การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะสู่ทศวรรษใหม่: จากแนวโน้มโลกสู่นโยบายไทยและข้อเสนอเชิงนวัตกรรม

ณัฐพงศ์ สกุลกิจโภคานนท์*

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า เขตสะพานสูง กรุงเทพมหานคร 10240

Received: 9 October 2025
Revised: 10 May 2026
Accepted: 22 May 2026

บทคัดย่อ

ในทศวรรษที่ 21 การศึกษาชีววิทยาเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาเศรษฐกิจเชิงชีวภาพและสังคมฐานนวัตกรรม ท่ามกลางกระแสการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีดิจิทัล ปัญญาประดิษฐ์ และวิกฤตความยั่งยืน บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาในระดับสากล และนำเสนอข้อเสนอเชิงนวัตกรรมเพื่อยกระดับหลักสูตรชีววิทยาไทยสู่ทศวรรษใหม่ (พ.ศ. 2570-2579) โดยสังเคราะห์ข้อมูลจากรายงานขององค์การระดับโลก (OECD, UNESCO, WEF) และเปรียบเทียบบริบทหลักสูตรของประเทศผู้นำด้านการศึกษา

ผลการวิเคราะห์พบว่า ทิศทางหลักสูตรโลกมุ่งเน้นการเปลี่ยนผ่านจากหลักสูตรฐานเนื้อหาสู่หลักสูตรฐานสมรรถนะที่เน้นการแก้ปัญหาระดับโลก จึงนำเสนอกรอบสมรรถนะชีววิทยาของไทย (TBCF) ซึ่งบูรณาการ 3 มิติหลัก ได้แก่ 1) สมรรถนะนวัตกรรมชีวภาพ ผ่านการเรียนรู้เชิงสืบเสาะผสานการออกแบบเชิงวิศวกรรม (IBED) 2) ความฉลาดรู้ดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงชีวสารสนเทศศาสตร์ และ 3) การคิดเชิงระบบเพื่อความยั่งยืน ผ่านแนวคิดการคิดเชิงสีเขียว ข้อเสนอเชิงนโยบายเสนอให้มุ่งเน้นการปฏิรูปโครงสร้างหลักสูตรให้มีความเชื่อมโยงแนวตั้งและแนวนอน การจัดทำคลังภาระงานการปฏิบัติ และการพัฒนาสมรรถนะวิชาชีพครูสู่การเป็นผู้อำนวยการเรียนรู้นวัตกรรม เพื่อให้หลักสูตรชีววิทยาไทยสามารถขับเคลื่อนทรัพยากรมนุษย์ให้พร้อมรับความท้าทายในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: หลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะ; แนวโน้มการพัฒนาหลักสูตรโลก; ข้อเสนอเชิงนวัตกรรม

* Corresponding Author: natthapong.sak@tun.ac.th

Competency-Based Biology Curriculum Development for the New Decade: From Global Trends to Thai Policy and Innovative Proposals

Natthapong Sakunkitphokhanon*

Department of Biology, Science and Technology Learning Area,
Triamudomsuksanomklao School, Saphan Sung District, Bangkok 10240, Thailand

Abstract

In the 21st century, biology education serves as a fundamental pillar for the development of a bioeconomy and culture-base society. In the midst of digital techological and artificial intelligence change, and the global sustainability crisis, this article aims to analyze international trends in biology curriculum development and propose innovative frameworks for enchancing Thailand's biology curriculum into the upcoming decade (2027-2036). The study synthesizes data from prominent international reports (OECD, UNESCO, WEF) and performs a comparative analysis of the curricular contexts in leading educational nations.

The analysis reveals a global trend in curriculum reform and development shift the emphasize from content-based to competency-based curriculum, which prioritize addressing complex global challenges. Consequently, this article introduces the thai biology competency framework (TBCF), which integrates three core dimensions: 1) biological innovation competency, facilitated through inquiry-based engineering design (IBED); 2) digital and ai literacy, including bioinformatics; and 3) systems thinking and sustainability, grounded in the concept of green thinking. policy recommendations focus on reforming curriculum structures to ensure both vertical and horizontal alignment, establishing a performance task bank, and enhancing teachers' professional competencies to transform them into facilitators of innovative learning. These recommendations policy aim to drive thai biology curriculum to enhance student to be capable of future challenges in a sustainable manner.

Keywords: Competency-Based Biology Curriculum; Global Curriculum Development Trends; Innovative Proposals

บทนำ

ในศตวรรษที่ 21 โลกกำลังเผชิญกับความท้าทายทางสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี และสุขภาพในระดับที่ไม่เคยปรากฏมาก่อน ทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การลดลงของความหลากหลายทางชีวภาพ การแพร่ระบาดของโรคอุบัติใหม่ และการพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพอย่างรวดเร็ว ซึ่งล้วนส่งผลให้การศึกษาทางชีววิทยามีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการสร้างทุนมนุษย์ (Human Capital) ที่มีความเข้าใจระบบธรรมชาติ สามารถคิดเชิงวิทยาศาสตร์ และใช้ความรู้ชีววิทยาอย่างมีจริยธรรมเพื่อแก้ปัญหาสังคมและสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน (OECD, 2023; UNESCO, 2021b) การจัดการศึกษาชีววิทยาจึงมิใช่เพียงการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตเท่านั้น แต่ต้องมุ่งสู่การสร้างสมรรถนะที่ครอบคลุมทั้งการคิดวิเคราะห์ การออกแบบเชิงนวัตกรรม และการรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (WEF, 2023) ในบริบทของประเทศไทย การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาได้ดำเนินการภายใต้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งเป็นหลักสูตรที่ยังคงมีลักษณะ “ฐานเนื้อหา” (Content-Based Curriculum) มากกว่า “ฐานสมรรถนะ” (Competency-Based Curriculum) โดยมุ่งเน้นการถ่ายทอดสาระความรู้จำนวนมากภายในเวลาที่จำกัด (สพฐ., 2567) ครูผู้สอนส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการบรรยายเป็นหลักและมีข้อจำกัดในการออกแบบกิจกรรมที่เน้นกระบวนการคิดขั้นสูงหรือนวัตกรรมการเรียนรู้ (สสวท., 2565, 2560ข) ส่งผลให้ผู้เรียนจำนวนมากเรียนชีววิทยาโดยขาดแรงจูงใจและไม่เห็นความเชื่อมโยงกับชีวิตจริง และผลการประเมินนานาชาติ เช่น PISA 2022 พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยอยู่ที่ 431 คะแนน ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศสมาชิก Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) (485 คะแนน) และไม่แตกต่างจากรอบปี 2018 อย่างมีนัยสำคัญ (OECD, 2023) ซึ่งสะท้อนว่า คุณภาพการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์โดยรวมยังไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร ขณะที่รายงานของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (2565, 2557) ชี้ให้เห็นว่า ผู้เรียนไทยยังขาดทักษะการคิดวิเคราะห์ การเชื่อมโยงองค์ความรู้ และการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง โดยเฉพาะในรายวิชาชีววิทยาที่มักมุ่งเน้นการจดจำมากกว่าการสืบค้นหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่

ในทศวรรษที่ ค.ศ. 2020-2030 (พ.ศ. 2563-2573) โลกกำลังก้าวเข้าสู่สิ่งที่นักการศึกษานานาชาติเรียกว่า “ทศวรรษแห่งการเปลี่ยนผ่านทางชีววิทยา” (The Decade of Biology Transformation) ซึ่งชีววิทยาได้ผสานเข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ เช่น Bioinformatics, Synthetic Biology, Genetic Engineering และ AI-Based Biological Modeling (WEF, 2023; UNESCO, 2021b) การเรียนรู้ชีววิทยายุคใหม่จึงไม่จำกัดอยู่แค่ในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการ แต่เป็นการเชื่อมโยงองค์ความรู้ข้ามศาสตร์ เช่น วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ ศิลปะ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ภายใต้แนวคิด STEAM Education (สสวท., 2565; Huling & Dwyer, 2018) และรายงานของ UNESCO (2021a) เรื่อง AI and Education: Guidance for Policy-Makers พบว่า โรงเรียนทั่วโลกไม่ถึงร้อยละ 10

ที่มีนโยบายหรือแนวทางการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) อย่างเป็นระบบ ขณะที่ OECD (2025) วิเคราะห์ว่า หลักสูตรควรปรับโครงสร้างเพื่อเตรียมผู้เรียนให้พร้อมต่อโลกที่ AI มีบทบาทสูงขึ้น และ World Economic Forum (WEF) (2025) รายงานว่า ทักษะการทำงานกว่าร้อยละ 40 จะเปลี่ยนแปลงภายใน 5 ปี ทำให้ความฉลาดรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI Literacy) กลายเป็นสมรรถนะหลักของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญของการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในไทย คือ ความไม่ต่อเนื่องของการปฏิรูปหลักสูตร การขาดการสนับสนุนทรัพยากรและเครื่องมือดิจิทัล ตลอดจนการพัฒนาครูที่ยังไม่ทันกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีชีวภาพ (สวทช., 2567; สกสว., 2567) ส่งผลให้การเรียนรู้ของนักเรียนไทยไม่สามารถสะท้อนสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ได้เต็มศักยภาพ โดยเฉพาะในมิติของการคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) และการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม (Innovative Problem-Solving)

จากสภาพดังกล่าว ผู้เขียนจึงเห็นความจำเป็นในการศึกษาวิเคราะห์แนวโน้มการพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาทั้งในระดับโลกและในประเทศไทย เพื่อสังเคราะห์เป็นแนวทางเชิงหลักสูตรที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกในทศวรรษใหม่ บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอแนวโน้มโลกที่มีผลต่อการออกแบบหลักสูตรชีววิทยา เช่น นโยบายของ OECD, UNESCO และ WEF ร่วมกับการวิเคราะห์บริบทนโยบายไทย และเสนอกรอบแนวคิดเชิงนวัตกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในสถานศึกษาไทย โดยความสำคัญของบทความนี้อยู่ที่การทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างองค์ความรู้ทางวิชาการและการปฏิบัติจริงในห้องเรียน เพื่อกระตุ้นให้เกิดการปรับปรุงหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะอย่างมีทิศทางและยั่งยืน ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับคือ การยกระดับคุณภาพผู้เรียนให้สามารถใช้ความรู้ชีววิทยาในการคิดเชิงวิพากษ์ ออกแบบนวัตกรรมเพื่อสังคม และเข้าใจความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมในระดับลึก ซึ่งจะเป็นรากฐานของการสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้และเศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) ในอนาคต

สภาพการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในประเทศไทย

การจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในประเทศไทยในปัจจุบันยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการทั้งในด้านโครงสร้างหลักสูตร วิธีการจัดการเรียนรู้ การประเมินผล และสมรรถนะของครูผู้สอน แม้ว่าหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) จะระบุให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และสมรรถนะสำคัญของผู้เรียน แต่ในทางปฏิบัติกลับยังคงเน้นการเรียนรู้ตามสาระและตัวชี้วัดหรือผลการเรียนรู้ที่มีจำนวนมาก (สพฐ., 2567; สสวท., 2560ก) ทำให้ครูผู้สอนต้องเร่งรัดเนื้อหาเพื่อให้ครบตามหลักสูตร และส่งผลให้ผู้เรียนมีลักษณะการเรียนรู้เชิงท่องจำมากกว่าการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry-Based Learning) หรือการคิดเชิงวิเคราะห์ (Analytical Thinking)

ผลการประเมินคุณภาพการศึกษาทั้งในระดับชาติและนานาชาติสะท้อนภาพปัญหานี้อย่างชัดเจน เช่น การประเมินผลนักเรียนร่วมกับนานาชาติ (PISA 2022) พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยอยู่ที่ 431 คะแนน ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศสมาชิก OECD ที่ 485 คะแนน ถึง 54 คะแนน และลดลงจากรอบปี 2018 อย่างมีนัยสำคัญ (OECD, 2023) ขณะที่ผลการประเมินจากโครงการประเมินแนวโน้มคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ (TIMSS, 2019) รายงานว่า นักเรียนไทยระดับมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีคะแนนเฉลี่ยวิทยาศาสตร์เพียง 436 คะแนน อยู่ในอันดับที่ 29 จาก 39 ประเทศทั่วโลก (IEA, 2020) ผลลัพธ์เหล่านี้สะท้อนว่า ผู้เรียนไทยยังมีความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในระดับต่ำ โดยเฉพาะในด้านการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและการใช้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

ในระดับห้องเรียน จากงานวิจัยและประสบการณ์ของผู้เขียนในการสอนชีววิทยาพบว่า ครูชีววิทยาในระดับมัธยมศึกษากว่าร้อยละ 70 ยังใช้รูปแบบการสอนที่เน้นการถ่ายทอดความรู้มากกว่าการสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา สื่ออุปกรณ์ และความคุ้นเคยกับวิธีการสอนแบบเดิม ส่งผลให้ผู้เรียนขาดโอกาสในการพัฒนาทักษะการสืบเสาะ การทดลอง การตั้งคำถาม และการอธิบายเชิงเหตุผล (สุภิสรา สมศรี และคณะ, 2567; สสวท., 2557) ซึ่งเป็นหัวใจของการเรียนรู้ชีววิทยาตามแนวทางของ Next Generation Science Standards (NGSS) (2013) และสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2565) รายงานเพิ่มเติมว่า ปัญหาหลักของการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในประเทศไทย คือ ความไม่สมดุลระหว่างเนื้อหากับสมรรถนะ กล่าวคือ ครูผู้สอนมักเน้นถ่ายทอดเนื้อหาเชิงลึกแต่ขาดการออกแบบกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง การเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง Hands-On และการบูรณาการข้ามศาสตร์ยังมีน้อย อีกทั้งหลักสูตรยังไม่สอดคล้องกับความก้าวหน้าทางชีววิทยาสมัยใหม่ เช่น จีโนมิกส์ (Genomics) ชีวสารสนเทศ (Bioinformatics) และเทคโนโลยีชีวภาพสังเคราะห์ (Synthetic Biology) (UNESCO, 2021b; WEF, 2023) ทำให้ผู้เรียนขาดความเข้าใจด้านการประยุกต์ใช้และมุมมองเชิงระบบต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม

อีกหนึ่งข้อจำกัดที่สำคัญ คือ ระบบการประเมินผลในประเทศไทยยังคงเน้นการสอบปลายภาคและข้อสอบมาตรฐานกลางมากกว่าการประเมินสมรรถนะจริง (Authentic Assessment) ซึ่งเน้นการใช้ความรู้แก้ปัญหาในสถานการณ์จริง ทำให้ครูและผู้เรียนมีแรงกดดันที่จะมุ่งสู่ผลคะแนนมากกว่าการพัฒนาทักษะการคิดระดับสูง นอกจากนี้ การพัฒนาครูชีววิทยายังไม่สอดรับกับเทคโนโลยีการเรียนรู้ยุคใหม่ เช่น ห้องปฏิบัติการเสมือนจริง (Virtual Lab) การจำลองแบบชีววิทยาดิจิทัล (Digital Simulation) และการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการสอน (AI-Driven Learning) (สสวท., 2567; สกศ., 2560)

