Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus
Vol.37 No.3 September - December 2026, pp. 18-30

Academic Article

STEM Project-Based Learning (STEM-PBL): Strategies for Creating Innovators in the Thai Vocational Education Context

Sukritpol Chotautthapol[1]*
M.Ed. (Science Education), Master Student
Suthida Chamrat[2]
Ph.D. (Science Education), Associate Professor
Surasak Maotuak[3]
Ph.D. (Science Education), Lecturer
[1,2,3] Faculty of Education, Chiang Mai University
*Corresponding author: Sukritpol_ch@cmu.ac.th

Received: December 22, 2025/ **Revised:** April 25, 2026/ **Accepted:** May 15, 2026

Abstract

This academic article aims to present a learning management paradigm using STEM Project-Based Learning (STEM-PBL) as a strategic tool for developing innovativeness in vocational students. Amidst the dynamic changes of the 21st century, the Thai vocational education system faces the critical challenge of transitioning students from passive operators to active innovators. The authors synthesized relevant documents and research to propose a new conceptual framework. First, the framework synthesizes 8 indicators of innovativeness for vocational students: 1) in-depth questioning and knowledge seeking, 2) systematic analysis and problem solving, 3) creative thinking and ideation, 4) associational thinking, 5) effective communication, 6) collaboration and networking, 7) perseverance and resilience, and 8) adaptability and flexibility. Second, to cultivate these 8 characteristics, the framework integrates a systematic 6-step learning process: 1) Challenging Questioning, 2) Research and Information Gathering, 3) Problem-Focused Planning and Design, 4) Creation and Development, 5) Testing and Iteration, and 6) Presentation and Communication. The article also analyzes the functional relationship mechanism between the learning steps and the target characteristics, demonstrating how STEM-PBL creates an ecosystem conducive to innovation. The proposed concept serves as a guideline for administrators and instructors to design a sustainable and modern vocational learning ecosystem.

Keywords: STEM project-based learning, Innovativeness, Vocational students, Learning model development

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
ปีที่ 37 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน - ธันวาคม 2569, หน้า 18-30

บทความวิชาการ

โครงงานสะเต็ม (STEM-PBL): กลยุทธ์การสร้างนวัตกรในบริบทอาชีวศึกษาไทย

สุกฤษฎิ์พล โชติอรรฐพล[1*]
ศษ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา), นักศึกษาปริญญาโท
สุทธิดา จำรัส[2]
ปร.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา), รองศาสตราจารย์
สุรศักดิ์ เมาเทือก[3]
ปร.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา), อาจารย์
[1,2,3]คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
*ผู้ประสานงาน: Sukritpol_ch@cmu.ac.th

วันรับบทความ: 22 ธันวาคม 2567/ **วันแก้ไขบทความ:** 25 เมษายน 2568/ **วันตอบรับบทความ:** 15 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็ม (STEM-PBL) ในฐานะเครื่องมือเชิงกลยุทธ์สำหรับการพัฒนาความเป็นนวัตกร (Innovativeness) ของผู้เรียนอาชีวศึกษา ท่ามกลางกระแสความเปลี่ยนแปลงในศตวรรษที่ 21 ระบบอาชีวศึกษาไทยเผชิญความท้าทายสำคัญในการเปลี่ยนผ่านผู้เรียนจากผู้ปฏิบัติงานตามคำสั่งสู่การเป็น "นวัตกร" (Innovator) ผู้เขียนได้สังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำเสนอกรอบแนวคิดใหม่ ผลการสังเคราะห์ประการแรก ได้คุณลักษณะความเป็นนวัตกรของนักศึกษาอาชีวศึกษา 8 ประการ ได้แก่ 1) การตั้งคำถามและแสวงหาความรู้เชิงลึก 2) การวิเคราะห์สถานการณ์และแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ 3) การคิดสร้างสรรค์และพัฒนาแนวคิดใหม่ 4) การเชื่อมโยงความรู้และบูรณาการแนวคิด 5) การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพและสร้างสรรค์ 6) การสร้างความร่วมมือและเครือข่ายกับผู้อื่น 7) ความมุ่งมั่นและอดทนต่ออุปสรรค และ 8) การปรับตัวและยืดหยุ่นตามสถานการณ์ ประการที่สอง เพื่อบ่มเพาะคุณลักษณะดังกล่าว ผู้เขียนได้บูรณาการกระบวนการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การตั้งคำถามที่ท้าทายและน่าสนใจ 2) การค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล 3) การวางแผนและออกแบบโครงงานเน้นการแก้ปัญหา 4) การสร้างชิ้นงานตามแบบแผน 5) การทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน และ 6) การนำเสนอและสื่อสารความคิด บทความนี้ได้วิเคราะห์กลไกความสัมพันธ์เชิงหน้าที่ (Functional Relationship) ระหว่างขั้นตอนการเรียนรู้กับคุณลักษณะเป้าหมาย แสดงให้เห็นว่า STEM-PBL สามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดนวัตกรรมได้อย่างไร แนวคิดที่นำเสนอนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารและครูผู้สอนในการออกแบบนิเวศการเรียนรู้อาชีวศึกษายุคใหม่ให้เข้มแข็งและยั่งยืน

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็ม ความเป็นนวัตกร นักศึกษาอาชีวศึกษา การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้

