Academic Article

วารสารนวัตกรรมองค์การและการจัดการ
Journal of Organizational Innovation and Management
ISSN 3088–2850 (Online)
https://so16.tci-thaijo.org/index.php/JOIM

การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์กับวงจร PDCA เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมการผลิต

Artificial Intelligence–Driven PDCA Cycle for Continuous Environmental Management in the Manufacturing Industry

เอกโรจ สุณาวงษ์[1*], โกวิทย์ ปิ่นสุวรรณ์[2]
Aekkaroj Sunawong[1*], Kowit Pinsuwan[2]
นักวิชาการอิสระด้านนวัตกรรมการจัดการและการจัดการองค์การ ประเทศไทย[1*], นักวิชาการอิสระด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ประเทศไทย[2]
Independent Researcher in Management Innovation and Industrial Management, Thailand[1*], Independent Researcher in Environmental Management and Industrial Sustainability, Thailand[2]

Received: January 27, 2026 **Revised:** March 18, 2026 **Accepted:** March 22, 2026 **Published:** March 30, 2026

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตทั่วโลกกำลังเผชิญแรงกดดันด้านสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง และการปล่อยมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ สุขภาพของมนุษย์ และความยั่งยืนของธุรกิจ ภายใต้กรอบนโยบายและมาตรฐานสากล เช่น เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) แนวคิดด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล (ESG) และมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14001 องค์กรจำเป็นต้องยกระดับระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมให้สามารถวัดผล ติดตาม และปรับปรุงได้อย่างต่อเนื่อง

บทความนี้เป็น บทความเชิงแนวคิด (Conceptual Paper) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกรอบแนวคิดการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ร่วมกับวงจร PDCA (Plan–Do–Check–Act) เพื่อสนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมการผลิต โดยกรอบแนวคิดที่เสนออธิบายบทบาทของ AI ในแต่ละขั้นของวงจร PDCA ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลและการวางแผนเชิงคาดการณ์ (Plan) การควบคุมและติดตามกระบวนการแบบเรียลไทม์ผ่านเทคโนโลยีดิจิทัล (Do) การตรวจสอบผลการดำเนินงานผ่านระบบวิเคราะห์ข้อมูลและแดชบอร์ดด้านสิ่งแวดล้อม (Check) และการวิเคราะห์สาเหตุรากและการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง (Act)

กรอบแนวคิดดังกล่าวมีศักยภาพในการสนับสนุนการยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมขององค์กรอุตสาหกรรม ผ่านการใช้ข้อมูลเชิงลึกและเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันขององค์กร ภายใต้บริบทของการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนและแนวคิดอุตสาหกรรม 5.0

คำสำคัญ: วงจร PDCA, ปัญญาประดิษฐ์, การจัดการสิ่งแวดล้อม, อุตสาหกรรมการผลิต

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

Abstract

The global manufacturing industry is increasingly confronted with significant environmental pressures arising from climate change, inefficient resource utilization, and pollutant emissions that adversely affect ecosystems, human health, and long-term business sustainability. Within the context of international policy frameworks and standards, including the Sustainable Development Goals (SDGs), Environmental, Social, and Governance (ESG) principles, and the ISO 14001 environmental management standard, organizations are required to enhance environmental management systems that are measurable, monitorable, and capable of continuous improvement.

This article is a conceptual paper that proposes an integrated framework combining Artificial Intelligence (AI) with the PDCA (Plan–Do–Check–Act) cycle to support continuous environmental management in the manufacturing industry. The proposed framework explains the role of AI across each stage of the PDCA cycle: environmental data analysis and predictive planning (Plan), process control and real-time monitoring through digital technologies (Do), performance evaluation using data analytics and environmental dashboards (Check), and root cause analysis together with continuous process improvement (Act).

The proposed conceptual framework provides a systematic perspective for enhancing environmental management practices in industrial organizations through the utilization of advanced data analytics and digital technologies. Such integration can contribute to improving resource efficiency, reducing greenhouse gas emissions, and strengthening organizational competitiveness within the broader context of sustainable industrial development and the principles of Industry 5.0.

Keywords: PDCA Cycle, Artificial Intelligence (AI), Environmental Management, Manufacturing Industry

บทนำ

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมการผลิตทั่วโลกกำลังเผชิญความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างเข้มข้น และการปล่อยมลพิษจากกระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ สุขภาพของมนุษย์ และความยั่งยืนของเศรษฐกิจในระยะยาว ภายใต้บริบทดังกล่าว องค์กรระหว่างประเทศและภาครัฐในหลายประเทศได้กำหนดกรอบนโยบายและมาตรฐานเพื่อส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมดำเนินงานอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เช่น เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) แนวคิดด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล (Environmental, Social, and Governance: ESG) และมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14001 ซึ่งมุ่งเน้นการบริหารจัดการผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (United Nations, 2020; International Organization for Standardization, 2015)

ในบริบทของประเทศไทย ภาคอุตสาหกรรมการผลิตเป็นกลไกสำคัญของเศรษฐกิจและห่วงโซ่อุปทานโลก แต่ขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางสิ่งแวดล้อม หน่วยงานภาครัฐจึงได้ส่งเสริมให้สถานประกอบการนำเครื่องมือด้านการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาใช้ เช่น

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

การคำนวณรอยเท้าคาร์บอนระดับองค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint of Product: CFP) และกรอบการบริหารจัดการสมดุลคาร์บอนและสิ่งแวดล้อม (Carbon Balance and Environmental Management: CBEM) อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้เครื่องมือดังกล่าวยังเผชิญข้อจำกัดด้านความซับซ้อนของข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล และความสามารถในการติดตามผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้เปิดโอกาสใหม่ในการยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจาก AI สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก คาดการณ์แนวโน้ม และสนับสนุนการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า AI สามารถช่วยลดการใช้พลังงาน ตรวจจับของเสียในกระบวนการผลิต และคาดการณ์การปล่อยมลพิษล่วงหน้าได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ AI ในระดับเทคโนโลยีหรือเฉพาะกระบวนการ ขณะที่ยังขาดกรอบแนวคิดเชิงระบบที่เชื่อมโยงการใช้ AI เข้ากับกลไกการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในระดับองค์กร วงจรการบริหารจัดการ PDCA (Plan–Do–Check–Act) ซึ่งเป็นแนวคิดสำคัญด้านการพัฒนาองค์กรและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง จึงมีศักยภาพในการทำหน้าที่เป็นโครงสร้างสำหรับการบูรณาการเทคโนโลยี AI เข้ากับการจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การวางแผน การดำเนินงาน การติดตามผล และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Deming, 1986; Imai, 1986**;** Oakland, 2014)

