึกษาครู แนวคิดเชิงลึกจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการบ่มเพาะสมรรถนะครูวิชาชีพ ช่วยให้สามารถจัดการกับความเข้าใจคลาดเคลื่อนของนักเรียน นำเสนอแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสืบเสาะหาความรู้อย่างมีประสิทธิภาพ (Xiong et al., 2025)

3) สมรรถนะทางวิชาชีพครู หมายถึง ชุดของความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับครูในการ ปฏิบัติหน้าที่การสอนและการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้มาตรฐานวิชาชีพ (Akhyar, 2023) ในบริบทของ งานวิจัยนี้ สมรรถนะทางวิชาชีพครูอ้างอิงถึง 17 สมรรถนะที่ PTRU Model มุ่งเน้นการพัฒนา ซึ่งรวมถึงแต่ไม่ จำกัดเพียง ความสามารถในการทำงานเป็นทีม การใช้เทคโนโลยี การสื่อสารเชิงกลยุทธ์ และจิตวิญญาณความเป็น ครู เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของสังคมและมาตรฐานวิชาชีพในศตวรรษที่ 21 การพัฒนาสมรรถนะเหล่านี้มีความสำคัญต่อการยกระดับคุณภาพการศึกษา STEM และเตรียมความพร้อมครูให้สามารถใช้กลยุทธ์การเรียนรู้ที่เหมาะสมและมีทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวัดและประเมินผลเฉพาะ 3 ด้าน ได้แก่ 1) การทำงานเป็นทีม 2) การใช้เทคโนโลยี และ 3) การสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ (Polgampala, 2017).

4) นักศึกษาครู คือ บุคคลที่กำลังศึกษาในหลักสูตรการผลิตครูระดับอุดมศึกษา ณ มหาวิทยาลัยหรือ สถาบันการศึกษา เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการประกอบวิชาชีพครูในอนาคต (Brooks, 2021; Ingrisich-Rupp & Symeonidis, 2024) โดยในงานวิจัยนี้ หมายถึง นักศึกษาครูระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 ที่กำลังศึกษาใน วิชาฟิสิกส์ ณ มหาวิทยาลัยที่เปิดสอนหลักสูตรครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์ ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายของการพัฒนา แนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์และสมรรถนะทางวิชาชีพผ่านการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model

5) การจัดการเรียนการสอน หมายถึง กระบวนการและวิธีการที่ครูใช้ในการออกแบบ วางแผน ดำเนินการ และอำนวยความสะดวกในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ พัฒนาความรู้ ความเข้าใจ ทักษะ และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Mukagihana et al., 2021) ในงานวิจัยนี้ การจัดการเรียนการสอนจะดำเนินการตาม PTRU Model โดยมุ่งเน้นการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์และ เสริมสร้างสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครู (Ateş et al., 2018; Saleh & Yakob, 2014).

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครู: ผลการวิจัยจะแสดงให้เห็นถึง ประสิทธิภาพของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์ของ นักศึกษาครู ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่มีคุณค่าต่อการทำความเข้าใจวิธีการส่งเสริมความเข้าใจในวิชาฟิสิกส์ให้ ลึกซึ้งยิ่งขึ้น (Dessie et al., 2023)

2) เป็นแนวทางในการพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพครูฟิสิกส์: ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพ ของนักศึกษาครูก่อนและหลังการเรียนการสอนตาม PTRU Model จะเป็นข้อมูลสำคัญที่ชี้ให้เห็นถึงจุดแข็งและ โอกาสในการปรับปรุงหลักสูตรการผลิตครู เพื่อให้สามารถผลิตบัณฑิตครูฟิสิกส์ที่มีสมรรถนะครบถ้วนตามความ ต้องการของวิชาชีพในศตวรรษที่ 21 (Akhyar, 2023; ประพันธ์ศิริ, 2023)

3) สนับสนุนการพัฒนาและปรับปรุงหลักสูตรการผลิตครู: ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของนักศึกษาครูต่อการพัฒนาสมรรถนะผ่านการเรียนการสอนฟิสิกส์ตาม PTRU Model จะสะท้อนมุมมองของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยตรง ทำให้สถาบันอุดมศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา เพื่อพัฒนา ปรับปรุงหลักสูตร และวิธีการจัดการเรียนการสอนในอนาคตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Polgampala, 2017)

4) เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวิจัยและส่งเสริมการปฏิบัติที่อ้างอิงหลักฐาน: งานวิจัยนี้จะนำเสนอหลักฐานเชิงประจักษ์เกี่ยวกับประสิทธิภาพของ PTRU Model ในบริบทของการศึกษาฟิสิกส์สำหรับนักศึกษาครู ซึ่งจะช่วยเพิ่มพูนองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการเรียนการสอน และเป็นทรัพยากรสำคัญที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเชิงวิชาชีพในการศึกษาครูได้ (Diery et al., 2020)

5) ยกระดับคุณภาพการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ในโรงเรียน: การที่นักศึกษาครูมีแนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์และมีสมรรถนะทางวิชาชีพที่แข็งแกร่งขึ้นจากการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ในโรงเรียน เมื่อนักศึกษาเหล่านี้สำเร็จการศึกษาและเข้าสู่การเป็นครูมืออาชีพ ทำให้สามารถส่งเสริมความเข้าใจเชิงแนวคิดให้กับนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lichtenberger et al., 2024)

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด ทฤษฎี

การวิจัยนี้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกทางฟิสิกส์ สมรรถนะทางวิชาชีพครู และโมเดลการพัฒนาครู เพื่อสร้างกรอบแนวคิดที่แข็งแกร่งสำหรับการศึกษาศาสนาการณเหล่านี้ โดยเฉพาะ PTRU Model ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ซึ่งเป็นโมเดลที่มุ่งพัฒนาครูมืออาชีพที่มีคุณภาพ รอบรู้บริบทโรงเรียนและสังคมท้องถิ่น สามารถปฏิบัติงานครูอย่างมืออาชีพ โดยเน้นสมรรถนะทั้ง 17 ประการ ได้แก่ 1) ปฏิบัติงานครูอย่างมืออาชีพ 2) ภาวะผู้นำและสัมพันธชุมชน 3) การบริหารจัดการชั้นเรียน 4) ทำงานเป็นทีม 5) ใช้เทคโนโลยี 6) สื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ 7) บุคลิกภาพความเป็นครูและทัศนคติการปรับตัว 8) จิตอาสา 9) ศิลปะการใช้สื่อ 10) อำนวยความสะดวก 11) วัดและประเมินผล 12) ประยุกต์ใช้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง 13) ออกแบบและพัฒนาหลักสูตร 14) เป็นพลเมืองดี 15) บูรณาการศาสตร์สู่การสอน 16) นวัตกรรมทางการศึกษา และ 17) จิตวิญญาณความเป็นครู(ประพันธ์ศิริ, 2023)

สมรรถนะเหล่านี้ช่วยให้ครูสามารถบูรณาการนวัตกรรมการศึกษาเข้ากับการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ ซึ่งเป็นความเข้าใจเชิงแนวคิดที่ลึกซึ้ง ถ่องแท้ และยั่งยืนต่อหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ ช่วยเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตจริงและแก้ปัญหาซับซ้อน สมรรถนะที่เลือกอธิบายเพิ่มเติม 3 ประการ ได้แก่ 4) ทำงานเป็นทีม คือ สามารถทำงานเป็นทีม บริหารจัดการความขัดแย้ง และร่วมกิจกรรมพัฒนาวิชาชีพกับนักเรียน ครู ผู้บริหาร ผู้ปกครอง ชุมชน และหน่วยงานเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง(ประพันธ์ศิริ, 2023) 5) ใช้เทคโนโลยี คือ ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ เช่น การนำ AI มาใช้ในการเรียนการสอน (ประพันธ์ศิริ, 2023) และ 6) สื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ คือ สามารถสื่อสารแก้ปัญหาในการปฏิบัติงานในโรงเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ(ประพันธ์ศิริ, 2023) สมรรถนะเหล่านี้สนับสนุนการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครู โดยช่วยให้สามารถบูรณาการเทคโนโลยีในการจำลองปรากฏการณ์ สื่อสารแนวคิดซับซ้อน และทำงานทีมในการออกแบบกิจกรรมสืบเสาะหาความรู้(Mihret et al., 2023; Molina et al., 2025)

กรอบแนวคิดนี้จะนำไปสู่การพัฒนา รูปแบบการสอนและเครื่องมือวัดผลที่เหมาะสม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการประเมินและพัฒนาศักยภาพของนักศึกษาครูได้อย่างมีระบบและเป็นรูปธรรม(Pratiwi, 2021) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ ความเชื่อของนักเรียน และการควบคุมตนเองในการเรียนรู้ฟิสิกส์ จะให้ข้อมูลเชิงลึกสำหรับการพัฒนาหลักสูตรและการออกแบบกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านจากความเชื่อที่ยังไม่สมบูรณ์ไปสู่ความเข้าใจของผู้เชี่ยวชาญ(Maison et al., 2019)