ตาราง 1 สรุปเปรียบเทียบบริบทหลักสูตรชีววิทยาไทยกับหลักสูตรต่างประเทศ

ประเด็นเปรียบเทียบ	ไทย (สสวท., 2560ก)	ฟินแลนด์ (EDUFI, 2020)	สิงคโปร์ (MOE, 2024)	สหรัฐอเมริกา (NGSS, 2013)
โครงสร้างหลักสูตร	หลักสูตรแกนกลางกำหนดกรอบสาระและตัวชี้วัดจากส่วนกลาง โรงเรียนสามารถนำไปปรับใช้ตามบริบท	หลักสูตรระดับชาติให้อิสระแก่สถานศึกษาค่อนข้างสูง และเปิดโอกาสให้ครูออกแบบการเรียนรู้ตามบริบท	หลักสูตรระดับชาติค่อนข้างชัดเจน กำหนดมาตรฐานและผลลัพธ์การเรียนรู้ไว้เป็นระบบ	ไม่มีหลักสูตรชาติแบบรวมศูนย์ แต่ใช้มาตรฐาน NGSS เป็นกรอบอ้างอิงที่หลายรัฐนำไปปรับใช้
การเน้นเนื้อหา	เน้นสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ควบคู่กับสมรรถนะผู้เรียน	เน้นสมรรถนะหลัก ทักษะข้ามสาระ และการเชื่อมโยงชีวิตจริง	เน้นความรู้เชิงลึก ควบคู่การประยุกต์ใช้และการคิดระดับสูง	เน้นแนวคิดแกนของวิทยาศาสตร์ร่วมกับการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม
การจัดการเรียนรู้	ส่งเสริมการเรียนรู้เชิงรุก การสืบเสาะ และกิจกรรมทดลอง แต่การนำไปใช้จริงยังขึ้นกับความพร้อมของโรงเรียน	สนับสนุนการเรียนรู้เชิงรุก การเรียนรู้แบบบูรณาการ และการสืบเสาะอย่างยืดหยุ่น	ใช้การเรียนรู้แบบ Inquiry-Based, Practical Work และการประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์จริง	ใช้การเรียนรู้แบบสามมิติ ได้แก่ แนวคิดหลัก กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม และแนวคิดเชื่อมโยง
การประเมินผล	ประเมินทั้งระหว่างเรียนและปลายหน่วย/ปลายภาค โดยโรงเรียนมีบทบาทกำหนดวิธีประเมินเพิ่มเติม	เน้นการประเมินเพื่อพัฒนา การสะท้อนผลการเรียนรู้ และการประเมินตามสภาพจริง	ใช้การประเมินที่หลากหลาย ทั้งแบบระหว่างเรียน การปฏิบัติ และการสอบมาตรฐาน	เน้นการประเมินสอดคล้องกับสมรรถนะและการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ ไม่เน้นการท่องจำเพียงอย่างเดียว
สมรรถนะเป้าหมาย	มุ่งพัฒนาความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และสมรรถนะสำคัญของผู้เรียน	มุ่งพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา และเรียนรู้ตลอดชีวิต	มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์และพร้อมต่อการศึกษาต่อ/การทำงาน	มุ่งพัฒนาการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ การอธิบายเชิงเหตุผล และการใช้ความรู้แก้ปัญหา

หมายเหตุ: ข้อมูลสังเคราะห์จากเอกสารหลักสูตรของแต่ละประเทศ เพื่อใช้เปรียบเทียบบริบทหลักสูตรของแต่ละประเทศ ไม่ใช่การแปลตรงตัวจากเอกสารต้นฉบับ

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่า ประเทศไทยอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่านจากการเน้นสาระและการกำหนดจากส่วนกลางไปสู่การจัดการเรียนรู้เชิงสมรรถนะมากขึ้น แม้ยังไม่สามารถกระจายอำนาจและยืดหยุ่นได้เทียบเท่าบางประเทศชั้นนำ ขณะที่ฟินแลนด์ สิงคโปร์ และสหรัฐอเมริกามีแนวโน้มเน้นการเรียนรู้แบบบูรณาการการปฏิบัติจริง และการประเมินที่สอดคล้องกับสมรรถนะผู้เรียนอย่างชัดเจนมากกว่า ดังนั้น การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาไทยในระยะต่อไปจึงควรมุ่งเพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบการเรียนรู้ ส่งเสริมการกระจายอำนาจสู่สถานศึกษา และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ผ่านการสืบเสาะ การทดลอง และการออกแบบเชิงนวัตกรรมให้มากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาหลักสูตรในระดับนานาชาติ

ดังนั้น สภาพการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในประเทศไทยจึงอยู่ในภาวะที่ต้องการการปรับเปลี่ยนเชิงระบบ ไม่เพียงแต่ในเชิงหลักสูตรเท่านั้น แต่รวมถึงการพัฒนาครู การปรับแนวทางการประเมินผล และการส่งเสริมให้โรงเรียนมีอิสระในการออกแบบหน่วยการเรียนรู้ที่ตอบสนองบริบทท้องถิ่นและความสนใจของผู้เรียน การเปลี่ยนผ่านสู่หลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาของไทยให้เท่าทันโลก และเพื่อเตรียมผู้เรียนให้พร้อมต่อการใช้ชีวิตในยุคโมเดลเศรษฐกิจใหม่ หรือ Bio-Circular-Gree Economy Model (BCG Model) ซึ่งชีววิทยาเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต

แนวโน้มการพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาในระดับโลก (Global Trends in Biology Curriculum Development)

ในระดับสากล การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาได้เปลี่ยนผ่านจากการมุ่งถ่ายทอดเนื้อหาความรู้เชิงวิชาการสู่การพัฒนาหลักสูตรฐานสมรรถนะ ซึ่งให้ความสำคัญกับการใช้ความรู้เชิงบูรณาการเพื่อแก้ปัญหาและสร้างนวัตกรรมในชีวิตจริง (OECD, 2019; UNESCO, 2021b) แนวคิดนี้สอดคล้องกับทิศทางของการศึกษาศตวรรษที่ 21 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะเชิงระบบ การคิดสร้างสรรค์ และความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม (WEF, 2023) หลักสูตรชีววิทยาในศตวรรษใหม่จึงไม่เพียงเป็นการเรียนรู้เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต แต่เป็นการเรียนรู้เกี่ยวกับชีวิต (Learning for Life) ที่บูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และจริยธรรมเพื่อตอบโจทย์โลกยุค BCG Model โดยมี 3 สมรรถนะหลักที่เป็นแนวโน้มร่วมของหลักสูตรชีววิทยาในระดับสากล ได้แก่

1. สมรรถนะด้านความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) ความสามารถในการเข้าใจหลักการ แนวคิด และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งสามารถใช้ความรู้ดังกล่าวในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ การตั้งคำถาม การสืบเสาะหาความรู้ และการใช้หลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง โดยเป็นพื้นฐานของการพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะการใช้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์และสามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลทางชีววิทยาและสังคม เช่น ปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัญหาสุขภาพ และปัญหาเทคโนโลยีชีวภาพ

2. สมรรถนะด้านเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ทางชีววิทยา (Digital and AI Literacy) ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูล และปัญญาประดิษฐ์เพื่อรวบรวม วิเคราะห์ และตีความข้อมูลทางชีววิทยา รวมถึงการใช้ซอฟต์แวร์และแพลตฟอร์มจำลองทางชีววิทยา (Bioinformatics, Virtual Labs, Simulation Tools) เพื่อสร้างความเข้าใจเชิงลึกและออกแบบนวัตกรรมทางชีววิทยา (UNESCO, 2021b; MOE, 2024) โดยเป็นสมรรถนะสำคัญของผู้เรียนยุคดิจิทัลที่ช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลชีวภาพขนาดใหญ่ (Big Data) ในการวิเคราะห์จีโนม ออกแบบยีน และเข้าใจระบบชีวภาพเชิงซับซ้อน ซึ่งเป็นรากฐานของเศรษฐกิจชีวภาพในอนาคต