ดังนั้น บทความฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอกรอบแนวคิดเชิงบูรณาการในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับวงจร PDCA สำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการด้านการบูรณาการเทคโนโลยีกับการจัดการเชิงระบบ และสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตสู่บริบทของอุตสาหกรรม 5.0 ที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีอัจฉริยะ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเสนอกรอบแนวคิดการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้ากับวงจร PDCA สำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิต
2. เพื่ออธิบายบทบาทของ AI ในการสนับสนุนการวางแผน การดำเนินการ การตรวจสอบ และการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง
3. เพื่อสะท้อนคุณค่าทางวิชาการและเชิงปฏิบัติของการจัดการสิ่งแวดล้อมภายใต้บริบทความยั่งยืนและอุตสาหกรรม 5.0

ปัญหาด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิต

1. การใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ อุตสาหกรรมการผลิตจำนวนมากยังใช้พลังงาน น้ำ และวัตถุดิบในปริมาณสูงเกินความจำเป็น เนื่องจากขาดระบบบริหารจัดการที่สามารถปรับโหลดการผลิตให้เหมาะสมตามความต้องการจริง และขาดมาตรการนำทรัพยากรกลับมาใช้ซ้ำ (United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], 2017)

2. การปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจก โรงงานจำนวนไม่น้อยปล่อย CO_2, CH_4, N_2O และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ในปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐาน รวมถึงฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) และสารระเหยอินทรีย์ (VOCs) ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของชุมชน (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022) ปัญหานี้รุนแรงขึ้นเพราะขาดการตรวจสอบแบบ Real-time และการตอบสนองเชิงรุก

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

3. การจัดการของเสียอุตสาหกรรมที่ไม่เหมาะสม ของเสียหลายประเภทไม่ได้ถูกคัดแยกอย่างถูกต้อง ทำให้วัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ถูกนำไปกำจัด และของเสียอันตรายบางส่วนไม่ได้รับการจัดการตามมาตรฐานสากล รวมถึงขาดระบบการจัดการ

4. ข้อจำกัดของระบบบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม หลายองค์กรยังขาดข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่ถูกต้องและทันเวลา ส่งผลให้การตัดสินใจเป็นเชิงรับมากกว่าเชิงรุก และไม่สามารถใช้การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analysis) เพื่อป้องกันปัญหาได้ (Lee et al., 2023) นอกจากนี้ บุคลากรยังขาดทักษะด้านเทคโนโลยีดิจิทัลและ AI เพื่อใช้สนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อมบบติดตามย้อนกลับของกระบวนการจัดการของเสีย (Pollution Control Department, 2021)

5. ความท้าทายด้านกฎหมายและมาตรฐาน การดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมในบางโรงงานยังไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎหมายและมาตรฐาน เช่น ISO 14001 รวมถึงมาตรการติดตาม Carbon Footprint of Organization (CFO), Carbon Footprint of Product (CFP) และ Carbon Balance and Environmental Management (CBEM) ซึ่งต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากและกระบวนการเก็บข้อมูลที่ซับซ้อน (Thailand Greenhouse Gas Management Organization [TGO], 2022)

6. แรงกดดันจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ผู้บริโภค คู่ค้า และนักลงทุนให้ความสำคัญกับความโปร่งใสด้านสิ่งแวดล้อม และคาดหวังให้โรงงานมีการรายงานข้อมูล ESG และแผน Net Zero Carbon ที่ชัดเจน (World Economic Forum, 2021) ขณะที่ชุมชนรอบพื้นที่อุตสาหกรรมต้องการเห็นมาตรการป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง

ปัญหาด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคการผลิตเกิดจาก การขาดข้อมูลที่ทันเวลาและแม่นยำ, ขาดการใช้เทคโนโลยีสนับสนุนการตัดสินใจ, และ การดำเนินงานที่ไม่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล ซึ่งนำไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง การปล่อยมลพิษเกินมาตรฐาน และการสูญเสียโอกาสในการแข่งขัน การนำ AI มาผสานกับ วงจร PDCA และกรอบมาตรฐาน CFO, CFP, CBEM จึงเป็นแนวทางที่ช่วยยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้น

เพื่อตอบสนองต่อความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมที่ภาคการผลิตทั่วโลกกำลังเผชิญ หลายองค์กรชั้นนำได้ริเริ่มนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดยเฉพาะ ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ร่วมกับแนวคิดการจัดการอย่าง วงจร PDCA และกรอบมาตรฐานสากล อาทิ CFO, CFP และ CBEM มาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความยั่งยืนในระยะยาว กรณีศึกษาจากประเทศต่าง ๆ ต่อไปนี้ แสดงให้เห็นถึงแนวทาง มาตรการ และผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรม ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงทิศทางการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิตระดับโลกดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กรณีศึกษาจากต่างประเทศ

ประเทศญี่ปุ่น บริษัท Toyota Motor Corporation	แนวทาง: นำ Toyota Environmental Challenge 2050 มาใช้ เพื่อมุ่งสู่การลดการปล่อย CO_2 เป็นศูนย์ (Carbon Neutrality) ในทุกกระบวนการผลิต มาตรการ: ใช้ระบบ Energy Monitoring AI ในโรงงาน เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานแบบ Real-time ใช้เทคโนโลยีรีไซเคิลน้ำและระบบ Heat Recovery ลดการใช้พลังงานความร้อน นำแนวคิด Kaizen มาผสานกับมาตรการสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต ผลลัพธ์: ลดการปล่อย CO_2 ต่อหน่วยการผลิตได้มากกว่า 35% เมื่อเทียบกับปีฐาน 2010 (Toyota, 2022)