นอกจากนี้ การพิจารณาวิธีการฝึกอบรมและพัฒนาครูฟิสิกส์ในปัจจุบันจะช่วยให้เห็นถึงช่องว่างและความจำเป็นในการประยุกต์ใช้แนวทางการสอนที่เป็นนวัตกรรมใหม่เพื่อยกระดับขีดความสามารถของครูในอนาคต (Nyssan, 2023) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสำรวจผลกระทบของการใช้อี-โปรเฟสชันแนลลิซึมในการสอน ซึ่งเป็นประเด็นที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในการพัฒนาวิชาชีพครูในปัจจุบัน(Nasri et al., 2023) การบูรณาการ

e-professionalism เข้ากับการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์จึงอาจเป็นแนวทางสำคัญในการเตรียมความพร้อม นักศึกษาครูให้สามารถเผชิญกับความท้าทายในโลกยุคดิจิทัล(Pitipornatapin et al., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการในการผลิตครูที่มีความเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกและมีทักษะการสอนที่ทันสมัย(Nysson, 2023) ยิ่งไปกว่านั้น การตรวจสอบความคิดเห็นและประสบการณ์ของนักศึกษาครูเกี่ยวกับอิทธิพลของแพลตฟอร์มดิจิทัลต่อการรับรู้ ความเป็นมืออาชีพก็เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้การศึกษาครูสามารถปรับตัวให้เข้ากับภูมิทัศน์ทางเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป(Nasri et al., 2023) การศึกษาครูฟิสิกส์จึงควรเน้นการพัฒนาทั้งความเข้าใจเชิงแนวคิดที่ลึกซึ้งใน วิชาฟิสิกส์และสมรรถนะทางวิชาชีพที่ครอบคลุม เพื่อให้สามารถถ่ายทอดความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสร้าง ทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้ฟิสิกส์ในหมู่นักเรียน(Mihret et al., 2023; Şengül, 2023)

การเตรียมความพร้อมในด้านสมรรถนะที่หลากหลาย เช่น สมรรถนะด้านการสอน สมรรถนะด้าน บุคลิกภาพ สมรรถนะทางสังคม และสมรรถนะทางวิชาชีพ จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพครูฟิสิกส์ ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของหลักสูตรและบริบทการศึกษาในศตวรรษที่ 21(Sari & Purbani, 2023) ความสำเร็จของการศึกษาขึ้นอยู่กับความสามารถทางวิชาชีพของครู ซึ่งรวมถึงความรู้ ความเชื่อ และทักษะการ สอนที่สะท้อนถึงบทบาทส่วนตัวและวิชาชีพของพวกเขา(Nysson, 2023; Şengül, 2024)

การพัฒนาครูให้มีความสามารถในการปรับตัวและใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการจัดการเรียนรู้จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว(Molina et al., 2025) ดังนั้น การบูรณาการ เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับการเรียนการสอนฟิสิกส์จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ นักศึกษาครูสามารถสร้างประสบการณ์การ เรียนรู้ที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีและเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง(Molina et al., 2025) ซึ่งจะส่งเสริมการคิดเชิง วิพากษ์และการประเมินข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ(Viennot & Décamp, 2018) สิ่งนี้จะช่วย ให้ นักศึกษาครูสามารถพัฒนาทักษะการรู้เท่าทันสื่อดิจิทัล และความสามารถในการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งเป็น สิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการเผชิญกับความท้าทายในยุคอุตสาหกรรม 4.0(Suwarna, 2024) ด้วยเหตุนี้ การให้ ความสำคัญกับการพัฒนาความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนา สมรรถนะทางศึกษาศาสตร์ของครูฟิสิกส์ในอนาคต(Masrifah et al., 2022) การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลในการ จัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสอนเท่านั้น แต่ยังช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาทักษะ การคิดวิเคราะห์ การสื่อสาร และการทำงานร่วมกัน ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21(Sugiyanto et al., 2021) ยิ่งไปกว่านั้น ครูฟิสิกส์ในยุคดิจิทัลจะต้องสามารถเป็นผู้สร้างสรรค์สภาพแวดล้อม การเรียนรู้ที่ไม่ก่อให้เกิดความเครียด สนุกสนาน และส่งเสริมการปฏิสัมพันธ์ทั้งระหว่างครูกับนักเรียน และ นักเรียนด้วยกันเอง(Siswanto et al., 2022) การที่ครูมีสมรรถนะทางดิจิทัลสูงจะช่วยให้สามารถเลือกและใช้ เครื่องมือดิจิทัลที่เหมาะสมในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ(Benz & Ludwig, 2023) ซึ่ง รวมถึงความสามารถในการประเมินแหล่งข้อมูลดิจิทัลเพื่อคุณภาพการสอนและการเลือกวิธีการนำเสนอที่ เหมาะสมสำหรับผู้เรียน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์และสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครู โดยอาศัยการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ซึ่งเป็นโมเดลที่พัฒนาครูมืออาชีพให้มีสมรรถนะครบถ้วน 17 ประการ เพื่อให้เห็นภาพรวมขององค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องและช่องว่างในการวิจัย จึงได้รวบรวมงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 2019-2024) ซึ่งครอบคลุมประเด็นสำคัญ 2 ด้านหลัก ได้แก่ การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์และการจัดการเรียนการสอนพร้อมรูปแบบการพัฒนาครู งานวิจัยเหล่านี้ไม่เพียงช่วยยืนยันความท้าทายที่พบในปัจจุบัน เช่น ความเข้าใจคลาดเคลื่อนของผู้เรียนในแนวคิดนามธรรม แต่ยังเสนอแนะกลยุทธ์นวัตกรรมที่สามารถบูรณาการเข้ากับ PTRU Model เพื่อยกระดับคุณภาพการผลิตครูฟิสิกส์ให้สอดคล้องกับบริบทดิจิทัลและศตวรรษที่ 21 (Mihret et al., 2023; ประพันธ์ศิริ, 2023)

ในด้านการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์ งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนต้องอาศัยการเปลี่ยนผ่านจากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนไปสู่ความเข้าใจเชิงแนวคิดที่ถูกต้องและลึกซึ้ง โดยเฉพาะในกลุ่มนักศึกษาครูซึ่งต้องมีความเชี่ยวชาญเพื่อถ่ายทอดให้ผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความท้าทายหลักที่พบคือ ผู้เรียนมักเผชิญปัญหาในการตีความแนวคิดนามธรรม เช่น จลนศาสตร์หรือไฟฟ้าและแม่เหล็ก ซึ่งความรู้เดิมอาจไม่เพียงพอสำหรับการประยุกต์ในสถานการณ์จริง (Marshall et al., 2025; Mihret et al., 2023; Rianti et al., 2024) การศึกษาของ Aryani et al. ทบทวนวรรณกรรม 47 เรื่องตั้งแต่ปี 2018-2024 พบว่ายังขาดการศึกษาเชิงประจักษ์เกี่ยวกับรอบทฤษฎีเฉพาะสำหรับการแทรกแซงการเรียนรู้ รวมถึงมิติทางอารมณ์และสังคมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวคิด จึงแนะนำให้สำรวจกลยุทธ์ metacognitive เพิ่มเติมเพื่อเสริมสร้างการเปลี่ยนผ่านนี้ (Aryani et al., 2024) ซึ่งชี้ให้เห็นความจำเป็นในการออกแบบการสอนที่ตรงจุดเพื่อแก้ไข (Handhika et al., 2023)

กลยุทธ์การสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความมีประสิทธิภาพสูง เช่น การเรียนรู้โดยใช้ปัญหา (Problem-Based Learning: PBL) ร่วมกับการจำลอง PhET simulation ซึ่ง Rianti et al. พบว่าช่วยปรับปรุงคะแนนหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มทดลองเมื่อเทียบกับการสอนบรรยายแบบดั้งเดิม โดยนักเรียนสามารถเชื่อมโยงแนวคิดนามธรรมกับสถานการณ์จริงได้ดีขึ้น (Rianti et al., 2024) เช่นเดียวกัน Wu et al. นำเสนอการพลิกกลับห้องเรียน ร่วมกับกิจกรรมพัฒนาแนวคิด ซึ่งเพิ่มการมีส่วนร่วมและการประยุกต์ใช้เนื้อหา โดยนักเรียนได้สำรวจเนื้อหาก่อนเข้าห้องเรียนและฝึกปฏิบัติในชั้นเพื่อเสริมความเข้าใจเชิงโครงสร้าง (Wu et al., 2021) Siantuba et al. ยังยืนยันว่าการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ช่วยเปลี่ยนความเข้าใจผิดพลาด โดยอาศัยโครงสร้างความรู้ที่สอดคล้องกับทฤษฎีทางฟิสิกส์ ซึ่งสามารถบูรณาการกับสมรรถนะ "ใช้เทคโนโลยี" ใน PTRU Model เพื่อจำลองปรากฏการณ์ซับซ้อน (Siantuba et al., 2023) การประเมินแนวคิดเหล่านี้จึงควรใช้เครื่องมือที่วัดทั้งความถูกต้องและความยั่งยืน เพื่อติดตามการเปลี่ยนผ่านจาก novice สู่ expert-like understanding

ส่วนด้านการจัดการเรียนการสอนและรูปแบบการพัฒนาครูนั้น งานวิจัยชี้ให้เห็นว่ารูปแบบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการเตรียมนักศึกษาครูให้มีสมรรถนะครบถ้วน โดยเฉพาะการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลและการทำงานร่วมกัน Talafian et al. เสนอ Responsive Professional Development ที่ยืดหยุ่นตามความต้องการครู โดยใช้การจัดกลุ่ม purposeful และ facilitation ที่ attentive-adaptive ซึ่งช่วยยกระดับสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ผ่านชุมชนปฏิบัติการสอนฟิสิกส์ (Talafian et al., 2024) เช่นเดียวกัน Pallotta et al. รายงาน

ความสำเร็จจากการร่วมมือระหว่างนักวิจัยฟิสิกส์และครุมัธยม เพื่อสร้างกิจกรรมทดลองที่สมดุล ส่งเสริม problem-solving และ data interpretation ซึ่งสอดคล้องกับสมรรถนะการสอนฟิสิกส์ในวิศวกรรมของ Molina et al. ที่เน้น modeling, inquiry-based experiments และ computational analysis (Molina et al., 2025; Pallotta et al., 2021)