3. สมรรถนะด้านความยั่งยืนและจริยธรรมทางชีววิทยา (Sustainability and Bioethics Competency) ความสามารถในการตระหนักรู้ เข้าใจ และประยุกต์ใช้หลักการของการพัฒนาอย่างยั่งยืน ควบคู่กับจริยธรรมทางชีววิทยา (Bioethics) ในการตัดสินใจและการใช้เทคโนโลยีชีวภาพอย่างรับผิดชอบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (MEXT, 2022; EDUFI, 2020) โดยมุ่งพัฒนาให้ผู้เรียนมีความเข้าใจผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ต่อระบบนิเวศ มีจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างสมดุล และสามารถพิจารณาประเด็นจริยธรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น การตัดต่อยีน การโคลนนิ่ง หรือการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (GMOs) อย่างมีความรับผิดชอบ

ตาราง 2 ตัวอย่างแนวโน้มหลักสูตรชีววิทยาในต่างประเทศ

ประเทศ	ลักษณะเด่นของหลักสูตรชีววิทยา	แนวทางการจัดการเรียนรู้	จุดเน้นสำคัญ
สิงคโปร์ (MOE, 2024)	Biology Syllabus 9744 ระดับเตรียมอุดมศึกษา เน้น Core Ideas, Practices และการประยุกต์ใช้ความรู้	การเรียนรู้เชิงบริบทจริง การสืบเสาะ และการแก้ปัญหา	ความรู้เชิงลึก การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และการเชื่อมโยงกับสถานการณ์จริง
ฟินแลนด์ (EDUFI, 2020)	หลักสูตรระดับชาติเน้นสมรรถนะข้ามสาระและความยืดหยุ่นในการจัดการเรียนรู้	การเรียนรู้เชิงปรากฏการณ์ การบูรณาการข้ามสาระ และการสืบเสาะ	การบูรณาการความรู้ การคิดเชิงระบบ และการประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง
สหรัฐอเมริกา (NGSS, 2013)	มาตรฐานวิทยาศาสตร์แบบ 3 มิติ ได้แก่ Core Ideas, Science and Engineering Practices และ Crosscutting Concepts	การเรียนรู้แบบสืบเสาะ การออกแบบเชิงวิศวกรรม และการเรียนรู้จากปัญหา	การอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ การคิดเชื่อมโยง และการใช้ความรู้แก้ปัญหา
ญี่ปุ่น (MEXT, 2022)	หลักสูตรวิทยาศาสตร์มุ่งเชื่อมวิทยาศาสตร์กับสังคมและการเรียนรู้ในบริบทจริง	การเรียนรู้แบบสืบเสาะ การทดลอง และการประยุกต์ใช้ความรู้	ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ การเชื่อมโยงกับสังคม และการคิดอย่างมีเหตุผล
เกาหลีใต้ (KICE, 2022)	หลักสูตรปรับปรุงใหม่เน้นสมรรถนะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ และความยืดหยุ่นของการจัดการเรียนรู้	การสืบเสาะ การเรียนรู้จากปัญหา และการเชื่อมโยงกับสถานการณ์จริง	การคิดวิเคราะห์ การสร้างความรู้ และการใช้วิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน

หมายเหตุ: ข้อมูลสังเคราะห์จากเอกสารหลักสูตรของแต่ละประเทศ เพื่อใช้เปรียบเทียบทิศทางเชิงนโยบายและการจัดการเรียนรู้ ไม่ใช่การแปลตรงตัวจากเอกสารต้นฉบับ

จากตาราง 2 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มการพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาในระดับโลกมุ่งจากการเน้นความรู้เชิงเนื้อหาไปสู่การพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนผ่านการเรียนรู้เชิงรุก การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ การบูรณาการข้ามสาระ และการประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทจริง โดยแต่ละประเทศให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์กับชีวิตจริง การแก้ปัญหา และการออกแบบการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์และการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองมากขึ้น

นอกจากนี้ ประเทศที่มีระบบการศึกษาชั้นนำ เช่น สิงคโปร์ ฟินแลนด์ และสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาหลักสูตรที่เน้นสมรรถนะผู้เรียน การเรียนรู้จากสถานการณ์จริง และการบูรณาการข้ามศาสตร์ ควบคู่กับการประเมินผลที่หลากหลายและสอดคล้องกับการปฏิบัติจริง ขณะที่ญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ ให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์กับบริบทจริง การสืบเสาะ และการประยุกต์ใช้ความรู้ เพื่อเตรียมผู้เรียนให้พร้อมต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกยุคใหม่ สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบของการศึกษาชีววิทยาในศตวรรษที่ 21 จากการเน้นองค์ความรู้เชิงเนื้อหาไปสู่การใช้ชีววิทยา เพื่อการแก้ปัญหาและการพัฒนาผู้เรียนอย่างยั่งยืนซึ่งเป็นทิศทางสำคัญที่ประเทศไทยควรนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะ

การเปลี่ยนผ่านของแนวคิดหลักสูตรชีววิทยาโลก โดยจากการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัย (OECD, 2019; UNESCO, 2021b; EDUFI, 2020; WEF, 2023; MOE, 2024) พบว่า การปฏิรูปหลักสูตรชีววิทยาในประเทศพัฒนาแล้วมีแนวโน้มร่วม 4 ประการ ดังนี้

1. การเปลี่ยนผ่านจากหลักสูตรฐานเนื้อหา (Content-Based) สู่หลักสูตรฐานสมรรถนะ (Competency-Based) เป็นการปรับจุดเน้นจากการถ่ายทอดองค์ความรู้เชิงทฤษฎีในปริมาณมาก ไปสู่การพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ โดยอาศัยการคิดเชิงหลักฐาน (Evidence-Informed Thinking) และการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการแสวงหาคำตอบและแก้ปัญหา

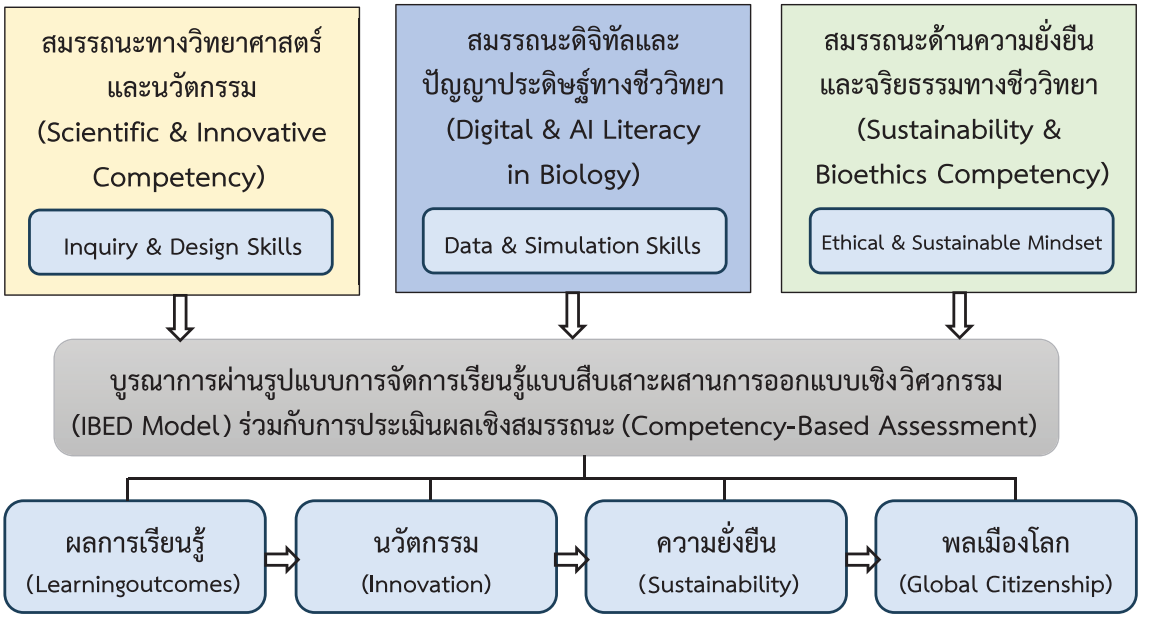
2. การบูรณาการกระบวนการสืบเสาะผสานการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Inquiry–Design Integration) เป็นการเชื่อมโยงการเรียนรู้แบบสืบเสาะกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างสรรค์แนวทางแก้ปัญหาและนวัตกรรมในบริบทจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและข้อมูลชีวภาพ (Digital Technology and Biological Data Integration) เป็นการนำสื่อดิจิทัล แหล่งข้อมูลออนไลน์ และเครื่องมือการเรียนรู้เสมือนจริง มาใช้สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ เพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดเชิงระบบ และพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงประจักษ์กับสถานการณ์จริง ทำให้เกิดความเข้าใจในระบบชีวภาพที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