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

ประเทศเยอรมนี บริษัท Siemens AG	แนวทาง: ใช้ Digital Twin และ AI Predictive Analytics ในโรงงานผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานและลดการปล่อยมลพิษ มาตรการ: จำลองกระบวนการผลิตเพื่อหาจุดใช้พลังงานสูงและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ ใช้ระบบ AI วิเคราะห์ข้อมูลจากเซนเซอร์กว่า 1,000 จุดในโรงงานเพื่อลดพลังงานสูญเสีย ผสานการใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น Solar และ Wind Power เข้ากับการผลิต ผลลัพธ์: ลดการใช้พลังงานได้ 20% และลดการปล่อย CO_2 ได้มากกว่า 30,000 ตันต่อปี (Siemens, 2021)
สหราชอาณาจักรและเนเธอร์แลนด์ บริษัท Unilever	แนวทาง: ใช้ Sustainable Living Plan และระบบติดตามสิ่งแวดล้อมทั่วโลกครอบคลุมกว่า 300 โรงงาน มาตรการ: 1. ใช้ระบบ Global Environmental Data Platform เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน น้ำ และของเสียจากทุกโรงงานแบบ Real-time 2. ใช้ AI วิเคราะห์แนวโน้มปัญหาสิ่งแวดล้อมและเสนอแนวทางแก้ไขอัตโนมัติ 3. บูรณาการแนวคิด Circular Economy เพื่อลดของเสียจากบรรจุภัณฑ์ ผลลัพธ์: ลดของเสียฝังกลบจากโรงงานได้ 96% และลดการใช้น้ำต่อหน่วยการผลิตลง 47% ตั้งแต่ปี 2008 (Unilever, 2022)
สหรัฐอเมริกา บริษัท General Electric (GE)	แนวทาง: ใช้ระบบ Predix Industrial IoT Platform เพื่อจัดการสิ่งแวดล้อมและประสิทธิภาพการผลิต มาตรการ: 1. ใช้ Predictive Maintenance ลดการรั่วไหลของสารเคมีและการปล่อยมลพิษ 2. ตรวจสอบการใช้พลังงานแบบ Real-time และปรับโหลดการผลิตให้เหมาะสม 3. เชื่อมต่อข้อมูลสิ่งแวดล้อมกับระบบรายงานความยั่งยืนขององค์กร (Sustainability Reporting) ผลลัพธ์: ลดการใช้พลังงานได้ 18% และลดค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมกว่า 150 ล้านดอลลาร์ต่อปี (GE, 2021)

ที่มา: ผู้แต่ง (2569)

ความจำเป็นด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิต

อุตสาหกรรมการผลิตเป็นหนึ่งในภาคเศรษฐกิจที่มีบทบาทสำคัญต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ แต่ขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน (United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], 2017) การดำเนินการผลิตที่ไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมอาจนำไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง การเสื่อมโทรมของระบบนิเวศ และปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022)

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

การจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็นด้วยเหตุผลสำคัญดังนี้

1. ปฏิบัติตามกฎหมายและมาตรฐานสากล ภาครัฐและองค์กรระหว่างประเทศได้กำหนดข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม เช่น กฎหมายควบคุมมลพิษ, มาตรฐาน ISO 14001 และนโยบาย Net Zero Carbon ซึ่งกำหนดให้โรงงานต้องมีระบบบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมที่สามารถติดตาม ตรวจวัด และรายงานผลได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่อง (International Organization for Standardization, 2015)

2. ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ การควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษทางอากาศ และน้ำเสีย มีส่วนสำคัญในการปกป้องคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของชุมชนรอบโรงงาน (World Health Organization [WHO], 2018)

3. เพิ่มความสามารถในการแข่งขัน โรงงานที่ดำเนินธุรกิจตามหลักความยั่งยืนและมีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพ จะได้รับความเชื่อมั่นจากคู่ค้า นักลงทุน และผู้บริโภค ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในตลาดโลกที่ให้ความสำคัญกับ ESG (Environmental, Social, and Governance) (World Economic Forum, 2021)

4. การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การนำระบบจัดการสิ่งแวดล้อมมาช่วยติดตามและวิเคราะห์การใช้พลังงาน น้ำ และวัตถุดิบ ช่วยลดการสูญเสีย ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร (UNIDO, 2017)

5. ตอบสนองต่อความคาดหวังของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ผู้บริโภคและชุมชนต้องการความโปร่งใสในการดำเนินงานของโรงงาน โดยเฉพาะข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมาตรการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การมีระบบบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพช่วยสร้างความสัมพันธ์ที่ดีและความยอมรับจากสังคม (TGO, 2022) ดังนั้นการจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมการผลิตจึงไม่ใช่เพียงการปฏิบัติตามข้อกำหนดทางกฎหมาย แต่เป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยสร้างความยั่งยืนทั้งในเชิงธุรกิจและสิ่งแวดล้อม

การปรับเปลี่ยนแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิต

การเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยี นโยบายสิ่งแวดล้อม และความคาดหวังจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ทำให้ภาคอุตสาหกรรมการผลิตต้องปรับแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมจากรูปแบบเดิมที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหาเชิงรับ (Reactive Approach) ไปสู่การจัดการเชิงรุก (Proactive Approach) และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) (Hillary, 2017)

1. จากการควบคุมมลพิษภายหลัง (End-of-Pipe) ไปสู่การป้องกันมลพิษที่ต้นทาง

เดิมโรงงานมักเน้นการติดตั้งอุปกรณ์บำบัดมลพิษเพื่อลดของเสียหลังการผลิต แต่ปัจจุบันเน้นการออกแบบกระบวนการและใช้เทคโนโลยีเพื่อลดการเกิดของเสียตั้งแต่ต้นทาง เช่น การใช้วัตถุดิบประสิทธิภาพสูง การรีไซเคิลภายในโรงงาน และการผลิตแบบ Lean (OECD, 2021)

2. จากการปฏิบัติตามกฎหมายขั้นต่ำ ไปสู่การปฏิบัติตามมาตรฐานสากลและเกินกว่าข้อกำหนด

โรงงานจำนวนมากเริ่มใช้มาตรฐาน ISO 14001, Carbon Footprint of Organization (CFO), Carbon Footprint of Product (CFP) และ Carbon Balance and Environmental Management (CBEM) เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของคู่ค้าและตลาดโลก (International Organization for Standardization, 2015; TGO, 2022)

3. การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ (AI)

การติดตั้งระบบ IoT Sensors และ AI Analytics ช่วยติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมแบบ Real-time วิเคราะห์แนวโน้ม และคาดการณ์ปัญหา เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือการรั่วไหลของสารเคมี (Lee et al., 2023) การใช้ AI ร่วมกับวงจร PDCA ทำให้การจัดการสิ่งแวดล้อมมีความต่อเนื่องและแม่นยำยิ่งขึ้น