บทนำ

ในบริบทของศตวรรษที่ 21 โลกกำลังเผชิญกับกระแสความเปลี่ยนแปลงอย่างพลิกผัน (Disruption) อันเนื่องมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและนวัตกรรม ส่งผลให้โครงสร้างทางเศรษฐกิจและสังคมของทุกประเทศต้องปรับตัวอย่างเร่งด่วน รายงาน The Future of Jobs Report (World Economic Forum, 2023) ระบุว่าทักษะการคิดวิเคราะห์ ความคิดสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน เป็นสมรรถนะที่ตลาดแรงงานทั่วโลกต้องการมากที่สุดในทศวรรษหน้า สอดคล้องกับงานของ OECD (2019) ที่เสนอกรอบ Learning Compass 2030 มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้เป็น "ผู้ก่อการ" (Agency) ของการสร้างสรรค์ความเปลี่ยนแปลง ประเทศไทยภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) (Office of the National Economic and Social Development Council, 2017) ได้กำหนดเป้าหมายสำคัญในการยกระดับประเทศสู่การเป็น "ประเทศแห่งนวัตกรรม" (Innovation Nation) โดยมุ่งเน้นการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะอย่างยิ่งทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 (Office of the Education Council, 2017) จึงได้กำหนดกรอบทิศทางให้ระบบการศึกษาต้องเร่งสร้าง "นวัตกร" (Innovator) หรือผู้ที่มีความสามารถในการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ที่มีมูลค่า เพื่อเป็นกลไกหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศให้หลุดพ้นจากกับดักรายได้ปานกลาง (Wagner, 2018; Ruchiwit et al., 2019)

ระบบอาชีวศึกษาถือเป็นกำลังสำคัญของการผลิตกำลังคนระดับเทคนิคเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ปัจจุบันสะท้อนให้เห็นว่า อาชีวศึกษาไทยยังเผชิญกับความท้าทายเชิงโครงสร้างที่สำคัญ ผลการศึกษาของ Pasawano (2019) ที่วิเคราะห์สถานภาพอาชีวศึกษาไทย พบว่าผู้สำเร็จการศึกษาส่วนหนึ่งยังขาดสมรรถนะด้านการคิดเชิงระบบและสมรรถนะด้านนวัตกรรมที่เพียงพอต่อความต้องการของภาคประกอบการ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruchiwit et al. (2019) ที่พบว่ารูปแบบการจัดการเรียนการสอนส่วนใหญ่ ยังคงเน้นการถ่ายทอดความรู้เชิงทฤษฎี (Lecture-based) หรือการฝึกปฏิบัติทักษะพื้นฐานตามใบงาน (Worksheet-based) ซึ่งเป็นการผลิตผู้เรียนในลักษณะ "ผู้ปฏิบัติงานตามคำสั่ง" (Operator) มากกว่าการบ่มเพาะให้เป็น "ผู้สร้างสรรค์นวัตกรรม" (Innovator) ในเชิงประจักษ์ การประเมินสมรรถนะผู้สำเร็จอาชีวศึกษาของ Office of the Vocational Education Commission (2023) ชี้ว่ามีเพียงร้อยละน้อยของผู้สำเร็จที่สามารถบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์เพื่อสร้างผลงานนวัตกรรมที่ใช้งานได้จริง โดยส่วนใหญ่จะถนัดงานที่มีลำดับขั้นตอนชัดเจน (Routine task) มากกว่างานที่ต้องใช้การตัดสินใจเชิงสร้างสรรค์ (Non-routine task) นอกจากนี้ ความขาดแคลนเครื่องมือและทรัพยากรที่ทันสมัย รวมถึงการขาดการบูรณาการความรู้ข้ามศาสตร์ ยังเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในโลกความเป็นจริงได้ (Honey et al., 2014) ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นข้อท้าทายเร่งด่วนที่อาชีวศึกษาไทยต้องเร่งปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ (Paradigm shift) ของการจัดการเรียนรู้ให้ตอบโจทย์การสร้างนวัตกรอย่างจริงจัง (Bianchi & Giorcelli, 2019)

เนื้อเรื่อง

การนำเสนอแนวทางการสร้างนวัตกรในบริบทอาชีวศึกษาผ่านกระบวนการ STEM-PBL ผู้เขียนได้สังเคราะห์องค์ความรู้จากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) พลวัตของความเป็นนวัตกรและการถอดรหัสคุณลักษณะนวัตกรอาชีวศึกษา 2) รากฐานทฤษฎีและรูปแบบการจัดการเรียนรู้ STEM-PBL และ 3) กลไกความสัมพันธ์เชิงหน้าที่ในการขับเคลื่อนความเป็นนวัตกร

1. พลวัตของความเป็นนวัตกรและการถอดรหัสคุณลักษณะนวัตกรอาชีวศึกษา (The Dynamics of Innovativeness)

คำว่า "นวัตกร" (Innovator) มักถูกเข้าใจสับสนกับคำว่า "นักประดิษฐ์" (Inventor) หรือ "ผู้มีความคิดสร้างสรรค์" (Creative Person) แต่ในทางทฤษฎีแล้ว นวัตกรมีความหมายที่ลึกซึ้งกว่านั้น จากการสังเคราะห์ทัศนะของนักวิชาการชั้นนำ เช่น Rogers (1983) และ Dyer et al. (2011) พบว่า นวัตกรคือบุคคลที่สามารถ "เปลี่ยนความคิดสร้างสรรค์ให้เป็นมูลค่า" (Implementation & Value Creation) นวัตกรไม่ใช่เพียงผู้ที่คิดสิ่งใหม่ได้ แต่ต้องเป็นผู้ที่กล้าเสี่ยง ลงมือทำ และมีความมุ่งมั่นที่จะผลักดันให้ความคิดนั้นเกิดขึ้นจริงและเป็นประโยชน์ต่อสังคม สอดคล้องกับ Schumpeter (1934, อ้างถึงใน OECD/Eurostat, 2018) ที่นิยามว่านวัตกรรมจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อความคิดถูกนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์หรือเชิงปฏิบัติ และ Mansfeld et al. (2010) ที่ชี้ว่านวัตกรเป็นบุคคลที่มี "บทบาทส่งเสริม" (Promoter Roles) ในการผลักดันแนวคิดผ่านอุปสรรคต่าง ๆ ให้สำเร็จ ในขณะที่นักวิชาการไทย เช่น Sutthawart & Chuntuk (2016) และ Piyarungsi et al. (2022) ก็เน้นย้ำว่านวัตกรในบริบทไทยต้องประกอบด้วยทั้งความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) ความกล้าที่จะลงมือทำ (Risk taking) และจริยธรรมในการสร้างนวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อส่วนรวม