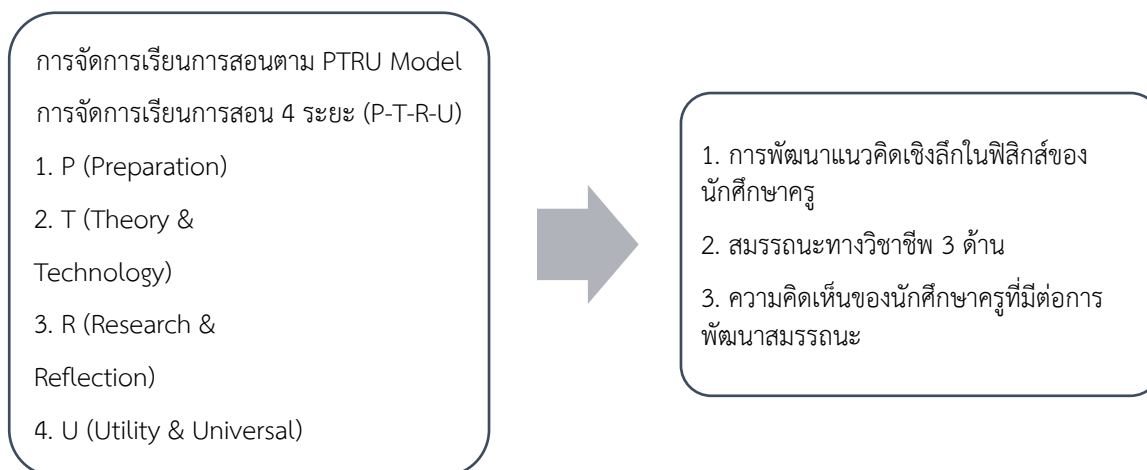
สำหรับสมรรถนะการสอนฟิสิกส์โดยเฉพาะ Ogodo พบว่าทัศนคติ (disposition) ของครูเป็นตัวกลางสำคัญในการพัฒนาวิชาชีพ โดยครูที่มีทัศนคติบวกต่อโปรแกรม PD แสดงการเพิ่มขึ้นของความรู้เนื้อหา self-efficacy และการนำ student-centered approach มาใช้ โดยเฉพาะครูสอนนอกสาขา (Ogodo, 2025) Twahirwa และ Ntivuguruzwa ยังพิสูจน์ว่าห้องเรียนอัจฉริยะ (smart classrooms) ร่วมกับระบบประเมินข้อมูลครบวงจรช่วยเพิ่มความเข้าใจเชิงแนวคิดทั้งครูและนักเรียน โดยใช้ remediation teaching เพื่อแก้ไขช่องว่าง (Twahirwa & Ntivuguruzwa, 2024) ในด้านการเตรียมนักศึกษาคู Osei-Himah et al. สํารวจด้วยแบบสอบถามเชิงพรรณนา พบว่านักศึกษามีความพร้อมจำกัดในหัวข้อฟิสิกส์บางเรื่อง ขณะที่ Kozhabekova et al. ระบุว่าความมั่นใจในการสอนสหวิทยาการเพิ่มขึ้นตามปีการศึกษา แต่ยังมีอุปสรรคจากขาดการฝึกอบรม (Kozhabekova et al., 2025; Osei-Himah et al., 2025)

แนวทางการเรียนการสอนนวัตกรรม เช่น Project-Based Learning ของ Wang et al. ที่ส่งเสริม conceptual understanding, problem-solving, practical competencies, engagement และ motivation ในนักศึกษามหาวิทยาลัย (Wang et al., 2025) หรือ personalized online learning ของ Hettiarachchilagea และ Haldolaarachchige ที่ปรับให้เหมาะสมบุคคลเพื่อยกระดับความรู้ฟิสิกส์ (Hettiarachchilagea & Haldolaarachchige, 2023) สามารถเชื่อมโยงกับสมรรถนะ "ทำงานเป็นทีม" และ "สื่อสารอย่างมีกลยุทธ์" ใน PTRU Model เพื่อสร้างประสบการณ์ learner-centered ที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี สอดคล้องกับบริบทดิจิทัลใน prefix ที่เน้น e-professionalism และ digital literacy (Benz & Ludwig, 2023; Molina et al., 2025; Nasri et al., 2023; Siswanto et al., 2022) โดยรวม งานวิจัยเหล่านี้ชี้ช่องว่างในการบูรณาการ PTRU Model กับนวัตกรรมดิจิทัล เพื่อพัฒนาครูฟิสิกส์ให้พร้อมเผชิญอุตสาหกรรม 4.0 อย่างแท้จริง (Masrifah et al., 2022; Sari & Purbani, 2023; Suwarna, 2024)

2.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยนี้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานความเชื่อว่าการจัดการเรียนการสอนที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้ PTRU Model สามารถส่งผลต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในวิชาฟิสิกส์และเสริมสร้างสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูได้อย่างมีนัยสำคัญ

กรอบแนวคิดในการวิจัยนี้สามารถแสดงเป็นภาพรวมได้ดังแผนภาพต่อไปนี้



กรอบแนวคิดการวิจัย ประกอบด้วยปัจจัยนำเข้า ได้แก่ การจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่เป็นรูปแบบพัฒนาครูวิชาชีพของมหาวิทยาลัยราชภัฏ โดยเน้น 17 สมรรถนะสำหรับครูศตวรรษที่ 21 เช่น การปฏิบัติงานครูอย่างมืออาชีพ การใช้เทคโนโลยี การสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ และจิตวิญญาณความเป็นครู(ประพันธ์ศิริ, 2023) ซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับวิชาฟิลิกส์สำหรับนักศึกษาครู กระบวนการหลักคือการพัฒนา รูปแบบการสอน และเครื่องมือวัดผลที่เหมาะสม เพื่อเสริมแนวคิดเชิงลึกในฟิลิกส์และสมรรถนะวิชาชีพตาม PTRU Model(Pratiwi, 2021) ร่วมกับการประเมินและพัฒนาศักยภาพนักศึกษาครูโดยประเมินก่อนและหลังการสอนเพื่อติดตามความก้าวหน้า รวมถึงการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ ความเชื่อของนักเรียน และการควบคุมตนเองในการเรียนรู้ฟิลิกส์ เพื่อออกแบบการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการเปลี่ยนจากความเชื่อผิดพลาดสู่ความเข้าใจเชิงลึก(Maison et al., 2019) ส่วนผลลัพธ์ที่คาดหวัง ได้แก่ การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิลิกส์ของนักศึกษาครูให้มีความเข้าใจหลักการอย่างลึกซึ้งและยั่งยืน การเพิ่มสมรรถนะวิชาชีพตาม PTRU Model โดยเฉพาะการทำงานเป็นทีม การใช้เทคโนโลยี และการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์(ประพันธ์ศิริ, 2023) รวมถึงการสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาครูต่อการพัฒนาสมรรถนะจาก PTRU Model

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูผ่านการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model เป็นการวิจัยแบบผสมวิธี (Mixed Methods Research) โดยใช้แบบแผนการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experimental Design) แบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลังการทดลอง (One-Group Pretest-Posttest Design) ควบคู่กับการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ มีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักศึกษาคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย หลักสูตรการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย หลักสูตรการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (แขนงฟิสิกส์) ชั้นปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จำนวน 6 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งเครื่องมือออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบ PTRU Model ในรายวิชา PHYED2207 ปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง 1 จำนวน 4 แผน แผนลำ 4 ชั่วโมง หัวข้อ กฎของแอมแปร์, กฎของบีโอด-ซาวาร์ต, ปฏิกิริยาการชนของฮอลล์, และทฤษฎีแมกซ์เวลล์ โดยแบ่งกิจกรรมเป็น 4 ระยะ คือ P-Preparation, T-Theory & Technology, R-Research & Reflection และ U-Utility & Universal โดย 1 ชั่วโมงแรก (P & T) เตรียมความพร้อมและใช้ Simulation/AI เพื่อสำรวจทฤษฎี 2 ชั่วโมง ถัดมา (R) ลงมือทำปฏิบัติการจริงในห้องแล็บ วิจัยปัญหา และทำงานเป็นทีม และ 1 ชั่วโมงหลัง (U) สะท้อนคิด (Reflection) และฝึกการสื่อสาร/การสอนแบบจุลภาค (Micro-teaching)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

- 1) แบบทดสอบวัดแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ (30 คะแนน) พร้อมคำถามปลายเปิดเพื่อวัดการอธิบายเชิงเหตุผล

- 2) แบบประเมินสมรรถนะทางวิชาชีพครู ชนิดมาตรประมาณค่า 5 ระดับ เน้น 3 ด้านหลัก ได้แก่ การทำงานเป็นทีม การใช้เทคโนโลยี และการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์

- 3) แบบสอบถามความคิดเห็นต่อการเรียนรู้ตาม PTRU Model ชนิดมาตรประมาณค่า 5 ระดับ

- 4) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Interview)

3.3 การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมาย (รหัส S1-S6) โดยแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกของนักศึกษาครูในวิชาฟิสิกส์

1. การเก็บข้อมูล ให้นักศึกษาทำแบบทดสอบวัดแนวคิดเชิงลึกก่อนเรียน (Pre-test) และหลังเรียน (Post-test) พร้อมเก็บรวบรวมผลงานระหว่างเรียน เช่น ใบกิจกรรม แผนผังความคิด และบันทึกสะท้อนคิด

2. การวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย เชงปริมาณ คือ เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน รายบุคคลและค่าเฉลี่ยร้อยละ เชงคุณภาพ คือ วิเคราะห์เนื้อหาจากคำตอบปลายเปิดเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงจากการท่องจำสูตรไปสู่การอธิบายด้วยหลักการ