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

4. การบูรณาการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)

แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนถูกนำมาปรับใช้ในโรงงาน โดยออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถรีไซเคิลได้ง่าย ใช้วัสดุรีไซเคิลแทนวัตถุดิบใหม่ และเพิ่มอัตราการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ (Ellen MacArthur Foundation, 2019)

5. การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder Engagement)

องค์กรเริ่มเปิดเผยข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมผ่านรายงาน ESG และรับฟังข้อเสนอแนะจากชุมชน นักลงทุน และลูกค้า เพื่อปรับปรุงนโยบายสิ่งแวดล้อม (World Economic Forum, 2021)

ดังนั้นแล้ว การปรับเปลี่ยนแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิตกำลังเคลื่อนสู่ระบบที่เน้นป้องกันก่อนเกิดปัญหา, การบูรณาการเทคโนโลยี AI และดิจิทัล, การปฏิบัติตามมาตรฐานสากล และความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อสร้างความยั่งยืนและเพิ่มขีดความสามารถ

แนวคิดทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วงจร PDCA (Plan–Do–Check–Act) มีรากฐานมาจากแนวคิดของ Walter A. Shewhart นักสถิติจากสหรัฐอเมริกาในช่วงทศวรรษ 1930 ซึ่งเดิมเรียกว่า Shewhart Cycle หรือ Cycle for Learning and Improvement ต่อมา W. Edwards Deming ได้นำแนวคิดนี้มาพัฒนาและเผยแพร่ต่ออย่างกว้างขวางในช่วงทศวรรษ 1950 โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น ภายหลังจึงเป็นที่นิยมเรียกกันว่า Deming Cycle หรือ PDCA ซึ่งเป็นวงจรการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องที่ใช้พัฒนากระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพและคุณภาพสูงขึ้น โดยดำเนินตามขั้นตอน วางแผน ปฏิบัติ ตรวจสอบ ปรับปรุง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การพัฒนาเป็นระบบและต่อเนื่อง ตัดสินใจบนพื้นฐานข้อมูล ลดความสูญเสีย และสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่มุ่งสู่ความเป็นเลิศ ขั้นตอนสำคัญประกอบด้วยการวางแผน วิเคราะห์ปัญหา ปฏิบัติตามมาตรการ ตรวจสอบผลลัพธ์ และปรับปรุงมาตรฐาน จุดเด่นคือ ใช้ง่าย ปรับใช้ได้ทุกระดับ ส่งเสริมการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และสอดคล้องกับมาตรฐานสากล นอกจากนี้ยังสามารถผสานกับเทคโนโลยีใหม่ เช่น AI, IoT และ Big Data เพื่อยกระดับการวิเคราะห์และการตัดสินใจ

ภาพที่ 1 วงจร PDCA
ที่มา: Thai Winner, (2022)

การจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคการผลิตได้กลายเป็นประเด็นสำคัญที่สะท้อนถึงความสามารถในการแข่งขันและความยั่งยืนขององค์กร จากอดีตจนถึงปัจจุบัน แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมได้พัฒนาควบคู่ไปกับวิวัฒนาการของอุตสาหกรรมการผลิต ตั้งแต่ยุคอุตสาหกรรม 1.0 ที่เน้นการใช้พลังงานไอน้ำและเครื่องจักรกลเป็นหลักไปจนถึงอุตสาหกรรม 5.0 ที่ผสานเทคโนโลยีอัจฉริยะเข้ากับความเป็นมนุษย์เพื่อสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและความยั่งยืนในแต่ละยุคสมัย องค์กรต้องเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลือง การเพิ่มขึ้นของของเสียอุตสาหกรรมไปจนถึงความท้าทายด้านคาร์บอนฟุตพรินต์และความคาดหวังจากมาตรฐานสากลในยุคปัจจุบันวิวัฒนาการนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการสิ่งแวดล้อมไม่ใช่เพียงภารกิจเสริมแต่เป็นกลไกหลักที่พัฒนาควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและโครงสร้างการผลิตดังตารางที่ 2

พัฒนาการยุคอุตสาหกรรมการผลิต 1.0 – 5.0 ในมุมการจัดการสิ่งแวดล้อม

จากการสังเคราะห์พัฒนาการของยุคอุตสาหกรรมตั้งแต่ยุคอุตสาหกรรม 1.0 ถึงยุคอุตสาหกรรม 5.0 พบว่า บทบาทและแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมได้เปลี่ยนผ่านจากการละเลยและการแก้ไขปัญหาเชิงปลายเหตุ ไปสู่การจัดการเชิงระบบ เชิงดิจิทัล และเชิงบูรณาการเพื่อความยั่งยืน ในยุคอุตสาหกรรม 1.0 และ 2.0 การผลิตมุ่งเน้นการขยายกำลังการผลิตและประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจเป็นหลัก ส่งผลให้การใช้พลังงานฟอสซิลและการปล่อยมลพิษเกิดขึ้นในระดับสูง โดยแทบไม่มีมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมหรือระบบการจัดการที่เป็นรูปธรรม (Mokyr, 1990; Hounshell, 1984)

เมื่อเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 3.0 การตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้องค์กรเริ่มนำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล เช่น ISO 14001 มาใช้ ควบคู่กับการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม แนวทางการจัดการในช่วงดังกล่าวยังคงเน้นการควบคุมและบำบัดมลพิษเป็นหลัก (Kagermann et al., 2013)

ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น IoT, AI และ Big Data ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยเปิดโอกาสให้องค์กรสามารถติดตาม วิเคราะห์ และควบคุมผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมแบบเรียลไทม์ รวมถึงพัฒนาการจัดการเชิงรุกด้านพลังงาน ของเสีย และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างแม่นยำมากขึ้น (Xu et al., 2021) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยร่วมสมัยชี้ให้เห็นว่า เทคโนโลยีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถรับประกันความสำเร็จด้านสิ่งแวดล้อมได้ หากขาดการจัดการองค์การที่เหมาะสม