เพื่อให้เกิดความชัดเจนทางวิชาการ ผู้เขียนแยกแยะคำสองคำที่เกี่ยวข้องดังนี้ "นวัตกร" (Innovator) หมายถึง บุคคล (Person) ผู้ทำหน้าที่ริเริ่ม ขับเคลื่อน และปฏิบัติให้นวัตกรรมเกิดขึ้น ในขณะที่ "ความเป็นนวัตกร" (Innovativeness) หมายถึง คุณลักษณะหรือสมรรถนะ (Trait/Competency) ที่บุคคลนั้นแสดงออก ซึ่งครอบคลุมทั้งทางด้านปัญญา (Cognitive) จิตพิสัย (Affective) และพฤติกรรม (Behavioral) (Mansfeld et al., 2010; Dyer et al., 2011) บทความนี้จึงให้ความสำคัญกับการพัฒนา "ความเป็นนวัตกร" ในตัวผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนเติบโตเป็น "นวัตกร" ในที่สุด ในบริบทของอาชีวศึกษา ซึ่งเน้นทักษะการปฏิบัติวิชาชีพ "ความเป็นนวัตกร" (Innovativeness) จึงไม่ได้หมายถึงอัจฉริยภาพที่มีมาแต่กำเนิด แต่เป็นชุดของพฤติกรรมและทักษะ (Behavioral Skills) ที่สามารถฝึกฝนและพัฒนาได้ (Wagner, 2018; Tsybulsky & Muchnik-Rozanov, 2019) จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์เอกสารวิชาการ งานวิจัย และแนวคิดของผู้เชี่ยวชาญทั้งในและต่างประเทศ จำนวน 8 แหล่งข้อมูลสำคัญ ดังแสดงในตาราง 1 ผู้เขียนได้สังเคราะห์คุณลักษณะร่วม (Commonalities) ที่เป็นแก่นแท้ของนวัตกร และกำหนดเป็น "8 ตัวชี้วัดความเป็นนวัตกรสำหรับนักศึกษาอาชีวศึกษา" ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 การตั้งคำถามและแสวงหาความรู้เชิงลึก (In-depth Questioning and Knowledge Seeking) นวัตกรเริ่มต้นจากความสงสัย ไม่ยอมรับสิ่งที่เป็นอยู่ (Status Quo) แต่ตั้งคำถามว่า "ทำไม" และ "ทำไมไม่" รวมถึงมีความกระตือรือร้นในการสืบค้นข้อมูลเพื่อหาคำตอบที่ลึกซึ้งกว่าผิวเผิน

1.2 การวิเคราะห์สถานการณ์และแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ (Systematic Analysis and Problem Solving) ความสามารถในการมองปัญหาเป็นกระบวนการ แยกแยะสาเหตุและผลกระทบ และวางแผนการแก้ไขอย่างเป็นขั้นตอน ไม่ใช่การเดาสุ่ม หรือแก้ปัญหาเฉพาะหน้าไปวันๆ

1.3 การคิดสร้างสรรค์และพัฒนาแนวคิดใหม่ (Creative Thinking and Ideation) ความกล้าที่จะคิดนอกกรอบ (Think outside the box) เพื่อเสนอทางเลือกที่แตกต่าง พัฒนาวิธีการใหม่ๆ ที่ไม่เคยมีมาก่อน หรือปรับปรุงสิ่งเดิมให้ดียิ่งขึ้น

1.4 การเชื่อมโยงความรู้และบูรณาการแนวคิด (Associational Thinking) ทักษะในการนำองค์ความรู้จากศาสตร์ที่แตกต่างกัน (เช่น นำความรู้ด้านไฟฟ้ามาผสมผสานกับการออกแบบศิลปะ) มาบูรณาการเข้าด้วยกันเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรม ซึ่งเป็นทักษะขั้นสูงที่ Dyer et al. (2011) เรียกว่า "DNA ของนวัตกร"

1.5 การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพและสร้างสรรค์ (Effective Communication) นวัตกรรมที่ดีจะไร้ค่าหากไม่สามารถสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจได้ นวัตกรต้องมีความสามารถในการ "ขายไอเดีย" เล่าเรื่องราว (Storytelling) และนำเสนอความคิดที่ซับซ้อนให้เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

1.6 การสร้างความร่วมมือและเครือข่ายกับผู้อื่น (Collaboration and Networking) ในโลกยุคใหม่นวัตกรรมมักเกิดจากการทำงานเป็นทีม นวัตกรต้องรู้จักใช้จุดแข็งของผู้อื่น เปิดใจรับฟังความคิดเห็น และสร้างเครือข่ายความร่วมมือเพื่อให้งานสำเร็จ

1.7 ความมุ่งมั่นและอดทนต่ออุปสรรค (Perseverance and Resilience) เส้นทางของนวัตกรรมเต็มไปด้วยความล้มเหลว คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดจึงไม่ใช่ความฉลาด แต่คือความมุ่งมั่นและอดทน ความสามารถในการลุกขึ้นสู้ใหม่เมื่อล้มเหลว และมองความผิดพลาดเป็นบทเรียน

1.8 การปรับตัวและยืดหยุ่นตามสถานการณ์ (Adaptability and Flexibility) ความพร้อมที่จะปรับเปลี่ยนแผนงาน (Pivot) เมื่อสถานการณ์เปลี่ยนไป หรือเมื่อผลการทดสอบไม่เป็นไปตามคาด ไม่ยึดติดกับวิธีการเดิมๆ อย่างตายตัว

ภูมิหลังและคุณลักษณะของนักศึกษาอาชีวศึกษาไทยในฐานะกลุ่มเป้าหมาย (Background of Thai Vocational Students)