4. การสร้างเสริมสมรรถนะเพื่อความยั่งยืน (Sustainability Competency) เป็นการบูรณาการแนวคิดการศึกษาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Education for Sustainable Development: ESD) เข้าเป็นส่วนหนึ่งของวิชาชีววิทยาอย่างเป็นระบบ เพื่อมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต ระบบนิเวศ และผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนตระหนักถึงความรับผิดชอบต่อทรัพยากรและความยั่งยืนของโลก

จากแนวโน้มดังกล่าวสะท้อนว่า การศึกษาชีววิทยาในศตวรรษที่ 21 กำลังเคลื่อนไปสู่แนวทางที่ให้ความสำคัญกับการประยุกต์ใช้ความรู้ การแก้ปัญหา และความยั่งยืนมากขึ้น มากกว่าการมุ่งเน้นเพียงองค์ความรู้เชิงเนื้อหาเพียงอย่างเดียว การปฏิรูปหลักสูตรในลักษณะนี้ยังสะท้อนถึงการเปลี่ยนบทบาทครูชีววิทยาจาก “ผู้ถ่ายทอดเนื้อหา” ไปสู่ “ผู้อำนวยความรู้และการเรียนรู้” ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์นิยม (Constructivism) และแนวคิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ที่เน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง การสะท้อนคิด และการเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับความรู้ใหม่

ดังนั้น การเข้าใจแนวโน้มโลกในการพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาไม่เพียงช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายและครูไทยเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของทิศทางการเรียนรู้ แต่ยังเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบ **“กรอบแนวคิดสมรรถนะชีววิทยาของไทย (Thai Biology Competency Framework: TBCF)”** ให้สามารถเทียบเคียงและเชื่อมโยงกับมาตรฐานสากลได้ในอนาคต จากกรอบสมรรถนะสากลดังกล่าวข้างต้นและแนวนโยบายการศึกษาของไทย พร้อมเชื่อมโยงกับทิศทางหลักสูตรฐานสมรรถนะและเศรษฐกิจ BCG ของประเทศไทย ผู้เขียนได้ออกแบบและสรุปเป็นกรอบแนวคิดดังนี้



ภาพ 1 กรอบแนวคิดสมรรถนะชีววิทยาของไทย (TBCF)

จากภาพ 1 กรอบแนวคิดสมรรถนะชีววิทยาของไทย (TBCF) มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีสมรรถนะทางชีววิทยาในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อการดำรงชีวิต การแก้ปัญหา และการสร้างนวัตกรรมอย่างยั่งยืน โดยตั้งอยู่บนฐานแนวคิด “ชีววิทยาเพื่อชีวิต นวัตกรรม และความยั่งยืน” (Biology for Life, Innovation, and Sustainability) กรอบดังกล่าวสะท้อนการบูรณาการความรู้ ทักษะ และคุณค่าผ่าน 3 สมรรถนะหลัก ได้แก่ สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์และนวัตกรรม สมรรถนะดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ทางชีววิทยา และสมรรถนะด้านความยั่งยืนและจริยธรรมทางชีววิทยา โดยเชื่อมโยงการจัด

การเรียนรู้กับการประเมินผลเชิงสมรรถนะ เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้สามารถเรียนรู้ สร้างสรรค์ และประยุกต์ใช้ชีววิทยาได้อย่างเหมาะสมกับบริบทจริง สอดคล้องกับแนวทางหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะของประเทศไทย (สพฐ., 2567; สบน., 2567)

องค์ประกอบหลักของกรอบสมรรถนะชีววิทยาของไทย (Core Domains of TBCF) ประกอบด้วย 3 มิติสมรรถนะหลัก (Core Competency Dimensions) และ 9 สมรรถนะย่อย (Sub-Competencies) ดังนี้

ตาราง 3 องค์ประกอบหลักของกรอบสมรรถนะชีววิทยาของไทย

มิติสมรรถนะหลัก	สมรรถนะย่อย	คำอธิบายโดยย่อ
1. สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์และนวัตกรรม (Scientific and Innovative Competency)	1.1 การตั้งคำถามและสร้างสมมติฐานทางชีววิทยา 1.2 การออกแบบและดำเนินการทดลองทางชีววิทยา 1.3 การสร้างนวัตกรรมหรือแนวทางแก้ปัญหาจากผลการเรียนรู้ทางชีววิทยา	พัฒนาความสามารถในการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์ เพื่อนำความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาและสร้างนวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อสังคม
2. สมรรถนะดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ทางชีววิทยา (Digital and AI Literacy in Biology)	2.1 การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและฐานข้อมูลชีวสารสนเทศ 2.2 การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลทางชีววิทยาด้วยเครื่องมือ AI 2.3 การออกแบบสื่อและแบบจำลองชีววิทยาดิจิทัล (Simulation & Visualization)	เน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อจำลองสถานการณ์ชีววิทยา วิเคราะห์ข้อมูลพันธุกรรม และสร้างความเข้าใจเชิงลึกในระดับโมเลกุลและระบบ
3. สมรรถนะด้านความยั่งยืนและจริยธรรมทางชีววิทยา (Sustainability and Bioethics Competency)	3.1 การตระหนักรู้ผลกระทบของเทคโนโลยีชีวภาพต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม 3.2 การตัดสินใจอย่างมีจริยธรรมในการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ 3.3 การมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชนและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน	ส่งเสริมความรับผิดชอบต่อสังคม การใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างสมดุล และการพัฒนาความคิดเชิงจริยธรรมในประเด็นชีววิทยาสมัยใหม่

ทิศทางและนโยบายหลักสูตรชีววิทยาไทยในทศวรรษใหม่ (พ.ศ. 2570-2579)

ประเทศไทยได้เริ่มขับเคลื่อนการปฏิรูปการศึกษาภายใต้กรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) และแผนการศึกษาแห่งชาติ (พ.ศ. 2560-2579) โดยมุ่งสู่การพัฒนาคนไทยให้มีสมรรถนะและทักษะที่จำเป็นต่อโลกอนาคต ภายใต้แนวคิดหลักสูตรฐานสมรรถนะซึ่งเป็นแนวทางหลักของการปรับปรุงหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานในอนาคต (กระทรวงศึกษาธิการ, 2567;

สกศ., 2560) แนวนโยบายดังกล่าวสะท้อนการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของระบบการศึกษาจากการเน้นเนื้อหาและผลการสอบไปสู่การพัฒนาผู้เรียนแบบองค์รวม โดยในส่วนของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอยู่ภายใต้การดำเนินงานของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (2560ข) ได้กำหนดกรอบแนวทางของหลักสูตรชีววิทยาโดยมีทิศทางสอดคล้องกับนโยบายขององค์การระหว่างประเทศ (OECD, 2019; UNESCO, 2021b; WEF, 2023) เพื่อยกระดับการเรียนรู้ชีววิทยาของไทยให้เทียบเคียงมาตรฐานสากล ผู้เขียนได้สังเคราะห์และเสนอกรอบพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะใหม่ใน 4 มิติหลัก ดังนี้