สำหรับยุคอุตสาหกรรม 5.0 แนวคิดการจัดการสิ่งแวดล้อมได้ก้าวไปสู่มิติใหม่ โดยมุ่งเน้น มนุษย์เป็นศูนย์กลาง (human-centric) การใช้เทคโนโลยีสีเขียว และระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อบรรลุเป้าหมายด้านความเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) และการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม (regenerative manufacturing) ควบคู่กับการบูรณาการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล ภายใต้กรอบ ESG และ SDGs ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า การจัดการสิ่งแวดล้อมในอนาคตจำเป็นต้องอาศัยการจัดการองค์การเชิงบูรณาการที่สามารถเชื่อมโยงเทคโนโลยี กลยุทธ์ และคุณค่าทางสังคมเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ (European Commission, 2021; Nahavandi, 2019)

วัฒนาการของการจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมตั้งแต่ยุค 1.0 ถึง 5.0 แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากการ “ขาดมาตรการควบคุม” ในยุคแรก สู่การดำเนินการแบบ “แก้ปัญหาภายหลัง” (End-of-Pipe Approach) และพัฒนาไปสู่การ “ควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง” (Continuous Improvement) ในยุคถัดมา ต่อมามีการประยุกต์ใช้ “เทคโนโลยีดิจิทัล” เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการจัดการสิ่งแวดล้อม จนกระทั่งในยุค 5.0 แนวทางการผลิตได้เปลี่ยนมาสู่การ “สร้างคุณค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและสังคม” โดยมุ่งให้กระบวนการผลิตเป็นส่วนหนึ่งของการแก้ไขและฟื้นฟูปัญหาสิ่งแวดล้อมแทนที่จะเป็นเพียงการลดผลกระทบเชิงลบเพียงอย่างเดียว

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบมิติการจัดการสิ่งแวดล้อม: อุตสาหกรรม 4.0 **vs** อุตสาหกรรม 5.0 (ด้านความยั่งยืนสิ่งแวดล้อม)

มิติ	อุตสาหกรรม 4.0	อุตสาหกรรม 5.0
แนวคิดหลัก	ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและระบบอัตโนมัติ (IoT, AI, Big Data, Digital Twin) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการสูญเสีย และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ผสมผสานเทคโนโลยีอัจฉริยะกับความคิดสร้างสรรค์และค่านิยมของมนุษย์ มุ่งสร้างคุณค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและสังคมอย่างสมดุล (Xu et al., 2021; Nahavandi, 2019)
เป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม	ลดการใช้พลังงานและวัตถุดิบผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต	สร้างระบบการผลิตที่เป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutral) และมีผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อม (European Commission, 2021)
การจัดการพลังงาน	ใช้ AI และ IoT ควบคุมการใช้พลังงานแบบ Real-time เพื่อลดความสิ้นเปลือง	บูรณาการพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) และระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage) เข้ากับกระบวนการผลิต (Lee et al., 2023)
การจัดการของเสีย	วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อลด Scrap และ Waste ในสายการผลิต	ออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการตามหลัก Circular Economy และ Zero Waste (Ellen MacArthur Foundation, 2019)
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ติดตามการปล่อยคาร์บอนผ่าน CFO/CFP และรายงานตามมาตรฐาน ISO 14064	ควบคุมการปล่อยคาร์บอนตลอดห่วงโซ่อุปทาน พร้อมใช้กลยุทธ์ Carbon Neutrality และ Climate Positive (TGO, 2022; United Nations, 2020)
เทคโนโลยีสนับสนุน	IoT Sensors, Big Data, Predictive Maintenance, Automated Quality Control	Human-Centric AI, Green Tech, Bio-Inspired Manufacturing, Blockchain for Sustainability (Xu et al., 2021)
บทบาทของมนุษย์	ผู้ควบคุมและตัดสินใจบนพื้นฐานข้อมูลจากระบบอัตโนมัติ	ทำงานร่วมกับ AI ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ด้านสิ่งแวดล้อม (Nahavandi, 2019)

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

ตัวชี้วัดความยั่งยืน	การใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต, อัตราของเสีย, ปริมาณการปล่อย CO_2	ความเป็นกลางทางคาร์บอน, อัตราการใช้วัสดุรีไซเคิล, ผลกระทบเชิงบวกต่อระบบนิเวศ (European Commission, 2021; UNIDO, 2017)

ที่มา: ผู้แต่ง (2569)

จากงานวิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมพบงานวิจัยเชิงประจักษ์จากวารสารนานาชาติได้ให้หลักฐานสำคัญเกี่ยวกับบทบาทของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ต่อการยกระดับประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น งานศึกษาของ Kristoffersen et al. (2020) เสนอกรอบแนวคิด “Smart Circular Economy” ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น AI และการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง สามารถช่วยให้องค์กรการผลิตตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การดำเนินงานขององค์กรสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และช่วยสนับสนุนความสามารถในการปรับตัวขององค์กรในบริบทการแข่งขันยุคดิจิทัล ในทำนองเดียวกัน งานวิจัยเชิงปริมาณของ Li et al. (2022) ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ AI กับผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กร พบว่าการบูรณาการ AI เข้ากับระบบข้อมูลอุตสาหกรรมสามารถช่วยลดความเข้มข้นของการปล่อยมลพิษ (pollution intensity) และเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการใช้ AI ไม่เพียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานเชิงเทคนิคเท่านั้น แต่ยังสนับสนุนการตัดสินใจด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของผู้บริหารและบุคลากรในองค์กร ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดระบบสังคม–เทคโนโลยี (Socio-Technical Systems) ที่เน้นการทำงานร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีและมนุษย์ในกระบวนการผลิต

นอกจากนี้ งานวิจัยของ Mikalef and Gupta (2020) ได้เสนอแนวคิด “AI Capability” ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ทรัพยากรข้อมูล (data resources) โครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยี (technological infrastructure) และทักษะของบุคลากร (human skills) โดยผลการศึกษาพบว่าองค์กรที่มีความสามารถด้าน AI สูงจะมีศักยภาพในการสร้างนวัตกรรมและปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานได้ดีกว่าองค์กรทั่วไป ความสามารถดังกล่าวจึงถือเป็นทรัพยากรเชิงกลยุทธ์ที่ช่วยเสริมสร้างความสามารถเชิงพลวัตขององค์กร (dynamic capabilities) ในการปรับตัวต่อความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางธุรกิจและข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดมากขึ้น