การพัฒนาความเป็นนวัตกรในนักศึกษาอาชีวศึกษาไทยจำเป็นต้องเข้าใจภูมิหลังของผู้เรียนกลุ่มนี้อย่างลึกซึ้ง ตามทฤษฎีพัฒนาการทางอาชีพของ Holland (1997) บุคคลที่เลือกเรียนสายอาชีวศึกษาส่วนใหญ่มีบุคลิกภาพแบบสัจการ (Realistic Type) คือชอบงานที่เป็นรูปธรรม ใช้มือปฏิบัติ และเรียนรู้จากการลงมือทำมากกว่าการอ่านตำรา สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ของ Kolb (1984) ที่อธิบายว่าผู้เรียนกลุ่มนี้มักมีรูปแบบการเรียนรู้แบบ Concrete Experience และ Active Experimentation ผลการศึกษาของ Pasawano (2019) และ Office of the Vocational Education Commission (2023) พบว่าผู้เรียนอาชีวศึกษาไทยส่วนใหญ่มาจากครอบครัวรายได้ปานกลางถึงต่ำ มีต้นทุนทางวัฒนธรรม (Cultural Capital) ที่จำกัด และมีแรงจูงใจหลักในการเรียนเพื่อการประกอบอาชีพ การจัดการเรียนรู้สำหรับกลุ่มนี้จึงควรเชื่อมโยงกับสถานการณ์จริงในวิชาชีพ และสร้างประสบการณ์ความสำเร็จเล็ก ๆ (Mastery Experience) ตามทฤษฎีการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-Efficacy Theory) ของ Bandura (1997) เพื่อสร้างความมั่นใจและแรงจูงใจภายในให้พัฒนาเป็นนวัตกร นอกจากนี้ ทฤษฎี Self-Determination Theory ของ Deci & Ryan (2000) ยังชี้ว่าการเติมเต็มความต้องการพื้นฐานทางจิตใจ 3 ด้าน คือ Autonomy, Competence และ Relatedness เป็นเงื่อนไขสำคัญในการบ่มเพาะแรงจูงใจในการเรียนรู้และการสร้างนวัตกรรม

ผู้ขับเคลื่อนกลไกความเป็นนวัตกรในบริบทอาชีวศึกษาไทย (Drivers of Innovativeness in Thai Vocational Education)

การบ่มเพาะความเป็นนวัตกรไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่จำเป็นต้องอาศัย "ผู้ขับเคลื่อน" (Drivers) ที่ทำงานเชื่อมโยงกันเป็นระบบ จากการสังเคราะห์ของ Mansfeld et al. (2010) และ Wagner (2018) ผู้ขับเคลื่อนกลไกความเป็นนวัตกรในบริบทอาชีวศึกษาไทยประกอบด้วย 4 ฝ่ายหลัก ได้แก่ (1) ครูผู้สอน (Teacher) ในฐานะ Innovation Coach ทำหน้าที่ออกแบบสถานการณ์การเรียนรู้ ตั้งคำถามกระตุ้นการคิด เป็นพี่เลี้ยง (Mentor)

และสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยทางจิตวิทยา (Meesuwan, 2017) (2) ผู้บริหารสถานศึกษา (Administrator) ในฐานะ System Enabler ที่กำหนดนโยบาย จัดสรรทรัพยากร และส่งเสริมวัฒนธรรมนวัตกรรมในองค์กร (3) สถานประกอบการและภาคอุตสาหกรรม (Industry Partner) ในฐานะ Real-World Problem Provider และผู้ร่วมประเมินผล ตามแนวคิดทวิภาคี (Dual System) (Office of the Vocational Education Commission, 2024) และ (4) ผู้ปกครองและชุมชน (Family & Community) ในฐานะแหล่งสนับสนุนทางอารมณ์และทรัพยากร การประสานบทบาทของผู้ขับเคลื่อนทั้ง 4 ฝ่ายนี้ผ่านนิเวศการเรียนรู้ (Learning Ecosystem) ที่บูรณาการกัน คือเงื่อนไขความสำเร็จในการพัฒนานวัตกรในบริบทอาชีวศึกษาไทย

ตาราง 1

การวิเคราะห์และสังเคราะห์คุณลักษณะของนวัตกรจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะของนวัตกร	Premuzic (2013)	Dyer et al. (2015)	Newquist (2015)	Walder (2015)	Wagner (2018)	Mansfeld et al. (2010)	Yuyuarn (2018)	Piya-rungsi (2021)
ความคิดสร้างสรรค์	✓		✓	✓		✓	✓	✓
ความสามารถในการแก้ปัญหา				✓	✓	✓		
ความมุ่งมั่นและความอดทน	✓		✓	✓				✓
ความมั่นใจในตนเอง	✓							
ทำงานร่วมกับผู้อื่นสร้างเครือข่าย	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
แรงจูงใจภายใน	✓							
ความยืดหยุ่นและการปรับตัว	✓		✓					✓
ความอยากรู้อยากเห็นการตั้งคำถาม		✓	✓		✓			✓
การสังเกต		✓						
การทดลอง		✓						✓
การคิดเชื่อมโยง		✓					✓	✓
การลงมือทำ			✓					
วิสัยทัศน์และความมุ่งมั่น				✓				
การสื่อสาร				✓	✓	✓		
การเป็นผู้ประกอบการ					✓			
ความคิดเชิงวิพากษ์					✓			
การเปิดกว้างทางความคิด							✓	
การแสวงหาความรู้								✓
การยอมรับความเปลี่ยน แปลง								✓

2. รากฐานทฤษฎีและรูปแบบการจัดการเรียนรู้ STEM-PBL (Foundations and STEM-PBL Model)