ตอนที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการเรียนการสอนตาม PTRU Model

1. การเก็บข้อมูล ประเมินสมรรถนะ 3 ด้านหลัก (ทำงานเป็นทีม, เทคโนโลยี, สื่อสารเชิงกลยุทธ์) ก่อนและหลังการทดลอง พร้อมสังเกตพฤติกรรมระหว่างการจัดกิจกรรมในห้องปฏิบัติการ

2. การวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย เชงปริมาณ คือ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนสมรรถนะรายด้านระหว่างก่อนและหลังเรียน เชงคุณภาพ คือ วิเคราะห์พฤติกรรมจากร่องรอยหลักฐาน เช่น แผนการสอนและบันทึกการสะท้อนคิด เพื่อรวบรวมหลักฐานการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมสมรรถนะ

ตอนที่ 3 เพื่อสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาครูเกี่ยวกับการพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพผ่านการเรียนการสอนฟิสิกส์ตาม PTRU Model

1. การเก็บข้อมูล ให้นักศึกษาทำแบบสอบถามความคิดเห็นหลังเสร็จสิ้นกระบวนการเรียนรู้ และดำเนินการสัมภาษณ์ถึงโครงสร้างรายบุคคลเพื่อเจาะลึกมุมมองเชิงคุณภาพ

2. การวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย เชงปริมาณ คือ คำนวณหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อจัดระดับความคิดเห็นในแต่ละรายการ เชงคุณภาพ คือ ถอดความจากการสัมภาษณ์และวิเคราะห์ประเด็นหลัก (Thematic Analysis) เกี่ยวกับการรับรู้ตัวตนทางวิชาชีพและความพึงพอใจต่อบรรยากาศการเรียนรู้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์และสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครู จำนวน 6 คน กำหนดรหัสเป็น S1-S6 ผ่านการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model โดยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

4.1 ตอนที่ 1 ผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกของนักศึกษาครูในวิชาฟิสิกส์

ในตอนนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นการวิเคราะห์พัฒนาการแนวคิดเชิงลึกของนักศึกษาครูที่เกิดขึ้นภายหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยการประเมินความสามารถในการอธิบายปรากฏการณ์และการเชื่อมโยงหลักการทางฟิสิกส์ ซึ่งข้อมูลจะถูกนำเสนอทั้งในรูปแบบของสถิติเชิงปริมาณและผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ดังนี้

1.1 ผลเชิงปริมาณ คะแนนแนวคิดเชิงลึกก่อนเรียน-หลังเรียน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงตัวเลขผ่านแบบทดสอบวัดแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ เพื่อเปรียบเทียบระดับความเข้าใจของกลุ่มเป้าหมายระหว่างก่อนและหลังการได้รับจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model โดยผลการเปรียบเทียบคะแนนรายบุคคลปรากฏรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คะแนนแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูรายบุคคล

รหัสนักศึกษา คะแนนก่อนเรียน (30) คะแนนหลังเรียน (30) ผลต่าง ร้อยละก่อนเรียน ร้อยละหลังเรียน					
S1	11	23	12	36.67	76.67
S2	12	25	13	40.00	83.33
S3	10	22	12	33.33	73.33
S4	13	24	11	43.33	80.00
S5	9	21	12	30.00	70.00
S6	12	24	12	40.00	80.00
ค่าเฉลี่ย	11.17	23.17	12.00	37.22	77.22

จากตารางที่ 4.1 พบว่า นักศึกษาครูทั้ง 6 คนมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกคน โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 11.17 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 37.22 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 23.17 คะแนน คิดเป็น

ร้อยละ 77.22 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model มีส่วนช่วยให้นักศึกษาครุพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ได้ดีขึ้นอย่างเด่นชัด

เมื่อพิจารณาเป็นรายบุคคล พบว่า S2 มีคะแนนพัฒนาสูงสุด เพิ่มขึ้น 13 คะแนน รองลงมาคือ S1, S3, S5 และ S6 ซึ่งเพิ่มขึ้นคนละ 12 คะแนน ส่วน S4 เพิ่มขึ้น 11 คะแนน แม้จะมีระดับการพัฒนาต่างกันเล็กน้อย แต่ทุกคนมีแนวโน้มพัฒนาไปในทิศทางเดียวกัน คือ จากความเข้าใจแบบผิวเผินหรือจดจำสูตร ไปสู่ความเข้าใจที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้เป็นระบบมากขึ้น

1.2 ผลเชิงคุณภาพ การเปลี่ยนแปลงลักษณะความเข้าใจเชิงแนวคิด

นอกจากคะแนนแบบทดสอบที่สูงขึ้นแล้ว ผู้วิจัยยังพบการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพจากคำตอบปลายเปิด การอธิบายในชั้นเรียน และผลงานที่นักศึกษาสร้างขึ้น โดยสามารถสรุปได้ 3 ประเด็นสำคัญ ดังนี้

(1) จากการท่องจำสูตรสู่การอธิบายด้วยหลักการ

นักศึกษาเปลี่ยนจากการยึดติดกับสูตรคำนวณในคู่มือปฏิบัติการ มาเป็นการใช้หลักการทางฟิสิกส์ในการอธิบายเหตุผลและปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองอย่างเป็นระบบ:

S1 อธิบายว่า ในการทดลองเรื่อง กฎของแอมแปร์ เดิมจะจำเพียงสูตร เพื่อหาค่าสนามแม่เหล็ก แต่หลังจากเรียนรู้ผ่าน PTRU Model ทำให้เข้าใจว่าเส้นทางปิดแอมแปร์ (Amperian loop) ต้องพิจารณาความสมมาตรและกระแสที่ไหลผ่านพื้นที่ปิดนั้นจริง ๆ ซึ่งสำคัญมากในการติดตั้งอุปกรณ์ให้ถูกต้องเพื่อให้ทิศทางของสนามแม่เหล็กสอดคล้องกับหลักการ

S2 อธิบายว่า การหาค่าคงที่ของ ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าในสูตรสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว แต่ต้องเข้าใจความสัมพันธ์เชิงระบบระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็กภายนอกกับการเบี่ยงเบนของพาหะประจุในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการวัดแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ที่เกิดขึ้น

S3 อธิบายว่า พัฒนาจากการจำคำตอบในใบงานมาเป็นการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของปัจจัยทางเรขาคณิตใน กฎของบีโอด-ซาวาร์ต โดยเข้าใจว่าลักษณะการวางลวดตัวนำที่ต่างกันส่งผลต่อการสะสมของสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางอย่างไร ซึ่งช่วยให้การสืบค้นข้อมูลเพื่ออธิบายผลการทดลองมีความสมเหตุสมผลมากขึ้น

S4 อธิบายว่า เริ่มแยกแยะความแตกต่างระหว่างตัวแปรที่ใกล้เคียงกันได้ชัดเจนขึ้น เช่น ในเรื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างความเข้มสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ แทนการตอบโดยอาศัยเพียงความรู้สึกหรือการแทนค่าตัวเลขลงในสมการของแมกซ์เวลล์เพียงอย่างเดียว

S5 อธิบายว่า การเข้าใจหลักการของ ทฤษฎีแมกซ์เวลล์ ช่วยให้เห็นที่มาของปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำ ข้ามระบบได้ดีกว่าการท่องจำสมการอนุพันธ์เพียงเพื่อการสอบ โดยเฉพาะเมื่อต้องวิเคราะห์ผลการทดลองที่ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี

S6 อธิบายว่า ความเข้าใจเชิงหลักการทำให้สามารถอธิบาย "เหตุและผล" ในการติดตั้งอุปกรณ์เฉพาะทางได้ลึกซึ้งขึ้น เช่น เหตุผลที่ต้องปรับสมดุลอุปกรณ์ก่อนเริ่มวัดค่าในการทดลองแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขขอบเขตของกฎทางฟิสิกส์ที่ศึกษา

โดยสรุป นักศึกษาครูทุกคนมีแนวโน้มพัฒนาจากการเรียนรู้แบบจดจำสูตรไปสู่ความเข้าใจเชิงมโนทัศน์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรในระบบปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทางได้อย่างเป็นระบบ และสามารถเชื่อมโยงหลักการทางทฤษฎีเข้ากับการปฏิบัติงานจริงได้อย่างถูกต้องตามหลักการวิชาชีพ

(2) การเชื่อมโยงแนวคิดเป็นโครงสร้าง

ผู้วิจัยพบการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพจากการอภิปรายในชั้นเรียนและผลงานที่นักศึกษาสร้างขึ้น โดยนักศึกษาสามารถจัดระบบความคิดและเชื่อมโยงแนวคิดหลัก แนวคิดรอง และเงื่อนไขต่าง ๆ ในทางปฏิบัติการฟิสิกส์ได้อย่างมีลำดับ

S1 อธิบายว่า การทำปฏิบัติการเรื่อง กฎของแอมแปร์ ช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นที่ปิด (Enclosed current) และความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นทางปิดแอมแปร์เป็นภาพรวมที่ต่อเนื่องกัน

S2 อธิบายว่า สามารถอธิบายเชื่อมโยงระหว่างสนามแม่เหล็กภายนอก แรงลอเรนซ์ที่กระทำต่อพาหะประจุ และการเกิดแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ใน ปรากฏการณ์ของฮอลล์ ได้อย่างครบถ้วนและเป็นระบบ