จากหลักฐานเชิงประจักษ์ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าเทคโนโลยี AI มีบทบาทสำคัญต่อการยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมขององค์กรอุตสาหกรรม ทั้งในด้านการวิเคราะห์ข้อมูล การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร การลดการปล่อยมลพิษ และการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ อย่างไรก็ตาม แม้งานวิจัยก่อนหน้าจะยืนยันศักยภาพของ AI ในหลายมิติ แต่ยังขาดกรอบแนวคิดเชิงระบบที่เชื่อมโยงศักยภาพของ AI เข้ากับกลไกการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องขององค์กร เช่น วงจร PDCA ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นโครงสร้างในการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลกับกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับองค์กรได้อย่างเป็นระบบ

เหตุผลของการประยุกต์ใช้ AI **กับวงจร** PDCA

การจัดการสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมการผลิตจำเป็นต้องรับมือกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีปริมาณมาก เช่น ข้อมูลการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และคุณภาพน้ำเสีย ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ต้องการระบบที่สามารถประมวลผล วิเคราะห์ และแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ (Lee et al.,

2023) การผสานเทคโนโลยี ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เข้ากับ **วงจร** PDCA (Plan–Do–Check–Act) จึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยยกระดับการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมให้มีความต่อเนื่องและตอบสนองต่อสถานการณ์ได้อย่างทันท่วงที โดยมีเหตุผลสนับสนุนดังนี้

1. การประมวลผลข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อนและปริมาณมาก

AI สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น ระบบวัดพลังงาน การตรวจสอบการปล่อยมลพิษ และการประเมินคุณภาพน้ำเสีย เพื่อสกัดสารสนเทศที่เป็นประโยชน์และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ได้อย่างรวดเร็ว

2.การตรวจวัดและติดตามผลแบบ Real-time

การใช้ IoT Sensor ร่วมกับ AI ช่วยให้สามารถตรวจสอบสถานะด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตได้แบบทันที ลดระยะเวลาในการค้นหาสาเหตุของปัญหา และเพิ่มความสามารถในการตอบสนองอย่างทันท่วงที

3. การวางแผนเชิงรุกผ่านการคาดการณ์

AI สามารถประเมินแนวโน้มและคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เช่น การปล่อยก๊าซเกินมาตรฐานหรือความเสี่ยงจากการใช้น้ำมากเกินไป ทำให้องค์กรสามารถวางมาตรการป้องกันได้ล่วงหน้า แทนการรอแก้ปัญหาเมื่อเกิดเหตุ

4. ความสอดคล้องกับมาตรฐานและกรอบการประเมินสากล

การประยุกต์ AI เข้ากับ PDCA สามารถสนับสนุนการปฏิบัติให้สอดคล้องกับมาตรฐานและกรอบการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ISO 14001, Carbon Footprint of Organization (CFO), Carbon Footprint of Product (CFP) และ Carbon Balance and Environmental Management (CBEM) ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและการยอมรับในระดับสากล

แนวคิด PDCA กับการจัดการสิ่งแวดล้อม

การบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับวงจรการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง PDCA (Plan–Do–Check–Act) สามารถอธิบายได้ผ่านมุมมองเชิงทฤษฎีด้านการจัดการองค์การหลายกรอบแนวคิด ซึ่งช่วยให้เข้าใจบทบาทของเทคโนโลยีดิจิทัลต่อการพัฒนาการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิตอย่างเป็นระบบ ประการแรก แนวคิดการเปลี่ยนแปลงองค์การ (Organizational Change Theory) อธิบายว่าการนำเทคโนโลยีดิจิทัลและ AI เข้ามาใช้ในกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อมมิได้เป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงเชิงเทคนิค แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้าง กลยุทธ์ และวัฒนธรรมองค์กร การปรับใช้ AI เพื่อสนับสนุนการวางแผน การติดตาม และการปรับปรุงกระบวนการตามวงจร PDCA จึงสะท้อนกระบวนการเปลี่ยนผ่านขององค์กรสู่การดำเนินงานแบบดิจิทัลและยั่งยืน โดยองค์กรต้องปรับตัวต่อแรงกดดันจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น กฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อม มาตรฐานสากล และความคาดหวังของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงสถาบันและการปรับตัวขององค์กรในยุคดิจิทัล (Vial, 2019)

ประการที่สอง แนวคิดระบบสังคม–เทคโนโลยี (Socio-Technical Systems: STS) ช่วยอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเทคโนโลยี AI กระบวนการผลิต และบทบาทของมนุษย์ในองค์กร โดยแนวคิดดังกล่าวเสนอว่าประสิทธิภาพของระบบองค์กรจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีความสมดุลระหว่างระบบทางเทคนิค (technical system) เช่น AI ระบบวิเคราะห์ข้อมูล และเทคโนโลยี Internet of Things กับระบบทางสังคม (social system) ซึ่งประกอบด้วยบุคลากร ทักษะ การเรียนรู้ และแรงจูงใจของพนักงาน ภายใต้บริบทของอุตสาหกรรม 4.0 และ 5.0 การประยุกต์ใช้ AI เพื่อสนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อมตามวงจร PDCA จึงไม่ควรมุ่งเน้นเพียงการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบเท่านั้น แต่ควรออกแบบกระบวนการทำงานที่ส่งเสริม

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

การมีส่วนร่วมของบุคลากรและการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างมนุษย์กับเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากข้อมูลและระบบอัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน (Beane, 2019)

ประการที่สาม แนวคิดความสามารถเชิงพลวัตขององค์กร (Dynamic Capabilities) อธิบายบทบาทขององค์กรในการบูรณาการและปรับใช้เทคโนโลยีใหม่เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยกรอบแนวคิดดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าองค์กรที่สามารถพัฒนาและใช้ประโยชน์จาก AI ในการจัดการสิ่งแวดล้อมผ่านวงจร PDCA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องมีความสามารถในการรับรู้โอกาสและความเสี่ยงจากข้อมูล (sensing) การนำเทคโนโลยีและทรัพยากรมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างคุณค่าใหม่ (seizing) และการปรับโครงสร้างหรือกระบวนการดำเนินงานขององค์กรให้สอดคล้องกับบริบทใหม่ (transforming) ความสามารถดังกล่าวช่วยให้องค์กรสามารถพัฒนากระบวนการผลิตที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (data-driven manufacturing) และยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมให้เป็นส่วนหนึ่งของกลยุทธ์การแข่งขันระยะยาว (Teece, 2014)