เพื่อให้เกิดคุณลักษณะทั้ง 8 ประการข้างต้น การจัดการเรียนรู้แบบดั้งเดิมจึงไม่เพียงพอ บทความนี้จึงนำเสนอกระบวนทัศน์การเรียนรู้แบบ STEM-PBL ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นจากรากฐานทฤษฎีสำคัญ 3 ประการ ได้แก่

ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivism): เชื่อว่าการเรียนรู้ไม่ได้เกิดจากการ "รับ" ถ่ายทอดความรู้ แต่เกิดจากการที่ผู้เรียน "สร้าง" ความรู้ขึ้นเองผ่านประสบการณ์และการลงมือทำ (Learning by Doing) ผู้สอนมีหน้าที่จัดสภาพแวดล้อมที่เอื้อให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญาและกระตุ้นให้ผู้เรียนแสวงหาคำตอบ (Piaget, 1972; Vygotsky, 1978; Khammani, 2023) ในบริบทอาชีวศึกษา ทฤษฎีนี้สอดคล้องกับแนวคิด Experiential Learning ของ Kolb (1984) และ Learning by Doing ของ Dewey (1938) ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับผู้เรียนสายปฏิบัติการ

การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (PBL): เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้ "ปัญหา" หรือ "ความท้าทาย" เป็นจุดเริ่มต้น ผู้เรียนต้องวางแผน ลงมือปฏิบัติ และแก้ปัญหาด้วยตนเอง ซึ่งได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง (Bell, 2010; Krajcik & Blumenfeld, 2006; Kokotsaki et al., 2016) งานวิจัยการสังเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis) ของ Chen & Yang (2019) พบว่า PBL มีขนาดอิทธิพล (Effect Size) ในระดับปานกลางถึงสูงต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ($d_+ = 0.71$) เมื่อเทียบกับการสอนแบบบรรยาย

สะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้เรียนมองเห็นความเชื่อมโยงของศาสตร์ต่างๆ ในการแก้ปัญหาจริง (Bybee, 2010; English, 2016; Kelley & Knowles, 2016) ในบริบทของอาชีวศึกษา การบูรณาการ STEM ช่วยลดช่องว่างระหว่างความรู้เชิงทฤษฎีกับการปฏิบัติงานจริง และส่งเสริมการคิดเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Thinking) ซึ่งเป็นทักษะแกนกลางของวิชาชีพช่างอุตสาหกรรม (Capraro et al., 2013; Siripattrachai, 2013)

จากการสังเคราะห์กระบวนการเรียนรู้ของนักวิชาการหลายท่าน เช่น Bell (2010) และ Hwang et al. (2017) ผู้เขียนได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ STEM-PBL สำหรับอาชีวศึกษา ที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การตั้งคำถามที่ท้าทายและน่าสนใจ (Challenging Questioning) เป็นขั้นจุดประกายความสนใจ ผู้สอนสร้างสถานการณ์ปัญหา (Problem Scenario) ที่เกี่ยวข้องกับวิชาชีพ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสงสัยและตั้งคำถามนำไปสู่การทำโครงงาน

ขั้นที่ 2 การค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล (Research & Information Gathering) ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลทฤษฎี กฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นฐานความรู้ในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 3 การวางแผนและออกแบบโครงงานเน้นการแก้ปัญหา (Planning & Design) ผู้เรียนนำความรู้มาบูรณาการเพื่อออกแบบวิธีการแก้ปัญหา เขียนแบบร่าง (Draft) หรือผังงาน (Flowchart) และวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ

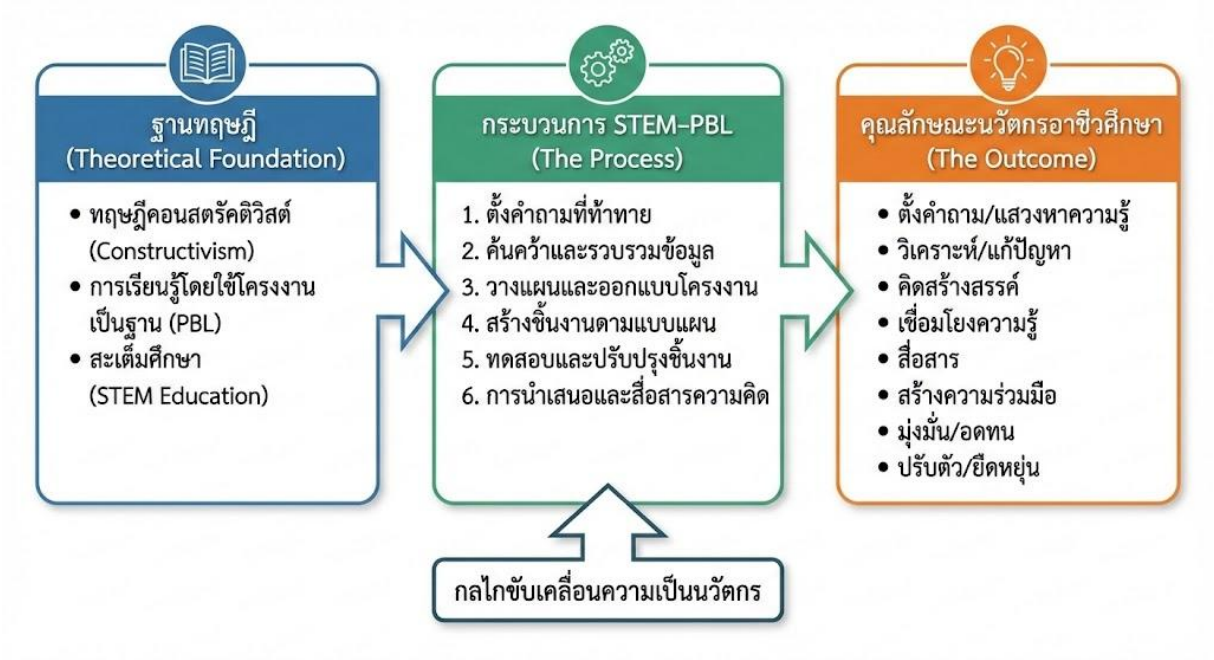
ขั้นที่ 4 การสร้างชิ้นงานตามแบบแผน (Creation & Development) ลงมือสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Prototype) หรือนวัตกรรมตามที่ออกแบบไว้ โดยประยุกต์ใช้ทักษะทางวิศวกรรมและเทคโนโลยี