1. มิติองค์ความรู้ทางชีววิทยาสมัยใหม่ (Modern Biology Content) มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดหลักในระดับโมเลกุล เซลล์ ระบบนิเวศ และชีววิทยาเชิงสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งเรียนรู้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น จีโนมิกส์ ชีววิทยาสังเคราะห์ และเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการแพทย์ (Biomedical Biotechnology)

2. มิติทักษะสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Competency) พัฒนาทักษะการตั้งคำถาม การออกแบบการทดลอง การใช้ข้อมูลและหลักฐานเชิงประจักษ์ รวมถึงการสื่อสารผลการวิจัยทางชีววิทยาอย่างมีเหตุผลและสร้างสรรค์ เพื่อสร้างผู้เรียนที่มีความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์และสามารถใช้ความรู้ในการแก้ปัญหาได้จริง

3. มิติทักษะดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ (Digital and AI Literacy) ส่งเสริมให้ผู้เรียนใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนรู้ชีววิทยา เช่น การใช้ฐานข้อมูลชีวสารสนเทศ โปรแกรมจำลองการทำงานของเซลล์ และเครื่องมือ AI สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลพันธุกรรม เพื่อเชื่อมโยงชีววิทยากับเทคโนโลยีสมัยใหม่

4. มิติความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม (Sustainability and Bioethics) ปลูกฝังจิตสำนึกด้านจริยธรรมและความยั่งยืน โดยให้ผู้เรียนตระหนักถึงผลกระทบของเทคโนโลยีชีวภาพต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม รวมถึงการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างสมดุล สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของสหประชาชาติ

นอกจากนี้ นโยบายไทยได้ผลักดันแนวทาง BCG Education Model ซึ่งบูรณาการชีววิทยาเข้ากับนวัตกรรมเศรษฐกิจหมุนเวียนและสิ่งแวดล้อม ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน (Project-Based Learning) และแบบสืบเสาะผสานการออกแบบ เพื่อสร้างผู้เรียนที่สามารถใช้ความรู้ชีววิทยาในการพัฒนาเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมเพื่อสังคม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2567) ตัวอย่างเช่น โครงการสะเต็มบีซีจี (STEM-BCG) ที่ส่งเสริมให้โรงเรียนใช้ชีววิทยาเป็นฐานในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น โดยบูรณาการกับเทคโนโลยีและเศรษฐกิจชุมชน เพื่อยกระดับผู้เรียนสู่การเป็นนักนวัตกรตามความต้องการของประเทศ

จากแนวทางและนโยบายดังกล่าวจะเห็นได้ว่า หลักสูตรชีววิทยาไทยในทศวรรษใหม่มิได้เป็นเพียงการปรับปรุงเนื้อหาวิชาเท่านั้น แต่เป็นการปฏิรูปเชิงระบบที่เชื่อมโยงระหว่างหลักสูตร การเรียนการสอนการประเมินผล และการพัฒนาครู ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของโลกยุคชีวดิจิทัล (Bio-Digital Era) การขับเคลื่อนนโยบายนี้อย่างเป็นรูปธรรมจะมีส่วนสำคัญต่อการยกระดับสมรรถนะผู้เรียนไทยให้สามารถแข่งขันในระดับนานาชาติ และนำความรู้ชีววิทยาไปใช้ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนในอนาคต

แนวทางพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะและนวัตกรรม (Guidelines for Developing a Competency-Based and Innovative Biology Curriculum)

จากผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของโลกและนโยบายการศึกษาของไทยในทศวรรษใหม่ การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาไทยให้มีประสิทธิภาพและเทียบเท่ามาตรฐานสากลจำเป็นต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบ โดยมุ่งบูรณาการองค์ความรู้ ทักษะ และคุณค่าเข้าด้วยกัน ภายใต้แนวคิดการพัฒนาหลักสูตรแบบมุ่งสมรรถนะและนวัตกรรม (Competency-Based and Innovation-Oriented Curriculum Design) ทั้งนี้ สามารถกำหนดแนวทางการพัฒนาได้ 5 ด้านสำคัญ ดังนี้

1. ด้านโครงสร้างหลักสูตร (Curriculum Structure)

ปัจจุบันหลักสูตรชีววิทยาไทยยังคงมีลักษณะเนื้อหาแน่นและซ้ำซ้อน ทำให้ผู้เรียนเรียนรู้แบบผิวเผินและไม่เห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาวิชา การพัฒนาหลักสูตรใหม่จึงควรปรับให้เป็นโครงสร้างแบบโมดูล (Modular Curriculum) ที่เปิดโอกาสให้โรงเรียนหรือครูสามารถเลือกและออกแบบหน่วยการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับบริบทท้องถิ่น เช่น ชีววิทยาชุมชนเมืองหรือชีววิทยาเกษตรยั่งยืน (สบน., 2567) โดยลดการซ้ำซ้อนระหว่างรายวิชาพื้นฐานและเพิ่มเติม ผ่านแนวทางการเชื่อมโยงแนวตั้งของสาระและทักษะตามระดับชั้น (Vertical Integration) เพื่อให้ผู้เรียนเห็นภาพการต่อยอดของความรู้ และควรจัดลำดับเนื้อหาในลักษณะหลักสูตรแบบเกลียว (Spiral Curriculum) ตามแนวคิดของ Bruner (1960) พร้อมเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเลือกเส้นทางการเรียนรู้ตามความสนใจและบริบทของตนเอง

2. ด้านการออกแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้ (Pedagogical Design)

การจัดการเรียนรู้ชีววิทยาควรเปลี่ยนจากการสอนเพื่อจำไปสู่การเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผสานการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Inquiry-Based Engineering Design: IBED Model) ผสมผสานการตั้งคำถาม การสืบเสาะ การออกแบบต้นแบบ และการประเมินผลเพื่อสร้างทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาเชิงนวัตกรรม นอกจากนี้ควรส่งเสริมรูปแบบการเรียนรู้เชิงโครงงานและการเรียนรู้ผ่านปัญหาจริง (Problem-Based Learning) เพื่อให้ผู้เรียนเชื่อมโยงชีววิทยากับบริบทชีวิตจริง เช่น การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศในพื้นที่ชุมชน หรือการออกแบบนวัตกรรมชีวภาพเพื่อสิ่งแวดล้อม

3. ด้านเทคโนโลยีและการเรียนรู้ดิจิทัล (Digital Learning and Technology Integration)

เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นหัวใจสำคัญของหลักสูตรชีววิทยายุคใหม่ การเรียนรู้ชีววิทยาควรใช้เครื่องมือเทคโนโลยี เช่น AI, Simulation, Virtual Labs และ Bioinformatics Platforms เพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบจำลองเสมือนจริงที่ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจโครงสร้างและกระบวนการของสิ่งมีชีวิตในระดับโมเลกุลหรือระบบได้อย่างลึกซึ้ง แนวคิด “AI literacy in Biology” ควรถูกบูรณาการเข้าสู่หลักสูตร โดยเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการจำแนกพันธุ์สิ่งมีชีวิต วิเคราะห์ข้อมูลจีโนม หรือสร้างแบบจำลองการแพร่ระบาดของโรค ซึ่งจะช่วยเตรียมความพร้อมผู้เรียนเข้าสู่สาขาอาชีพใหม่ในยุคชีวดิจิทัล

4. ด้านการประเมินผลเพื่อการเรียนรู้ (Assessment for Learning)