ดังนั้น การบูรณาการ AI เข้ากับวงจร PDCA เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิตจึงสามารถอธิบายได้ในฐานะกระบวนการเชิงระบบที่ผสานมิติของการเปลี่ยนแปลงองค์การ การออกแบบระบบสังคม–เทคโนโลยี และการพัฒนาความสามารถเชิงพลวัตขององค์กรเข้าด้วยกัน ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมจากการบริหารจัดการเชิงรับไปสู่การจัดการเชิงรุกที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล เทคโนโลยี และการเรียนรู้ขององค์กรอย่างต่อเนื่อง

กรอบแนวคิดที่นำเสนอในบทความนี้มีความแตกต่างจากแนวคิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องแบบดั้งเดิม เนื่องจากการบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ากับวงจร PDCA ทำให้กระบวนการปรับปรุงไม่ได้อาศัยเพียงประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานหรือข้อมูลย้อนหลังเท่านั้น แต่สามารถใช้การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่และการคาดการณ์เชิงวิเคราะห์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับแนวคิดการเปลี่ยนผ่านสู่ดิจิทัล (digital transformation) ที่มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีมาใช้ในกระบวนการผลิตเป็นหลัก กรอบแนวคิดในบทความนี้ให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงระหว่างเทคโนโลยี การจัดการองค์การ และการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนมุมมองเชิงบูรณาการของการจัดการอุตสาหกรรมในบริบทของอุตสาหกรรม 5.0

สรุปและอภิปรายผล

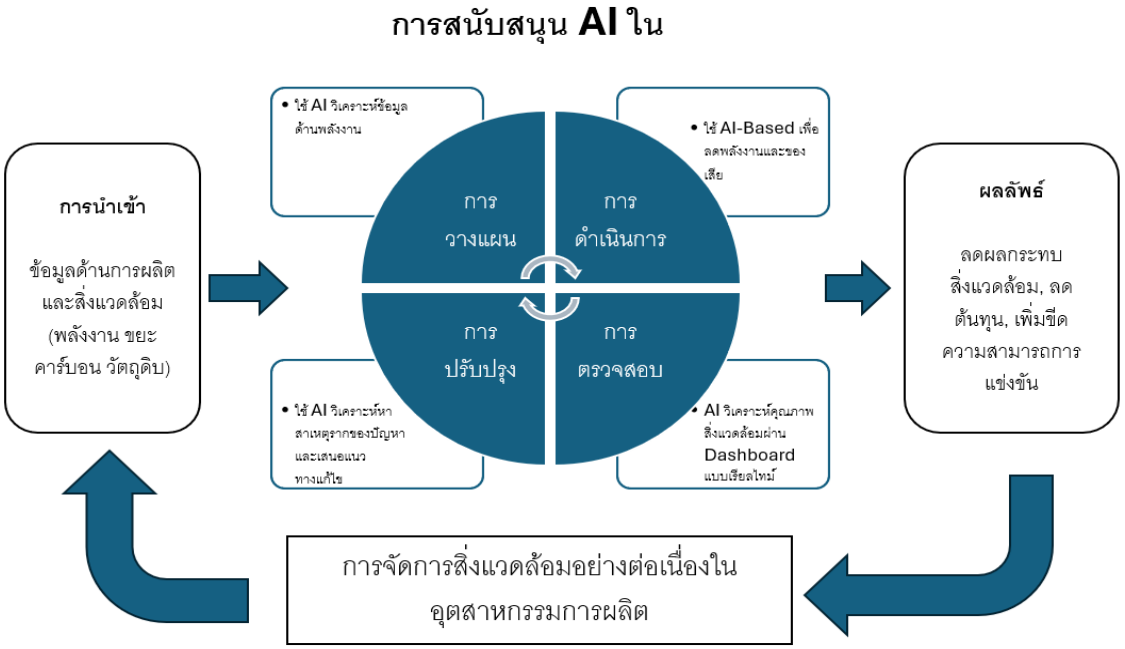
การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ร่วมกับวงจร PDCA (Plan–Do–Check–Act) ช่วยยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิตให้มีความเป็นระบบและต่อเนื่องมากขึ้น โดย AI สามารถวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่มีความซับซ้อนและมีปริมาณมาก เช่น ข้อมูลการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และคุณภาพน้ำเสีย ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ผ่านการใช้เทคโนโลยี IoT และการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analytics) ทำให้องค์กรสามารถวางแผนเชิงรุก แก้ไขปัญหาได้ทันท่วงที และปรับปรุงมาตรการอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ การผสาน AI เข้ากับ PDCA ยังช่วยให้การดำเนินงานสอดคล้องกับมาตรฐานสิ่งแวดล้อมสากล เช่น ISO 14001, CFO, CFP และ CBEM ส่งผลให้เกิดการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และเสริมสร้างความยั่งยืนในระยะยาวของภาคการผลิต

ในบริบทของ อุตสาหกรรม 5.0 แนวทางนี้จะมีบทบาทสำคัญยิ่งขึ้น โดย AI จะไม่เพียงทำหน้าที่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการเท่านั้น แต่จะเชื่อมโยงกับ ระบบอัตโนมัติขั้นสูง หุ่นยนต์ร่วมปฏิบัติงาน (Collaborative Robots: Cobots) และเทคโนโลยีดิจิทัลอื่น ๆ เพื่อสร้างการผลิตที่ตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์อย่างยั่งยืน เน้น การสร้างคุณค่าเชิงสิ่งแวดล้อมและสังคม (Environmental & Social Value Creation) และการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมเชิงรุก เช่น การลดคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emission) การใช้เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการใช้พลังงาน

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

หมุนเวียนอย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งจะทำให้ภาคการผลิตก้าวสู่การเป็น “ผู้สร้างผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อม” แทนการเป็นเพียงผู้ลดผลกระทบเท่านั้น

องค์ความรู้ใหม่



ภาพที่ 3 แนวทางการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับวงจร PDCA เพื่อการปรับปรุงการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมการผลิต
ที่มา: ผู้แต่ง (2569)

จากภาพที่ 3 แนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิตจำเป็นต้องใช้กระบวนการที่เป็นระบบและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยกรอบแนวคิด PDCA (Plan–Do–Check–Act) ถือเป็นกลไกสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นวงจร เมื่อผนวกเข้ากับปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งมีศักยภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก ตรวจจับรูปแบบ และคาดการณ์แนวโน้ม จะช่วยยกระดับการตัดสินใจให้มีความแม่นยำและรวดเร็ว ส่งผลให้องค์กรสามารถลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทั้งในมิติของการใช้พลังงาน การจัดการทรัพยากร ของเสีย และการลดการปล่อยคาร์บอน ในการประยุกต์ใช้ AI กับ PDCA