ขั้นที่ 5 การทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน (Testing & Iteration) ทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงาน วิเคราะห์ข้อบกพร่อง และทำการปรับปรุงแก้ไขซ้ำๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ ขั้นตอนนี้ถือเป็นหัวใจของการสร้างนวัตกรรม

ขั้นที่ 6 การนำเสนอและสื่อสารความคิด (Presentation & Communication) นำเสนอผลงาน กระบวนการคิด และปัญหาอุปสรรค ให้ผู้อื่นรับรู้ และร่วมกันสะท้อนคิด (Reflection) เพื่อสรุปบทเรียน

ภาพประกอบ 1

กรอบแนวคิดกระบวนทัศน์การจัดการเรียนรู้ STEM-PBL เพื่อส่งเสริมความเป็นนวัตกร



3. กลไกความสัมพันธ์เชิงหน้าที่ในการขับเคลื่อนความเป็นนวัตกร (The Driving Mechanism)

จุดเด่นสำคัญของบทความนี้ คือการวิเคราะห์เจาะลึกถึง "กลไก" (Mechanism) ว่ากระบวนการ STEM-PBL ทั้ง 6 ขั้นตอน ทำหน้าที่บ่มเพาะความเป็นนวัตกรทั้ง 8 ด้านได้อย่างไร ความสัมพันธ์เชิงหน้าที่นี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

กลไกการจุดประกายและการสืบเสาะ (Driving Curiosity) ใน ขั้นที่ 1 และ 2 ระบบการเรียนรู้จะช่วยกำกับให้ผู้เรียนต้องก้าวออกจากกรอบเดิมๆ ในแนวคิด การเผชิญกับคำถามที่ไม่มีคำตอบสำเร็จรูปจะกระตุ้น "การตั้งคำถามและแสวงหาความรู้เชิงลึก" โดยอัตโนมัติ ผู้เรียนจะเรียนรู้ว่านวัตกรรมไม่ได้เริ่มจากคำตอบ แต่เริ่มจากคำถามที่ดี (Dyer et al., 2011; Hwang et al., 2017)

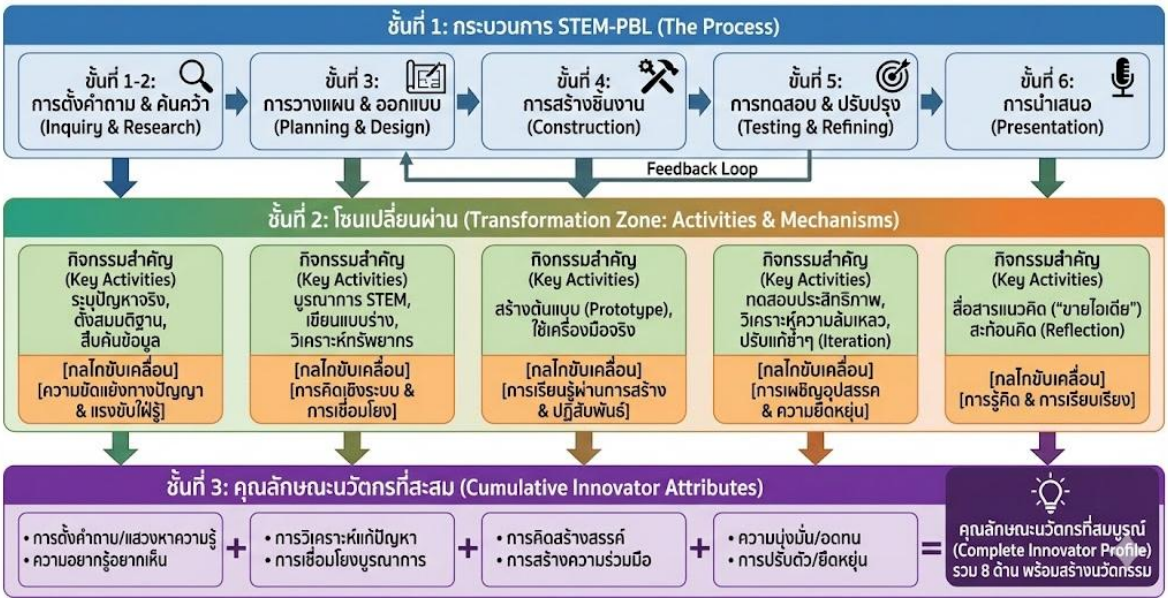
กลไกการบูรณาการระบบคิด (System Thinking Integration) ใน ขั้นที่ 3 การวางแผนและออกแบบเป็นกระบวนการที่ฝึกฝน "การวิเคราะห์สถานการณ์และแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ" และ "การเชื่อมโยงความรู้" ผู้เรียนต้องใช้คณิตศาสตร์คำนวณต้นทุน ใช้วิทยาศาสตร์เลือกวัสดุ และใช้วิศวกรรมออกแบบโครงสร้าง การคิดแยกส่วนวิชาจะไม่สามารถทำให้โครงงานสำเร็จได้ (English, 2016; Han et al., 2015)