ระบบการประเมินผลควรเปลี่ยนจากการเน้นการสอบปลายภาค (Summative Assessment) ไปสู่การประเมินสมรรถนะเชิงปฏิบัติ (Authentic and Performance-Based Assessment) ซึ่งวัดความสามารถในการใช้ความรู้และทักษะในสถานการณ์จริง เช่น Portfolio, Project Presentation, Performance Task หรือ Rubric-Based Competency Assessment โดยควรกำหนดรูบริกสมรรถนะกลาง (National Competency Rubrics) (สบน., 2567) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานการประเมินร่วมกันทั่วประเทศ พร้อมเปิดโอกาสให้ครูและนักเรียนมีส่วนร่วมในการประเมินเพื่อสร้างการเรียนรู้เชิงสะท้อนคิด

5. ด้านการพัฒนาสมรรถนะครูชีววิทยา (Biology Teacher Competency Development)

ครูชีววิทยาในทศวรรษใหม่ต้องเปลี่ยนบทบาทจากผู้สอนเป็นผู้ออกแบบการเรียนรู้ (Learning Designer) ที่สามารถผสมผสานเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับเทคโนโลยีและการวิจัยเชิงนวัตกรรมได้อย่างยืดหยุ่น การพัฒนาครูควรเน้นชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (Professional Learning Community; PLC) ที่เปิดโอกาสให้ครูแลกเปลี่ยนเรียนรู้และสร้างสื่อการสอนร่วมกัน ควรจัดให้มีหลักสูตรอบรมครูชีววิทยาดิจิทัลเพื่อเสริมทักษะการใช้ AI การออกแบบหลักสูตรฐานสมรรถนะ การสร้างกิจกรรมแบบสืบเสาะผสานการออกแบบเชิงวิศวกรรม และการใช้แพลตฟอร์มเสมือนจริงในการสอนการยกระดับสมรรถนะครูจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะเกิดขึ้นได้จริงและยั่งยืน

ดังนั้น การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะในทศวรรษใหม่ พ.ศ. 2570-2579 ควรมุ่งสู่การสร้างระบบการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น (Flexible) เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (Student-Oriented) และบูรณาการเทคโนโลยี (Tech-Integrated Learning) เพื่อสร้างผู้เรียนที่สามารถใช้ความรู้ชีววิทยาในการคิดวิเคราะห์ ออกแบบ และสร้างนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนของชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้อย่างแท้จริง

ข้อเสนอเชิงนโยบายและข้อเสนอแนะเพื่ออนาคต (Policy Recommendations and Future Directions)

จากผลการสังเคราะห์แนวโน้มโลกและการวิเคราะห์บริบทของประเทศไทยในช่วงทศวรรษใหม่ การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะจำเป็นต้องดำเนินการภายใต้กรอบเชิงนโยบายที่ชัดเจน มีระบบสนับสนุนเชิงวิชาการ และกลไกความร่วมมือระหว่างหน่วยงานหลัก เพื่อยกระดับคุณภาพการเรียนรู้ชีววิทยาให้ก้าวทันการเปลี่ยนแปลงของโลกยุคชีวดิจิทัล และตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศ (สกศ., 2560; UNESCO, 2021b; OECD, 2019) ผู้เขียนจึงเสนอแนวทางเชิงนโยบายและข้อเสนอแนะเพื่อการขับเคลื่อนในอนาคต 3 ระดับ ดังนี้

1. ระดับรัฐบาลหรือหน่วยงานรัฐและองค์กรที่เกี่ยวข้อง

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบัน หรือหน่วยงานรัฐและองค์กรที่เกี่ยวข้องควรจัดตั้งหน่วยงานที่รับผิดชอบหรือศูนย์วิจัยและพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงนวัตกรรม (Center for Innovative Biology Curriculum Research and Development) เพื่อทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการรวบรวมข้อมูลแนวโน้มหลักสูตรชีววิทยาระดับโลก วิจัยและพัฒนาเครื่องมือการเรียนรู้ดิจิทัล เช่น แพลตฟอร์ม Virtual Biology Lab ระบบประเมินสมรรถนะชีววิทยา (Biology Competency Assessment System) และคลังสื่อ Bio-AI Learning Hub หน่วยงานดังกล่าวจะมีบทบาทสำคัญในการประสานความร่วมมือระหว่างหน่วยงานวิชาการ มหาวิทยาลัย และโรงเรียน เพื่อสร้างระบบหลักสูตรที่มีความยืดหยุ่นและตอบสนองบริบทของประเทศ โดยใช้ข้อมูลเชิงหลักฐานในการออกแบบและประเมินผล (OECD, 2025)

ทั้งนี้ อาจพัฒนา “ชุดกิจกรรมต้นแบบ BioSTEAM for Future” ที่บูรณาการชีววิทยากับวิศวกรรม เทคโนโลยี และศิลปะ เพื่อส่งเสริมสมรรถนะผู้เรียนในด้านการคิดเชิงระบบ การแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ และการออกแบบนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม โดยกิจกรรมในชุดควรมีลักษณะเป็นหน่วยการเรียนรู้เปิด (Open Module) ที่สามารถปรับใช้ได้ทั้งในโรงเรียนทั่วไป โรงเรียนวิทยาศาสตร์ และโรงเรียนพื้นที่พิเศษ เช่น โครงการนวัตกรรมชีววิทยาเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Biology Innovation Projects) ที่ให้ผู้เรียนออกแบบแนวทางลดขยะชีวภาพหรือเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืชในชุมชน โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผสานการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นกรอบหลัก (Huling & Dwyer, 2018)

2. ระดับสถานศึกษา

สถานศึกษาควรพัฒนาหลักสูตรสถานศึกษาเชิงพื้นที่ (Localized Biology Curriculum) ที่เชื่อมโยงเนื้อหาชีววิทยากับปัญหาในท้องถิ่น เช่น ปัญหาคุณภาพน้ำ ดิน หรือความหลากหลายทางชีวภาพของพื้นที่ โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้เชิงบูรณาการและการเรียนรู้เชิงโครงงาน (สบน., 2567) เพื่อให้ผู้เรียนมีโอกาสเรียนรู้จากบริบทจริงของชุมชนตนเอง การออกแบบหลักสูตรเชิงพื้นที่จะช่วยให้

ชีววิทยาเป็นเครื่องมือแห่งการเปลี่ยนแปลงชุมชน และสร้างการเรียนรู้ที่มีความหมาย (Meaningful Learning) ตามแนวคิดของ Ausubel (1968) ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การกระจายอำนาจทางการศึกษาและแนวทาง “One School, One Innovation” ของกระทรวงศึกษาธิการ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2567)

3. ระดับครูผู้สอนชีววิทยา

ครูชีววิทยาควรได้รับการอบรมและพัฒนาสมรรถนะอย่างต่อเนื่องในด้าน AI และ Bioinformatics Education เพื่อให้สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลทางชีววิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้ฐานข้อมูลจีโนม (Genomic Databases) โปรแกรมวิเคราะห์ลำดับยีน (Sequence Analysis Software) และแพลตฟอร์ม AI สำหรับจำแนกสิ่งมีชีวิต กระบวนการพัฒนาครูควรเน้นรูปแบบการเรียนรู้จากการปฏิบัติจริง (Learning by Doing) และชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) เพื่อสร้างครูต้นแบบที่มีสมรรถนะด้านการออกแบบการเรียนรู้เชิงนวัตกรรม (สสวท., 2565; UNESCO, 2021b)

ข้อเสนอเชิงนโยบายทั้ง 3 ระดับนี้มุ่งสร้างระบบการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาไทยที่มีความเชื่อมโยงระหว่างนโยบาย หลักสูตร ครู และผู้เรียน อย่างเป็นเอกภาพ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างผู้เรียนที่มีสมรรถนะทางชีววิทยา เข้าใจเทคโนโลยีดิจิทัล และมีจิตสำนึกด้านความยั่งยืน ซึ่งจะเป็นพื้นฐานของการพัฒนาประเทศตามแนวทางเศรษฐกิจ BCG และเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) ในอนาคต