S3 อธิบายว่า พัฒนาการจัดระบบความคิดผ่านใบกิจกรรมปฏิบัติการช่วยให้เห็นลำดับความสำคัญของแนวคิดใน กฎของบีโอต์-ซาวาร์ต จากการคำนวณส่วนย่อยของกระแสไฟฟ้าไปสู่ผลรวมของสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางซึ่งเคยกระจัดกระจายให้เป็นหมวดหมู่ขึ้น

S4 อธิบายว่า การสร้างแผนผังความคิดทำให้เห็นภาพรวมของบทเรียนและความเกี่ยวข้องกันของ ทฤษฎีแมกซ์เวลล์ ทั้ง 4 สมการ ว่าแต่ละสมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในเงื่อนไขต่าง ๆ ได้ชัดเจนขึ้น

S5 อธิบายว่า สามารถสร้างแผนผังแนวคิดที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง เช่น การเชื่อมโยง "การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กตามเวลา การเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้า การแผ่ของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า" พร้อมยกตัวอย่างจากผลการวิเคราะห์ผลการทดลองจริงได้

S6 อธิบายว่า การเรียนรู้อย่างเป็นระบบช่วยให้เห็นว่าเงื่อนไขของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนไปในการทดลอง เช่น ทิศทางของกระแสหรือความเข้มสนามแม่เหล็ก ย่อมส่งผลต่อผลลัพธ์ของแรงดันไฟฟ้าหรือทิศทางคลื่นในโครงสร้างทางทฤษฎีเดียวกัน

โดยสรุป นักศึกษามีพัฒนาการในการจัดระบบความเข้าใจเชิงแนวคิดในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง 1 โดยสามารถเชื่อมโยงแนวคิดทางทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ากับการติดตั้งอุปกรณ์และการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นโครงสร้างความรู้ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน

(3) การถ่ายโอนความรู้ไปใช้กับสถานการณ์ใหม่

นักศึกษาสามารถประยุกต์ใช้แนวคิดเชิงลึกจากปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทางเพื่อการจัดการเรียนรู้และการแก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

S1 อธิบายว่า บทบาทของครูฟิสิกส์ในห้องปฏิบัติการเฉพาะทางไม่ใช่เพียงผู้บอกริธีติดตั้งอุปกรณ์ตามคู่มือ แต่ต้องรู้วิธีตั้งคำถามให้ผู้เรียนได้คิดและเข้าใจหลักการเบื้องหลัง เช่น ทำไมต้องจัดวางลวดตัวนำให้ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กในเรื่องแรงลอเรนซ์

S2 อธิบายว่า สามารถนำเทคโนโลยีหรือสถานการณ์จำลอง (Simulation) มาใช้ประกอบการทดลองจริงในเรื่องปรากฏการณ์ของฮอลล์ เพื่อให้ผู้เรียนลองปรับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กหรือชนิดของพาหะประจุในระบบจำลองก่อนลงมือทดลองจริง ช่วยให้เห็นภาพการเคลื่อนที่ของประจุที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

S3 อธิบายว่า สามารถออกแบบกลยุทธ์การสื่อสารด้วยคำถามกระตุ้นคิดในเรื่อง กฎของบีโอด-ซาวาร์ต เช่น "หากเราเปลี่ยนรูปร่างของขดลวดตัวนำจากวงกลมเป็นสี่เหลี่ยม สนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร" เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิต

S4 อธิบายว่า นำความรู้เชิงลึกจากการวิเคราะห์ ทฤษฎีแมกซ์เวลล์ ไปออกแบบกิจกรรมปฏิบัติการที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนในอนาคตได้สืบค้นข้อมูลและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อพิสูจน์การเหนี่ยวนำข้ามระบบด้วยตนเอง แทนการเรียนรู้แบบท่องจำสมการ

S5 อธิบายว่า การจัดกิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนวิเคราะห์ผลการทดลองและอภิปรายความคลาดเคลื่อน (Error Analysis) ในเรื่อง กฎของแอมแปร์ ด้วยตนเองก่อนการสรุปบทเรียน จะช่วยให้ครูเห็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนได้ชัดเจนและสร้างการมีส่วนร่วมได้มากกว่าการบรรยาย

S6 อธิบายว่า การจัดการเรียนรู้เรื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในระดับสถานศึกษาต้องบูรณาการทั้งเนื้อหาทางทฤษฎี วิธีการทดลอง และสื่อเทคโนโลยีดิจิทัลเข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงหลักการฟิสิกส์เฉพาะทางเข้ากับเทคโนโลยีในชีวิตประจำวันได้อย่างมีความหมาย

โดยสรุป นักศึกษาครูมีพัฒนาการจากผู้ที่เป็น "ผู้" เนื้อหาเฉพาะทาง ไปสู่ผู้ที่สามารถ "ใช้" ความรู้และทักษะจากปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง 1 มาออกแบบการจัดการเรียนรู้ อำนวยความสะดวกการเรียนรู้ และวิเคราะห์สถานการณ์ใหม่ๆ ผ่านการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์และการทำงานเป็นทีมได้อย่างสร้างสรรค์

การจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ช่วยยกระดับแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูทั้งในด้านคะแนนผลสัมฤทธิ์และคุณภาพของการอธิบาย นักศึกษามีแนวโน้มเปลี่ยนจากการเรียนรู้แบบจดจำ ไปสู่การเข้าใจเชิงหลักการ การเชื่อมโยงความรู้เป็นระบบ และการประยุกต์ใช้แนวคิดทางฟิสิกส์ในการจัดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น

4.2 ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการเรียนการสอนตาม PTRU Model

ผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมินและเปรียบเทียบพัฒนาการทางสมรรถนะของนักศึกษาครูทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการทำงานเป็นทีม ด้านการใช้เทคโนโลยี และด้านการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ เพื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าที่เกิดขึ้นจากการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบ PTRU Model โดยนำเสนอผลการวิจัยแบ่งออกเป็นข้อมูลสถิติเชิงปริมาณและหลักฐานเชิงพฤติกรรมในเชิงคุณภาพ ดังนี้

2.1 ผลเชิงปริมาณ เปรียบเทียบสมรรถนะหลักรายด้าน

ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากแบบประเมินสมรรถนะวิชาชีพครู เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนในแต่ละสมรรถนะหลักระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับสมรรถนะและค่าคะแนนผลต่างที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการพัฒนา

ด้านสมรรถนะ	ก่อนเรียน (Mean)	หลังเรียน (Mean)	ผลต่าง	ระดับหลังเรียน
1. การทำงานเป็นทีม	2.83	4.33	1.50	สูง
2. การใช้เทคโนโลยี	2.50	4.50	2.00	สูงมาก
4. การสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์	3.00	4.33	1.33	สูง
รวมเฉลี่ย	2.77	4.38	1.66	สูง

จากตารางที่ 4.2 พบว่า นักศึกษาครูมีสมรรถนะทางวิชาชีพหลังการพัฒนาสูงกว่าก่อนการพัฒนาในทุกด้าน โดยมีค่าเฉลี่ยรวมหลังการพัฒนาเท่ากับ 4.38 อยู่ในระดับ สูง เพิ่มขึ้นจากก่อนการพัฒนาซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 โดยมีคะแนนเฉลี่ยรวมเพิ่มขึ้น 1.66 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านที่มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ ด้านการใช้เทคโนโลยี โดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 2.00 คะแนน และมีระดับสมรรถนะหลังการพัฒนาอยู่ในระดับ สูงมาก (4.50) รองลงมาคือ ด้านการทำงานเป็นทีม มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.50 คะแนน อยู่ในระดับ สูง (4.33) และด้านที่มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือ ด้านการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.33 คะแนน อยู่ในระดับ สูง (4.33)

2.2 ผลเชิงคุณภาพ หลักฐานพฤติกรรมสมรรถนะที่เปลี่ยนแปลง

ผลการสังเกตพฤติกรรมระหว่างการจัดกิจกรรม การตรวจแผนการสอน และการสะท้อนคิดหลังสอน พบหลักฐานเชิงคุณภาพที่สนับสนุนผลเชิงปริมาณ ดังนี้

(1) ด้านการทำงานเป็นทีม

นักศึกษามีพัฒนาการจากการทำงานแบบแยกส่วนไปสู่การทำงานแบบร่วมสร้างความรู้ (Co-construction):

S1 กล่าวว่า ในช่วงแรกยังไม่ค่อยกล้าเสนอไอเดียเพราะกลัวผิด แต่พอได้ทำกระบวนการสะท้อนคิด (Reflection) ทำให้กล้าพูดและรับฟังเพื่อนมากขึ้น

S2 กล่าวว่า การทำงานกลุ่มช่วยให้เห็นมุมมองฟิสิกส์ที่หลากหลาย โดยเฉพาะตอนช่วยกันปรับแก้แผนผังแนวคิดให้เชื่อมโยงกันได้ครบถ้วน

S3 กล่าวว่า การทำงานกลุ่มไม่ได้แค่แบ่งงาน แต่เป็นการช่วยกันคิดว่าเราจะสอนเรื่องยากให้เข้าใจง่ายขึ้นได้อย่างไร

S4 กล่าวว่า การทำงานเป็นกลุ่มช่วยเพิ่มความมั่นใจในการออกแบบการสอน เพราะมีเพื่อนช่วยตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา

S5 กล่าวว่า เห็นคุณค่าของการแบ่งบทบาทหน้าที่ตามความถนัดของแต่ละคน ทำให้งานในชั้นเรียนออกมามีประสิทธิภาพ

S6 กล่าวว่า กระบวนการ PTRU ทำให้การทำงานกลุ่มมีเป้าหมายที่การเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นหลัก ไม่ใช่เพียงแค่ทำให้งานเสร็จตามกำหนด