กลไกความยืดหยุ่นทางปัญญา (Resilience Engine) นี่คือกลไกที่ทรงพลังที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นใน ขั้นที่ 4 และ 5 (การสร้างและทดสอบ) ในขั้นตอนนี้ ผู้เรียนมักจะพบกับความล้มเหลว (Failure) ชิ้นงานอาจไม่ทำงานตามที่คิด วงจรอาจลัดวงจร หรือโครงสร้างอาจพังทลาย สถานการณ์เหล่านี้คือบททดสอบจริงที่สร้าง "ความมุ่งมั่นและอดทนต่ออุปสรรค" และบังคับให้ผู้เรียนต้องใช้ "การคิดสร้างสรรค์" เพื่อหาทางออกใหม่ และต้องมี "การปรับตัวและยืดหยุ่น" เพื่อเปลี่ยนวิธีการจนกว่าจะสำเร็จ หากปราศจากขั้นตอนนี้ ผู้เรียนจะได้เพียงความรู้ แต่ไม่ได้ "หัวใจของนวัตกร" (Wagner, 2018; Bandura, 1997)

กลไกสังคมแห่งการเรียนรู้ (Social Learning) ตลอดทุกขั้นตอน โดยเฉพาะ ขั้นที่ 6 STEM-PBL เน้นการทำงานเป็นทีม ซึ่งฝึกฝน "การสร้างความร่วมมือ" และ "การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ" ผู้เรียนจะได้เรียนรู้ทักษะความเป็นผู้นำ การเจรจาต่อรอง และการนำเสนอผลงานที่ซับซ้อนให้เข้าใจง่าย ซึ่งเป็น Soft Skills ที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนวัตกรในโลกการทำงานจริง (Tsybulsky & Muchnik-Rozanov, 2019; Vygotsky, 1978)

ภาพประกอบ 2

กรอบแนวคิดกลไกความสัมพันธ์ : STEM-PBL สู่คุณลักษณะนวัตกร (Mechanism of Relationship Framework)



บทสรุป

การยกระดับคุณภาพผู้เรียนอาชีวศึกษาไทยให้ก้าวสู่การเป็น "นวัตกร" ตามเป้าหมายยุทธศาสตร์ชาติ ไม่สามารถสัมฤทธิ์ผลได้ด้วยวิธีการสอนแบบเดิมที่เน้นการท่องจำหรือทำตามคำสั่ง แต่จำเป็นต้องมีการรื้อถอนและสร้างใหม่ (Deconstruct and Reconstruct) ด้วยกระบวนทัศน์การเรียนรู้ที่ท้าทายและมีความหมาย

บทความนี้ได้นำเสนอรูปแบบการจัดการเรียนรู้โครงงานสะเต็ม (STEM-PBL) ที่ผ่านการสังเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยยืนยันว่ากระบวนการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน คือเครื่องมือเชิงกลยุทธ์ที่มีศักยภาพในการสร้างนิเวศการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการบ่มเพาะนวัตกร STEM-PBL ไม่ใช่เพียงวิธีการสอน แต่คือกระบวนการขัดเกลาทางปัญญาและจิตวิญญาณที่เปลี่ยนผู้เรียนจาก "ผู้รอรับความรู้" ให้กลายเป็น "ผู้สร้างสรรค์ความรู้" ที่มีความเพียรพยายามมีความคิดยืดหยุ่นและมีความสามารถในการบูรณาการศาสตร์ต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน การนำรูปแบบนี้ไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในสถานศึกษาอาชีวศึกษา จะเป็นกุญแจสำคัญในการผลิตกำลังคนสมรรถนะสูงที่พร้อมเป็นกลไกขับเคลื่อนประเทศไทยสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน ในศตวรรษที่ 21

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การนำกระบวนทัศน์ STEM-PBL ไปสู่การปฏิบัติเกิดประสิทธิผลสูงสุด ผู้เขียนมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและแนวทางปฏิบัติ ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ในสถานศึกษา

1.1 การพลิกโฉมบทบาทครู (Teacher Transformation) ครูผู้สอนต้องเปลี่ยนบทบาทจาก "ผู้สอน" (Instructor) ที่ยืนหน้าชั้นเรียน มาเป็น "โค้ช" (Coach) หรือ "ผู้อำนวยความสะดวก" (Facilitator) ที่เดินเคียงข้างผู้เรียน หน้าที่ของครูคือการตั้งคำถามกระตุ้นความคิด ให้คำปรึกษาเมื่อผู้เรียนพบทางตัน และสร้างบรรยากาศที่ปลอดภัยทางจิตวิทยา (Psychological Safety) ให้ผู้เรียนกล้าที่จะล้มเหลวและเรียนรู้

1.2 การบูรณาการข้ามแผนกวิชา (Interdisciplinary Collaboration) ผู้บริหารสถานศึกษาควรส่งเสริมให้เกิดรายวิชาโครงงานบูรณาการที่ให้นักศึกษาต่างสาขามาร่วมทีมกัน เช่น ให้นักศึกษาช่างไฟฟ้า ช่างกลโรงงาน และการตลาด ร่วมกันทำโครงงานนวัตกรรม เพื่อจำลองบรรยากาศการทำงานจริงในภาคอุตสาหกรรม (Capraro et al., 2013; Bianchi & Giorcelli, 2019)

1.3 การประเมินผลฐานสมรรถนะ (Competency-Based Assessment) ควรปรับเปลี่ยนวิธีการวัดผลจากการสอบข้อเขียน (Paper-based test) มาเป็นการประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรม (Observation Form) ตามตัวชี้วัดความเป็นนวัตกร 8 ด้าน ควบคู่ไปกับการประเมินชิ้นงานและแฟ้มสะสมผลงาน (Office of the Vocational Education Commission, 2024; OECD, 2019)

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

2.1 ควรมีการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ของการใช้รูปแบบ STEM-PBL นี้กับกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ในบริบทที่หลากหลาย โดยเฉพาะการศึกษาเปรียบเทียบ (Comparative Study) ในกลุ่มสาขาวิชาที่ต่างกัน เพื่อยืนยันความเป็นสากลของรูปแบบ (Han et al., 2015)