บทสรุป

การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาไทยสู่ทศวรรษใหม่เป็นภารกิจสำคัญที่ต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบ เพื่อให้การเรียนรู้ชีววิทยาไม่เพียงมุ่งสู่ความรู้ทางทฤษฎี แต่ขยายไปสู่สมรรถนะเชิงปฏิบัติและนวัตกรรมที่ผู้เรียนสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างยั่งยืน บทความนี้จึงได้สังเคราะห์แนวโน้มระดับโลก นโยบายไทย และแนวทางเชิงนวัตกรรมที่ชี้ให้เห็นว่า แนวคิดหลักสูตรฐานสมรรถนะกำลังกลายเป็นกรอบการปฏิรูปหลักสูตรชีววิทยาที่สำคัญในศตวรรษที่ 21

แนวโน้มโลกสะท้อนว่าหลักสูตรชีววิทยาในหลายประเทศได้ปรับจากเนื้อหาวิชาชีพเฉพาะสู่การพัฒนาสมรรถนะหลัก 3 ด้าน ได้แก่ สมรรถนะด้านความรอบรู้ทางวิทยาศาสตร์ สมรรถนะด้านเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ทางชีววิทยา และสมรรถนะด้านความยั่งยืนและจริยธรรมทางชีววิทยา ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถคิดเชิงระบบ วิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ และตัดสินใจเชิงจริยธรรมได้อย่างมีวิจารณญาณ ขณะที่บริบทของประเทศไทยเองกำลังปรับนโยบายตามยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 เพื่อสร้างระบบหลักสูตรฐานสมรรถนะที่ตอบโจทย์โลกอนาคตและเศรษฐกิจฐานชีวภาพ

แนวทางการพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะควรมุ่งเน้น 5 มิติหลัก ได้แก่ 1) การปรับโครงสร้างหลักสูตรให้ยืดหยุ่นและไม่ซ้ำซ้อน 2) การออกแบบกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะผสานการออกแบบ 3) การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและ AI เพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้เสมือนจริง 4) การประเมินสมรรถนะเชิงปฏิบัติแทนการสอบแบบท่องจำ และ 5) การยกระดับสมรรถนะครูชีววิทยาให้เป็นผู้ออกแบบการเรียนรู้เชิงนวัตกรรม ทั้งหมดนี้ต้องดำเนินการควบคู่กับการสร้างระบบนโยบายสนับสนุนอย่างมีเอกภาพ โดยเฉพาะการจัดตั้งหน่วยงานหรือศูนย์วิจัยหลักสูตรชีววิทยาเชิงนวัตกรรม การพัฒนาโมดูล BioSTEAM for Future และการส่งเสริมหลักสูตรสถานศึกษาเชิงพื้นที่

โดยสรุป หลักสูตรชีววิทยาเชิงสมรรถนะสู่ทศวรรษใหม่ควรเป็นหลักสูตรที่ยืดหยุ่น บูรณาการดิจิทัล และยั่งยืน ซึ่งไม่เพียงถ่ายทอดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แต่ยังพัฒนาผู้เรียนให้เป็นพลเมืองชีววิทยาแห่งอนาคตที่มีความคิดสร้างสรรค์ มีคุณธรรมทางวิทยาศาสตร์ และมีจิตสำนึกต่อสิ่งแวดล้อม บทความนี้จึงมุ่งเสนอแนวทางเชิงนโยบายและนวัตกรรมเพื่อยกระดับชีววิทยาให้เป็นพลังขับเคลื่อนสำคัญของการศึกษาชาติไทยสู่สังคมแห่งความรู้ นวัตกรรม และความยั่งยืนในศตวรรษที่ 21

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2567). *นโยบายการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568-2569*. สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ. https://www.moe.go.th/นโยบายการศึกษา68-69/

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2557). *รูปแบบการเรียนการสอนที่พัฒนากระบวนการคิดระดับสูง วิชาชีววิทยา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย*. https://biology.ipst.ac.th /?p=688

_____. (2560ก). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)*. https://www.ipst.ac.th/curriculum

_____. (2560ข). *คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 วิชาชีววิทยา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย*. https://www.scimath.org/e-books/8416/flippingbook/78/

_____. (2565). *สสวท. พัฒนาครูจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะทันโลกยุคใหม่ตามแผน 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570)*. https://www.ipst.ac.th/news/28579/20220614-ipst-3i-2h.html

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.). (2567). *ประเด็นการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะตามห่วงโซ่คุณค่า*. กระทรวงศึกษาธิการ. https://www.moe.go.th/wp-content/uploads/2024/11/4.1--ประเด็นการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ.pdf

สำนักงานบริหารพื้นที่นวัตกรรมการศึกษา (สบน.). (2567). *คู่มือการจัดทำหลักสูตรสถานศึกษาฐานสมรรถนะ*. https://www.edusandbox.com /13-3-24-cbe/

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.). (2567). *รายงานสถานการณ์วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปี 2566-2567*. https://www.tsri.or.th/

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (สกศ.). (2560). *แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579*. กระทรวงศึกษาธิการ. https://www.moe.go.th/แผนการศึกษาแห่งชาติ-พ-ศ-2560/

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2567). *รายงานประจำปี 2567*. https://www.nstda.or.th/home/nstda_post/annual-report-2567/

สุภิสรา สมศรี, พรสวรรค์ หล่อวงษ์ และ พัชนี วงค์ตา. (2567). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อพัฒนาการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ เรื่องสภาพสมดุลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต, 15*(1), 151-166.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston.

Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. Harvard University Press. https://www.hup.harvard.edu/books/9780674710016

Finnish National Agency for Education (EDUFI). (2020). *National Core Curriculum for General Upper Secondary Education*. https://www.oph.fi/en/national-core-curriculum-general-upper-secondary-education

Huling, M., & Dwyer, J. S. (2018). *Designing Meaningful STEM Lessons*. NSTA Press.

International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA). (2020). *TIMSS 2019 International Results in Mathematics and Science*. https://timss2019.org/reports/

Korea Institute for Curriculum and Evaluation (KICE). (2022). *2022 Revised National Curriculum (Science and Biology Sections)*. http://kice.re.kr

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (MEXT). (2022). *Course of Study for Science Education (Science for Society Integration)*. https://www.mext.go.jp/en/ unesco/title04/detail04/sdetail04/1375712.htm

Ministry of Education, Singapore (MOE). (2024). *A-Level H2 Biology Syllabus (9744)*. Singapore Examinations and Assessment Board. https://www.seab.gov.sg/docs/default-source/ national-examinations/syllabus/alevel/2025/9744_y25_sy.pdf

Next Generation Science Standards (NGSS). (2013). *High School Life Science*. https://www.next genscience.org/sites/default/files/HS%20LS%20topics%20combined%206.13.13.pdf

Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD). (2019). *The Future of Education and Skills 2030*. https://www.oecd.org/en/about/projects/future-of-education-and-skills-2030.html

_____. (2023). *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/53f23881-en

_____. (2025). *What Should Teachers Teach and Students Learn in a Future of Powerful AI?.* OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/what-should-teachers-teach-and-students-learn-in-a-future-of-powerful-ai_ca56c7d6-en.html

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). (2021a). *AI and Education: Guidance for Policy-Makers*. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles /ai-and-education-guidance-policy-makers

_____. (2021b). *Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education*. UNESCO. https://www.unesco.org/en/articles/reimagining-our-futures-together-new-social-contract-education

World Economic Forum. (2023). *The Future of Jobs Report 2023*. https://www.weforum.org/ publications/the-future-of-jobs-report-2023/

_____. (2025). *The Future of Jobs Report 2025*. https://www.weforum.org/ publications/the-future-of-jobs-report-2025/