โดยสรุปแล้ว พัฒนาการด้านการทำงานเป็นทีมเปลี่ยนจากการแบ่งหน้าที่ตามสิ่งไปสู่การแลกเปลี่ยนเรียนรู้เพื่อร่วมกันแก้ปัญหาการจัดการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ

(2) ด้านการใช้เทคโนโลยี

นักศึกษาเปลี่ยนจากการใช้เทคโนโลยีเพื่อการนำเสนอแบบบรรยายไปสู่การใช้เทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (Facilitation):

S1 กล่าวว่า เริ่มใช้สื่อดิจิทัลมาสร้างสถานการณ์ปัญหาเพื่อให้ผู้เรียนเกิดความสงสัยแทนการเปิดสไลด์เนื้อหาเพียงอย่างเดียว

S2 กล่าวว่า ได้นำโปรแกรมจำลองสถานการณ์ฟิสิกส์ มาให้ผู้เรียนทดลองเปลี่ยนค่าตัวแปรเพื่อหาผลลัพธ์ด้วยตนเอง

S3 กล่าวว่า การใช้ AI ช่วยออกแบบคำถามทำให้ได้ไอเดียในการกระตุ้นความคิดเด็กที่หลากหลายและตรงจุดมากขึ้น

S4 กล่าวว่า เทคโนโลยีช่วยให้เห็นภาพนามธรรมในฟิสิกส์ชัดเจน เช่น การเคลื่อนที่ของอนุภาค ทำให้สื่อสารกับนักเรียนได้ง่ายขึ้น

S5 กล่าวว่า เปลี่ยนจากการให้เด็กดูวิดีโอเฉย ๆ มาเป็นการใช้สื่อปฏิสัมพันธ์เพื่อให้เด็กคาดการณ์และตรวจสอบสมมติฐาน

S6 กล่าวว่า การเลือกเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ช่วยให้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) มีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยสรุปแล้ว นักศึกษาครูสามารถบูรณาการเทคโนโลยีในการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์เพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้เชิงสืบเสาะ มากกว่าการใช้เพื่อสื่อสารทางเดียว

(3) ด้านการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์

นักศึกษามีพัฒนาการด้านการสื่อสารจากการบอกความรู้ ไปสู่การใช้คำถามกระตุ้นและการอธิบายเชิงหลักการ

S1 กล่าวว่า ในการทดลองเรื่อง กฎของแอมแปร์ เมื่อก่อนมักจะบอกขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ให้เพื่อนทำตามสูตรทันที แต่ตอนนี้เปลี่ยนมาสื่อสารโดยเน้นให้เพื่อนพิจารณาทิศทางของกระแสไฟฟ้าและการวางตำแหน่งเซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กให้สอดคล้องกับเส้นทางปิดแอมแปร์ร่วมด้วย เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องตามหลักการ

S2 กล่าวว่า พยายามสื่อสารโดยเชื่อมโยงหลักการฟิสิกส์ที่ซับซ้อนอย่าง ปรากฏการณ์ของฮอลล์ กับ ปรากฏการณ์ที่มองเห็นภาพได้ง่าย เช่น การเปรียบเทียบการเบี่ยงเบนของประจุกับกระแสน้ำ เพื่อให้สมาชิกในทีมเห็นภาพความสัมพันธ์ของตัวแปรแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ได้ชัดเจนขึ้นก่อนเริ่มวิเคราะห์ผล

S3 กล่าวว่า ใช้คำถามกระตุ้นคิดระหว่างการทดลองเรื่อง กฎของบิโอต์-ซาวาร์ต เช่น ถ้าเราเปลี่ยนรูปร่างของลวดตัวนำให้มีความโค้งต่างไปจากเดิม สนามแม่เหล็กที่จุดวัดจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพื่อให้เพื่อนในกลุ่มได้ฝึกสืบค้นข้อมูลและอธิบายเหตุผลทางทฤษฎีก่อนสรุปผลการทดลอง

S4 กล่าวว่า การสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ช่วยให้ผมทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยการเรียนรู้ในกลุ่มปฏิบัติการ คอยชี้แนะจุดที่ควรระวังในการใช้เครื่องมือวัด คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และกระตุ้นให้เพื่อนหาคำตอบจากข้อมูลที่วัดได้จริง แทนการเฉลยค่าที่ควรจะเป็นตามทฤษฎีแมกซ์เวลล์

S5 กล่าวว่า เมื่อก่อนคิดว่าครูต้องอธิบายวิธีการใช้เครื่องมือและทฤษฎีให้ครบทุกขั้นตอนก่อน แต่พอเปลี่ยนมาให้เพื่อนในทีมลองตั้งสมมติฐานและวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนด้วยตนเองก่อนในเรื่อง ทฤษฎีแมกซ์เวลล์ พบว่าเราเห็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของเพื่อนชัดเจนและช่วยกันแก้ไขได้ตรงจุด

S6 กล่าวว่า การสื่อสารที่ดีในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทางต้องออกแบบมาให้สมาชิกกล้าตั้งคำถามเกี่ยวกับการติดตั้งอุปกรณ์ที่ผิดพลาด และกล้าลองผิดลองถูกในการปรับจูนสัญญาณภายใต้บรรยากาศการเรียนรู้ที่เป็นมิตร เพื่อให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกในปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้า

โดยสรุปแล้ว สมรรถนะด้านการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ในรายวิชาปฏิบัติการนี้ สะท้อนผ่านการเลือกใช้คำถามกระตุ้นการสืบค้นและการอธิบายหลักการทดลองที่มุ่งเน้นการสร้างแนวคิดเชิงลึกในเรื่องแม่เหล็กไฟฟ้า และการสื่อสารเพื่อแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนระหว่างการวิเคราะห์ผลการทดลองร่วมกันเป็นทีม

4.3 ตอนที่ 3 ความคิดเห็นของนักศึกษาครูเกี่ยวกับการพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพผ่านการเรียนการสอน ฟิสิกส์ตาม PTRU Model

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความคิดเห็นของนักศึกษาครูจากแบบสอบถามความคิดเห็นและการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง พบว่า นักศึกษาครูมีความคิดเห็นต่อการเรียนรู้ตาม PTRU Model ในระดับสูง และสะท้อนการเปลี่ยนแปลงในมิติของความมั่นใจทางวิชาชีพ การมองเห็นคุณค่าของการบูรณาการ และความพึงพอใจต่อระบบสนับสนุนการเรียนรู้

3.1 ผลเชิงปริมาณ: ระดับความคิดเห็นของนักศึกษาครู

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของนักศึกษาครูต่อการเรียนรู้ตาม PTRU Model

รายการประเมิน	Mean	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ส่งเสริมการทำงานร่วมกับเพื่อนและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้	4.67	0.52	มากที่สุด
2. ช่วยให้ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและสถานการณ์จำลอง	4.50	0.55	มาก
3. ช่วยพัฒนากลยุทธ์การสื่อสารและการตั้งคำถาม	4.83	0.41	มากที่สุด
รวมเฉลี่ย	4.67	0.49	มากที่สุด

จากตารางที่ 4.3 พบว่า นักศึกษาครูมีความคิดเห็นต่อการเรียนรู้ตาม PTRU Model โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.67 (S.D. = 0.49) เมื่อพิจารณาเป็นรายรายการพบว่า รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ ช่วยพัฒนากลยุทธ์การสื่อสารและการตั้งคำถาม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.83 (S.D. = 0.41) อยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมาคือ ส่งเสริมการทำงานร่วมกับเพื่อนและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 (S.D. = 0.52) อยู่ในระดับมากที่สุด และรายการที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ ช่วยให้ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและสถานการณ์จำลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 (S.D. = 0.55) ซึ่งอยู่ในระดับมาก

3.2 ผลเชิงคุณภาพ ประเด็นสำคัญจากมุมมองของนักศึกษาครู

จากการวิเคราะห์เนื้อหาการสัมภาษณ์เชิงลึกและการสะท้อนคิดหลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ นักศึกษาครูทั้ง 6 คนได้สะท้อนความคิดเห็นต่อการพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพในด้านต่าง ๆ ดังนี้

S1 กล่าวว่า “เมื่อก่อนคิดว่าครูฟิสิกส์ต้องเก่งเนื้อหาอย่างเดียว แต่ตอนนี้รู้ว่ากลยุทธ์การสื่อสารสำคัญมาก เราต้องรู้ว่าจะสื่อสารอย่างไรให้เด็กกล้าคิด กล้าถาม และเปลี่ยนจากการบอกความรู้เป็นการตั้งคำถามให้เด็กพิจารณาหลักการด้วยตนเอง”

S2 กล่าวว่า “การเรียนแบบนี้ทำให้รู้สึกว่าการฟิสิกส์ไม่ได้ยากเพราะสูตรเยอะ แต่ยากเพราะเรายังไม่เข้าใจหลักการ การได้ใช้สถานการณ์จำลอง (Simulation) เข้ามาช่วย ทำให้เราเห็นภาพความสัมพันธ์ของตัวแปรทางฟิสิกส์ชัดเจน และมั่นใจในการนำไปใช้สอนในอนาคต”

S3 กล่าวว่า “การทำงานกลุ่มไม่ใช่แค่การแบ่งงานกันทำ แต่คือการช่วยกันแลกเปลี่ยนเรียนรู้เพื่อร่วมกันคิดว่าเราจะออกแบบกลยุทธ์การสื่อสารและการใช้สื่ออย่างไรให้เรื่องที่เข้าใจยากในฟิสิกส์กลายเป็นเรื่องที่เข้าใจง่ายสำหรับเด็ก”

S4 กล่าวว่า “PTRU Model ช่วยให้เราเข้าใจบทบาทของครูฟิสิกส์อย่างเป็นระบบมากขึ้น โดยเฉพาะการทำงานเป็นทีมร่วมกับเพื่อนในการแก้ปัญหาและสืบค้นข้อมูลในห้องปฏิบัติการ ทำให้เราเห็นความเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีเฉพาะทางกับการปฏิบัติจริง”