1. ขั้นตอนการวางแผน (Plan) จะเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงาน น้ำ วัตถุดิบ และของเสีย เพื่อสร้างโมเดลการพยากรณ์ความเสี่ยงและต้นทุน พร้อมกำหนดตัวชี้วัดสิ่งแวดล้อม (KPIs) เช่น การลดการปล่อย CO_2 หรือเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียน ขณะที่

2. ขั้นตอนการดำเนินการ (Do) ใช้ AI-Based Process Control และ Machine Learning เพื่อลดพลังงานและของเสีย รวมถึงระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (AI Decision Support) เพื่อช่วยผู้จัดการเลือกแนวทางที่เหมาะสม

3. ขั้นตอนการตรวจสอบ (Check) อาศัย AI วิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมผ่าน Dashboard แบบเรียลไทม์ และใช้ Computer Vision ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อลดการสูญเสีย

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

4. สุดท้ายขั้นตอนการปรับปรุง (Act) ใช้ AI ทำ Root Cause Analysis เสนอแนวทางแก้ไข เช่น การปรับแผนการผลิตหรือ Predictive Maintenance และบูรณาการโมเดลการเรียนรู้ต่อเนื่อง (Continuous Learning AI Model) เพื่อให้กระบวนการกลับเข้าสู่วงจร PDCA อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลลัพธ์ที่คาดหวังคือการเพิ่มประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมโดยลดการใช้พลังงาน การปล่อยคาร์บอนและของเสีย การตัดสินใจที่รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้นจาก AI Analytics รวมทั้งการปรับปรุงที่ยั่งยืน (Kaizen + AI) ซึ่งช่วยเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในระยะยาว กรอบแนวคิดนี้สามารถอธิบายได้ในเชิงโครงสร้างว่าเริ่มจาก Input ได้แก่ ข้อมูลด้านการผลิตและสิ่งแวดล้อม ผ่านกระบวนการ PDCA ที่เสริมด้วย AI เพื่อได้ Output คือการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุน และเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขัน โดยมี Feedback Loop นำข้อมูลใหม่เข้าสู่ระบบ AI เพื่อปรับปรุงโมเดลและดำเนินการวนซ้ำไปเรื่อย ๆ ในลักษณะการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ข้อจำกัดของบทความ

บทความฉบับนี้เป็นบทความเชิงแนวคิดที่มุ่งนำเสนอกรอบแนวคิดการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับวงจร PDCA เพื่อสนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการผลิต จึงยังไม่ได้มีการทดสอบเชิงประจักษ์ในสถานประกอบการจริง นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยี AI ไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมยังอาจเผชิญข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานด้านข้อมูล ความสามารถด้านดิจิทัลของบุคลากร และประเด็นด้านจริยธรรมในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตัดสินใจเชิงองค์กร

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

ในอนาคตควรศึกษาการประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดที่นำเสนอในบริบทของสถานประกอบการจริงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการบูรณาการ AI กับวงจร PDCA ในการจัดการสิ่งแวดล้อมขององค์กร นอกจากนี้ควรมีการศึกษาปัจจัยด้านองค์กร เทคโนโลยี และทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการนำเทคโนโลยี AI มาใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบด้านจริยธรรมและความยั่งยืนของการใช้ AI ในภาคอุตสาหกรรมในระยะยาว

บรรณานุกรม

Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. MIT Press.

Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. EMF.

General Electric. (2021). *Sustainability report 2021*. GE.

Hillary, R. (2017). Environmental management systems and the smaller enterprise. *Journal of Cleaner Production*, 14 (6–7), 1–9.

Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change.* Cambridge University Press.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 environmental management systems — Requirements with guidance for use*. ISO.

Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120, 241-261. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044.

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

Lee, J., Bagheri, B., & Jin, C. (2023). Artificial intelligence in sustainable manufacturing: A review. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135604. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135604

Li, Y., et al. (2022). Artificial intelligence and corporate environmental performance: An industrial information integration perspective. *International Journal of Information Management*, 65, 102506.

Mikalef, P., & Gupta, M. (2020). Artificial intelligence capability: Conceptualization, measurement calibration, and empirical study on its impact on organizational creativity and performance. *Information & Management*, 57(3), 103213.

Oakland, J. S. (2014). *Total quality management and operational excellence: Text with cases (4th ed.)*. Routledge.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *OECD environmental performance reviews: Green growth indicators*. OECD Publishing.

Pollution Control Department. (2021). *Carbon balance and environmental management (CBEM) framework*. Ministry of Natural Resources and Environment.

Siemens AG. (2021). *Sustainability information 2021*. Siemens.

Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2022). *Guidelines for carbon footprint of organization and product*. TGO.

Toyota Motor Corporation. (2022). *Toyota environmental challenge 2050 progress report*. Toyota.

Teece, D. J. (2014). The foundations of enterprise performance: Dynamic and ordinary capabilities in an (economic) theory of firms. *Academy of Management Perspectives*, 28(4), 328–352.

United Nations Industrial Development Organization. (2017). *Sustainable energy for productive use: Policies and guidelines*. UNIDO.

United Nations. (2020). *The sustainable development goals report 2020*. United Nations.

Unilever. (2022). *Unilever sustainable living plan progress report*. Unilever.

Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144.

World Economic Forum. (2021). *Net-zero challenge: The supply chain opportunity*. World Economic Forum.

World Health Organization. (2018). *Air pollution and child health: Prescribing clean air.* WHO.

Zhou, Y., & Li, H. (2022). Applications of artificial intelligence in industrial environmental management. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 456–467. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.012

*CONTACT Corresponding: aekkaroj@gmail.com

ข้อมูลติดต่อ

1. เอกโรจ สุณาวงษ์
   E-mail: aekkaroj@gmail.com
   นักวิชาการอิสระด้านนวัตกรรมการจัดการและการจัดการองค์การ ประเทศไทย
2. โกวิทย์ ปิ่นสุวรรณ์
   E-mail: Kowit50@gmail.com
   นักวิชาการอิสระด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ประเทศไทย