2.2 ควรมีการพัฒนาเครื่องมือวัดความเป็นนวัตกรที่มีมาตรฐาน (Standardized Instrument) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์กลางในการประเมินคุณภาพผู้เรียนอาชีวศึกษาทั่วประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เรื่อง “การจัดการเรียนรู้โครงงานสะเต็มเพื่อส่งเสริมความเป็นนวัตกรของนักศึกษาอาชีวศึกษา สาขาไฟฟ้า” หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิดา จำรัส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ อาจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เมาเทือก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่ง ตลอดจนช่วยชี้แนะแนวทางในการสังเคราะห์องค์ความรู้เพื่อจัดทำบทความวิชาการนี้ให้มีความสมบูรณ์ถูกต้องตามหลักวิชาการ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่เป็นแรงบันดาลใจสำคัญในการศึกษาเล่าเรียน และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้และกระบวนทัศน์การจัดการเรียนรู้ที่นำเสนอในบทความนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพการจัดการศึกษาอาชีวศึกษาของไทย และเป็นแนวทางสำหรับผู้บริหารและครูผู้สอนในการบ่มเพาะนวัตกรรุ่นใหม่ให้แก่ประเทศชาติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman.

Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas, 83*(2), 39-43.

Bianchi, N., & Giorcelli, M. (2019). Scientific education and innovation: From technical diplomas to university STEM degrees. *NBER Working Paper No. 25928*.

Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science, 329*(5995), 996.

Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach* (2nd ed.). Sense Publishers.

Chen, C.-H., & Yang, Y.-C. (2019). Revisiting the effects of project-based learning on students' academic achievement: A meta-analysis investigating moderators. *Educational Research Review, 26*, 71–81.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry, 11*(4), 227–268.

Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Macmillan.

Dyer, J. H., Gregersen, H., & Christensen, C. M. (2011). *The innovator's DNA: Mastering the five skills of disruptive innovators.* Harvard Business Review Press.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 3.

Han, S., Capraro, R., & Capraro, M. M. (2015). How science, technology, engineering, and mathematics (STEM) project-based learning (PBL) affects high, middle, and low achievers differently: The impact of student factors on achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education, 13*(5), 1089-1113.

Holland, J. L. (1997). *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments* (3rd ed.). Psychological Assessment Resources.

Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.). (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press.

Hwang, R.-H., Hsiung, P.-A., Chen, Y.-J., & Lai, C.-F. (2017). *Innovative Project-Based Learning. Emerging Technologies for Education*, *10676*. Springer.

Khammani, T. (2023). *The Science of Teaching: Knowledge for Organizing Effective Learning Processes (25th ed.).* Chulalongkorn University Press. [in Thai]

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 11.

Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools, 19*(3), 267–277.

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.

Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 317–334). Cambridge University Press.

Mansfeld, M. N., Hölzle, K., & Gemünden, H. G. (2010). Personal characteristics of innovators: An empirical study of roles in innovation management. *International Journal of Innovation Management, 14*(6), 1129–1147.

Meesuwan, W. (2017). Factors contributing to characteristics of teacher innovators in educational technology in professional pre-service teacher schools of Naresuan University Network. *Journal of Education and Innovation, 19*(3), 50-62. [in Thai]

Newquist, E.. (2015). 7 Characteristics of Highly Successful Innovators. [online]. Available: https://www.disruptorleague.com/blog/2015/03/13/7-characteristics-of-highly-successful-innovators. Access on28 Jan 2021.

OECD. (2019). *OECD future of education and skills 2030: Conceptual learning framework*. OECD Publishing.

OECD/Eurostat. (2018). *Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation* (4th ed.). OECD Publishing.

Office of the Education Council. (2017). *National Education Plan B.E. 2560-2579 (2017-2036).* [in Thai]

Office of the National Economic and Social Development Council. (2017). *20-Year National Strategy (B.E. 2561-2580).* [in Thai]

Office of the Vocational Education Commission. (2023). *Annual Report on Vocational Education Outcomes B.E. 2566*. [in Thai]

Office of the Vocational Education Commission. (2024). *Higher Vocational Certificate Curriculum B.E. 2567*. [in Thai]

Pasawano, T. (2019). *Vocational education and training in Thailand—Current status and future development.* In B. Bai & Paryono (Eds.), *Vocational education and training in ASEAN member states: Current status and future development* (pp. 207–228). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6617-8_9

Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.

Piyarungsi, K., Swathanan, S., Inthanan, N., & Hanwong, U. (2022). Attributes of young innovators. *Journal of Liberal Arts, Thammasat University, 22*(2), 438–458. https://doi.org/10.14456/lartstu.2022.30 [in Thai]

Premuzic, T. (2013). *The five characteristics of successful innovators.* Harvard Business Review.

Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations (3rd ed.).* Free Press.

Ruchiwit, M., Patchotasingh, M., & Phanphairoj, K. (2019). Strategies for Creating Innovators in Thailand's Higher Education. *Journal of HR intelligence*, 14(1), 48-61.

Siripattrachai, P. (2013). STEM education and 21st century skills development. *Executive Journal, 33*(2), 49–56. [in Thai]

Sutthawart, W., & Chuntuk, T. (2016). Educational innovator's potential development method. *Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and Arts), 9*(1), 748-767. [in Thai]

Tsybulsky, D., & Muchnik-Rozanov, Y. (2019). The development of student-teachers' professional identity while team-teaching science classes using a project-based learning approach: A multi-level analysis. *Teaching and Teacher Education, 79*, 48-59.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Wagner, T. (2018). *Creating innovators: The making of young people who will change the world.* Scribner.

Walder, A. M. (2015). Characteristics of the pedagogical innovator in a university strongly committed to research and across disciplines. *Journal of Educational and Developmental Psychology, 5*(1), 119–127. https://doi.org/10.5539/jedp.v5n1p119

World Economic Forum. (2023). *The future of jobs report 2023*. World Economic Forum.

Yuyuarn, P. (2018). *Factors influencing becoming an innovator: A case study of PUNN products* (Master's independent study). Silpakorn University. [in Thai]