S5 กล่าวว่า “สิ่งที่ชอบที่สุดคือการได้ลองฝึกอำนวยการเรียนรู้ด้วยตนเอง อาจารย์จะไม่รีบบอกคำตอบแต่จะใช้การตั้งคำถามให้นักศึกษาได้ลองคิดและลองผิดลองถูกก่อน ทำให้เราเห็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของตัวเองชัดเจนขึ้นและจดจำได้นานกว่าเดิม”

S6 กล่าวว่า “การเป็นครูไม่ใช่แค่สอนบทเรียนให้จบตามตาราง แต่ต้องเป็นผู้ออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้ โดยการบูรณาการทั้งเทคโนโลยีและวิธีสอนเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างบรรยากาศที่เอื้อต่อการเรียนรู้ที่ผู้เรียนมีส่วนร่วมจริง ๆ”

โดยสรุปแล้ว นักศึกษาครูทุกคนมีความเห็นไปในทิศทางเดียวกันว่า การจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ช่วยเสริมสร้างสมรรถนะทางวิชาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาบรรยากาศการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการกล้าคิดและลองผิดลองถูก การมีกลยุทธ์ในการตั้งคำถามเพื่อสร้างแนวคิดเชิงลึก และการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นเครื่องมือในการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งส่งผลให้นักศึกษามีความมั่นใจในการเป็นครูฟิสิกส์ในศตวรรษที่ 21 ได้อย่างเป็นมืออาชีพ

นักศึกษาครูมีความคิดเห็นต่อการเรียนรู้ตาม PTRU Model ในระดับดีมาก และมองว่ารูปแบบดังกล่าวช่วยเสริมสร้างความมั่นใจทางวิชาชีพ ทำให้เห็นภาพรวมของการเป็นครูฟิสิกส์อย่างเป็นระบบ และสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการพัฒนาตนเองทั้งด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติ

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูผ่านการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกของนักศึกษาครูในวิชาฟิสิกส์ 2) เปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครูก่อนและหลังการเรียนการสอน และ 3) สำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาครูที่มีต่อการพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพผ่านการเรียนการสอนดังกล่าว โดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักศึกษาครู สาขาฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 2 จำนวน 6 คน ผู้วิจัยสามารถสรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ การจัดการเรียนการสอนตาม PTRU Model ช่วยยกระดับแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ของนักศึกษาครูอย่างชัดเจน โดยพบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (23.17 คะแนน หรือร้อยละ 77.22) สูงกว่าก่อนเรียน (11.17 คะแนน หรือร้อยละ 37.22) ในส่วนของผลเชิงคุณภาพพบว่า นักศึกษาครูทั้ง 6 คน (S1-S6) มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะความเข้าใจจากเดิมที่พึ่งพาการท่องจำสูตรในคู่มือปฏิบัติการ ไปสู่การอธิบายปรากฏการณ์ด้วยหลักการทางฟิสิกส์ สามารถเชื่อมโยงแนวคิดเป็นโครงสร้างที่ชัดเจนในหัวข้อที่ซับซ้อน เช่น กฎของแอมแปร์ กฎของบีโอดี-ซาวาร์ต ปรากฏการณ์ของฮอลล์ และทฤษฎีแมกซ์เวลล์ ตลอดจนสามารถถ่ายโอนความรู้ไปใช้ออกแบบสถานการณ์การสอนใหม่ ๆ ได้

5.1.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิชาชีพ 3 ด้าน นักศึกษาครูมีสมรรถนะทางวิชาชีพหลังการพัฒนาสูงกว่าก่อนการพัฒนาในทุกด้าน โดยมีค่าเฉลี่ยรวมหลังเรียนเท่ากับ 4.38 (ระดับสูง) เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนที่มีค่าเฉลี่ย 2.77 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านการใช้เทคโนโลยี มีพัฒนาการสูงสุด (ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.00 อยู่ในระดับสูงมาก) รองลงมาคือ ด้านการทำงานเป็นทีม (ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.50 อยู่ในระดับสูง) และ ด้านการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ (ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.33 อยู่ในระดับสูง) ซึ่งผลเชิงคุณภาพชี้ให้เห็นว่า นักศึกษาเปลี่ยนจากการทำงานแบบแยกส่วนมาเป็นการร่วมสร้างความรู้ ใช้สถานการณ์จำลอง (Simulation) เพื่ออำนวยความสะดวกการเรียนรู้แทนการบรรยาย และใช้คำถามกระตุ้นคิดแทนการเฉลยคำตอบ

5.1.3 ความคิดเห็นของนักศึกษาครูต่อการเรียนรู้ตาม PTRU Model นักศึกษาครูมีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการเรียนรู้ผ่าน PTRU Model ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ยรวม 4.67, S.D. = 0.49) โดยรายการประเมินที่ได้รับคะแนนสูงสุดคือ รูปแบบนี้ช่วยพัฒนากลยุทธ์การสื่อสารและการตั้งคำถาม (ค่าเฉลี่ย 4.83) สะท้อนให้เห็นว่า นักศึกษาครูมีความมั่นใจในบทบาทของตนเองมากขึ้น มองเห็นคุณค่าของการบูรณาการระหว่างเนื้อหาฟิสิกส์ เทคโนโลยี และวิธีการสอน ภายใต้อบรมภาคการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้กล้าคิดและลองผิดลองถูก

5.2 การอภิปรายผล

จากผลการวิจัยข้างต้น สามารถนำมาอภิปรายผลให้เห็นถึงความสอดคล้องกับแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ดังนี้

5.2.1 การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกในฟิสิกส์ ผลการวิจัยที่พบว่านักศึกษามีคะแนนแนวคิดเชิงลึกสูงขึ้นและสามารถอธิบายหลักการทดลองได้อย่างเป็นระบบนั้น เป็นผลมาจากการจัดกระบวนการเรียนรู้ตาม PTRU Model ที่ออกแบบมาอย่างเป็นขั้นตอน โดยเฉพาะใน ระยะ T (Theory & Technology) ที่บูรณาการโปรแกรมจำลองสถานการณ์เข้ากับการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนมองเห็นภาพนามธรรมของสนามแม่เหล็กหรือพฤติกรรมของประจุไฟฟ้าในปรากฏการณ์ฮอลล์ให้เป็นรูปธรรมได้ นอกจากนี้ ใน ระยะ R (Research & Reflection) ยังเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Error Analysis) จากการทดลองด้วยตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dessie et al. (2023) ที่ระบุว่าการจัดการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรงและการสะท้อนคิด ช่วยส่งเสริมความเข้าใจเชิงมโนทัศน์ (Conceptual understanding) ให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น และสอดคล้องกับ Anam et al. (2020) ที่ยืนยันว่าการเปลี่ยนความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนต้องอาศัยการเชื่อมโยงความรู้สู่การปฏิบัติจริง

5.2.2 การพัฒนาสมรรถนะทางวิชาชีพของนักศึกษาครู การที่นักศึกษามีพัฒนาการด้านสมรรถนะทางวิชาชีพอย่างก้าวกระโดด โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีและการสื่อสารอย่างมีกลยุทธ์ อภิปรายได้ว่า PTRU Model เป็นกรอบที่บังคับให้ผู้เรียนต้องเปลี่ยนบทบาทจาก ผู้รับความรู้ เป็นผู้ออกแบบการเรียนรู้ โดยใน ระยะ U (Utility & Universal) นักศึกษาต้องนำความรู้ที่ได้ไปออกแบบการสอนแบบจุลภาค (Micro-teaching) ทำให้ต้องฝึกฝนการใช้เครื่องมือดิจิทัลเพื่ออำนวยความสะดวก และฝึกตั้งคำถามกระตุ้นคิด (Socratic questioning) เพื่อนำทางเพื่อนในกลุ่ม การที่นักศึกษาได้ร่วมกันแก้ปัญหาในการติดตั้งอุปกรณ์และอภิปรายผลในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เฉพาะทาง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khoiri et al. (2019) ที่พบว่ารายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์เป็นบริบทที่ทรงพลังที่สุดในการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันอย่างมืออาชีพ ซึ่งตอบสนองต่อเป้าหมายการผลิตบัณฑิตครูฐานสมรรถนะของมหาวิทยาลัยราชภัฏ (ประพันธ์ศิริ สุเสารัจ, 2566)

5.2.3 ความคิดเห็นของนักศึกษาครูต่อรูปแบบการเรียนรู้ ความคิดเห็นในระดับ "มากที่สุด" ของนักศึกษาครู โดยเฉพาะในประเด็นการพัฒนากลยุทธ์การสื่อสารและการตั้งคำถาม เกิดจากการที่ PTRU Model สร้างพื้นที่ปลอดภัย (Safe space) ทางวิชาการ ผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก (Facilitator) ที่ไม่รีบด่วนเฉลยคำตอบ แต่กระตุ้นให้ผู้เรียนคิดและสะท้อนมุมมอง ทำให้ความกดดันจากการกลัวตอบผิดลดลง การที่ผู้เรียนมองเห็นความเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีแมกซ์เวลล์ที่ยากซับซ้อนกับการนำไปประยุกต์สอนได้จริง ทำให้เกิดความรู้สึกภาคภูมิใจและรับรู้ตัวตนทางวิชาชีพ (Professional Identity) ที่ชัดเจนขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ควรส่งเสริมให้ใช้ PTRU Model ในรายวิชาฟิสิกส์สำหรับนักศึกษาครูอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า PTRU Model สามารถพัฒนาได้ทั้งแนวคิดเชิงลึกและสมรรถนะทางวิชาชีพ จึงควรนำไปประยุกต์ใช้ในรายวิชาฟิสิกส์หรือรายวิชาวิธีสอนฟิสิกส์อย่างเป็นระบบ
2. ควรออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการคิด อภิปราย ทดลอง และสะท้อนคิด การเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเชิงลึกควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เผชิญปัญหา วิเคราะห์สถานการณ์ อธิบายเหตุผล และทบทวนความคิดของตนเอง มากกว่าการบรรยายหรือให้จำสูตรเพียงอย่างเดียว
3. ควรบูรณาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างมีเป้าหมายทางการสอน ผู้สอนควรเลือกใช้โปรแกรมจำลองสื่อดิจิทัล หรือ AI อย่างเหมาะสมกับธรรมชาติของเนื้อหา เพื่อช่วยให้แนวคิดนามธรรมในฟิสิกส์มองเห็นได้ชัดเจน และกระตุ้นการมีส่วนร่วมของผู้เรียน
4. ควรส่งเสริมบรรยากาศการเรียนรู้ที่ปลอดภัยทางความคิด การพัฒนาแนวคิดเชิงลึกและสมรรถนะวิชาชีพจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อผู้เรียนรู้สึกว่าคุณสามารถตั้งคำถาม แสดงความคิดเห็น และเรียนรู้จากข้อผิดพลาดได้โดยไม่ถูกตัดสิน
5. ควรใช้การประเมินที่หลากหลายและสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนา นอกจากการใช้แบบทดสอบ ควรมีการประเมินจากใบงาน การอภิปราย ผลงานออกแบบกิจกรรม แผนการสอน การสังเกตพฤติกรรม และการสะท้อนคิด เพื่อให้เห็นพัฒนาการของผู้เรียนอย่างรอบด้าน
6. ควรใช้กระบวนการทำงานร่วมกันเพื่อพัฒนาสมรรถนะครู การจัดให้ผู้เรียนทำงานเป็นทีม แลกเปลี่ยนความคิดเห็น วิพากษ์และปรับปรุงผลงานร่วมกัน จะช่วยส่งเสริมทั้งการคิดเชิงวิชาการและทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่น ซึ่งเป็นสมรรถนะสำคัญของครูมืออาชีพ

5.3.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและเชิงสถาบัน

1. สถาบันผลิตครูควรสนับสนุนการพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนที่บูรณาการความรู้เนื้อหา วิธีสอน เทคโนโลยี และการสะท้อนคิดวิชาชีพเข้าด้วยกัน
2. ควรจัดระบบพัฒนาอาจารย์ผู้สอนให้สามารถใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกและเทคโนโลยีร่วมสมัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ควรสนับสนุนทรัพยากรการเรียนรู้ เช่น ห้องเรียนที่ยืดหยุ่น สื่อทดลอง โปรแกรมจำลอง และระบบดิจิทัลที่เอื้อต่อการเรียนรู้เชิงลึก
4. ควรเชื่อมโยงการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยกับการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูในโรงเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้ทดลองประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทจริง

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษากับกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถสรุปผลได้กว้างขวางและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ควรขยายจำนวนกลุ่มตัวอย่างและศึกษากับนักศึกษาครูในหลายสาขาหรือหลายสถาบัน
2. ควรศึกษาด้วยการออกแบบการวิจัยกึ่งทดลองหรือเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เพื่อให้เห็นผลของ PTRU Model ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ควรเปรียบเทียบกับการจัดการเรียนการสอนแบบปกติ หรือรูปแบบอื่นที่มีลักษณะแตกต่างกัน
3. ควรศึกษาผลระยะยาวของการพัฒนา เช่น การติดตามผลว่านักศึกษาครูยังคงมีแนวคิดเชิงลึกและสมรรถนะทางวิชาชีพในระดับสูงหรือไม่เมื่อเข้าสู่การฝึกสอนหรือการปฏิบัติงานจริง
4. ควรศึกษาตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เช่น ความสามารถในการออกแบบการสอน ความเชื่อมั่นในตนเองทางวิชาชีพ ความคิดสร้างสรรค์ในการสอน ทักษะการสะท้อนคิด หรือความสามารถในการใช้ AI เพื่อการเรียนการสอน
5. ควรพัฒนาเครื่องมือวัดแนวคิดเชิงลึกและสมรรถนะวิชาชีพให้ครอบคลุมมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องมือที่สามารถสะท้อนทั้งมิติความรู้ กระบวนการคิด การประยุกต์ใช้ และพฤติกรรมเชิงวิชาชีพในสถานการณ์จริง
6. ควรศึกษาการประยุกต์ใช้ PTRU Model ในวิชาอื่นหรือระดับการศึกษาอื่น เช่น เคมี ชีววิทยา วิทยาศาสตร์ทั่วไป หรือแม้แต่การศึกษาขั้นพื้นฐาน เพื่อดูว่ารูปแบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในบริบทที่หลากหลายเพียงใด

บรรณานุกรม

- กรมการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม. (2566). *หลักสูตรผลิตครูฐานสมรรถนะ มหาวิทยาลัยราชภัฏ (PTRU Model)*. ที่ประชุมอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏ.
- คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (2568). *แผนการจัดการเรียนรู้วิชา PHYED2207 ปฏิบัติการฟิสิกส์ เฉพาะทาง 1 ตามรูปแบบ PTRU Model*.
- ประพันธ์ศิริ สุเสารัจ. (2566). *การพัฒนาสมรรถนะวิชาชีพครูในศตวรรษที่ 21*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Akhyar, Y. (2023). Teachers' Pre-Service Programs Curriculum to Prepare Professional Teachers at Education Faculties. *Indonesian Journal of Islamic Educational Management*, 6(2), 72. <https://doi.org/10.24014/ijiem.v6i2.25044>
- Anam, K., & Widiyanto, W. (2020). Improving physics conceptual understanding for pre-service teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2), 022020.
- Anam, R. S., Widodo, A. P. A., & Sopandi, W. (2020). Conceptual Change Texts to Improve Teachers' Misconception at Verbal and Visual Representation on Heat Conduction Concept. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 16(2), 63. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v16i2.20742>
- Buatip, S., Chaivisuthangkura, P., & Khumwong, P. (2019). Enhancing Science Teaching Competency among Pre-Service Science Teachers through Blended-Mentoring Process. *International Journal of Instruction*, 12(3), 289. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12318a>
- Dessie, E., Gebeyehu, D., & Eshetu, F. (2023). Enhancing critical thinking, metacognition, and conceptual understanding in introductory physics: The impact of direct and experiential instructional models. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 19(7). <https://doi.org/10.29333/ejmste/13273>
- Dessie, M., & Getahun, D. (2023). Deep conceptual understanding in physics education: A systematic review. *Educational Research Review*.
- Diery, A., Vogel, F., Knogler, M., & Seidel, T. (2020). Evidence-Based Practice in Higher Education: Teacher Educators' Attitudes, Challenges, and Uses. *Frontiers in Education*, 5. <https://doi.org/10.3389/educ.2020.00062>
- Intapong, S. (2025). *Developing a STEAM4INNOVATOR Learning Process Using a Leaf-Press Machine to Enhance Students' Innovation and Environmental Problem-Solving Skills*.

- Keesookpun, B., Jitsupa, J., & Koednat, A. (2022). Model of Preparing Teacher Students for the Examination for a Teacher License According to the Competency Criteria of the Teachers' Council of Thailand. *International Education Studies*, 15(3), 95. <https://doi.org/10.5539/ies.v15n3p95>
- Khoiri, A., & Sunarno, W. (2019). The effectiveness of specialized physics laboratory in developing professional competencies. *International Journal of Instruction*, 12(1), 15-30.
- Khoiri, N., Rusilawati, A., Wiyanto, W., Sulhadi, S., & Susilawati, S. (2019). Laboratory Work Package with Authentic Assessment to Develop Collaborative Performance Skills of Physics Education Students. *KnE Social Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i18.4734>
- Kuayngern, B., & Klomim, K. (2023). Upgrading the Potential with Competency-Based Learning Management Innovation Integration with Work to Enhance Students' Ability in Practice Teaching Professional Experience. *Hong Kong Journal of Social Sciences*, 60. <https://doi.org/10.55463/hkjss.issn.1021-3619.60.79>
- Lichtenberger, A., Hofer, S., Stern, E., & Vaterlaus, A. (2024). Enhanced conceptual understanding through formative assessment: results of a randomized controlled intervention study in physics classes. *Educational Assessment Evaluation and Accountability*, 37(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s11092-024-09445-6>
- Polgampala, A. S. V. (2017). STEM Teacher Education and Professional Development and Training: Challenges and Trends. *American Journal of Applied Psychology*, 6(5), 93. <https://doi.org/10.11648/j.ajap.20170605.12>
- Simanjuntak, Y. L. P., Sari, S. D., & Barus, E. L. B. (2024). ANALISIS MODEL PEMBELAJARAN AKTIF BERBASIS PROYEK UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN KONSEP FISIKA. *JURNAL PENELITIAN BIDANG PENDIDIKAN*, 30(1), 81. <https://doi.org/10.24114/jpbbp.v30i1.57015>

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - สกุล นางสาวปรีดาภรณ์ สุวรรณดี
วัน เดือน ปี เกิด 14 ตุลาคม 2536
ที่อยู่ปัจจุบัน
เลขที่ 462 ถนน กาสะลอง ตำบล รีมกก
อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงราย

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2563	วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยนเรศวร
พ.ศ. 2560	คบ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2566- ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำและอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
พ.ศ. 2563-2566	ครู กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์) โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย