บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 อุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน

2.2 การศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะ

2.3 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน

อุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน (Smart Sustainable Manufacturing - SSM) เป็นแนวทางการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีอัจฉริยะควบคู่กับหลักการพัฒนาอย่างยั่งยืน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และรองรับการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต องค์ประกอบหลักของ SSM ประกอบด้วย เทคโนโลยีอัจฉริยะ เช่น Internet of Things (IoT), ปัญญาประดิษฐ์ (AI), ระบบไซเบอร์-กายภาพ (CPS), การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และหุ่นยนต์อัตโนมัติ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ด้าน ความยั่งยืน SSM เน้น เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy), การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ, การลดของเสีย และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้พลังงานสะอาดและกระบวนการผลิตที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังให้ความสำคัญกับ แรงงานอัจฉริยะ โดยเน้นการพัฒนาทักษะใหม่ (Reskilling & Upskilling), การทำงานร่วมกับหุ่นยนต์ (Human-Robot Collaboration) และการออกแบบสถานที่ทำงานที่เป็นมิตรต่อมนุษย์ ระบบ บริหารจัดการอัจฉริยะ ช่วยให้สามารถตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรแบบเรียลไทม์ และคาดการณ์การบำรุงรักษาล่วงหน้า ลดต้นทุนและความสูญเสียของการผลิต ในอนาคต อุตสาหกรรม 5.0 จะเน้นการผลิตที่คำนึงถึงมนุษย์เป็นศูนย์กลาง ควบคู่ไปกับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอย่างสมดุล ดังนั้น SSM จึงเป็นแนวทางสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไปสู่ความยั่งยืน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มศักยภาพของแรงงานให้สอดรับกับการเปลี่ยนแปลงของโลกอุตสาหกรรม

2.1.1 อุตสาหกรรมการผลิต 4.0 (Industry 4.0)

แนวคิดอุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) อุตสาหกรรม 4.0 เป็นแนวคิดที่เกิดขึ้นจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 ซึ่งมีการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ โดยแนวคิดนี้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดยรัฐบาลเยอรมนีในปี 2011 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมให้สามารถแข่งขันได้ในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013) อุตสาหกรรม 4.0 มุ่งเน้นการใช้ Internet of Things (IoT), ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI), การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning), ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data), ระบบทางกายภาพไซเบอร์ (Cyber-Physical Systems: CPS) และการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud Computing) เพื่อเชื่อมโยงกระบวนการผลิตเข้าด้วยกันและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน (Schwab, 2016)

อุตสาหกรรม 4.0 เป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลขั้นสูงเพื่อบูรณาการระบบอุตสาหกรรม โดยเน้นไปที่ การเชื่อมต่อระหว่างระบบอัตโนมัติ, การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่, การตัดสินใจแบบอัจฉริยะ และการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี ซึ่งช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้อย่างรวดเร็ว

2.1.2 ความหมายของ อุตสาหกรรม 4.0

Kagermann และคณะ (2013) ให้ความหมายว่า อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) เป็นกระบวนการบูรณาการ ระบบทางกายภาพไซเบอร์ (Cyber-Physical Systems: CPS), Internet of Things (IoT) และบริการอินเทอร์เน็ต (Internet of Services: IoS) เข้ากับระบบอุตสาหกรรมและการผลิต เพื่อสร้างการดำเนินงานที่มีความชาญฉลาดมากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในทุกกระบวนการของห่วงโซ่คุณค่า (value chain) นอกจากนี้ อุตสาหกรรม 4.0 ยังเกี่ยวข้องกับการพัฒนารูปแบบธุรกิจที่สามารถใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว

Schwab (2016) ให้ความหมายว่า อุตสาหกรรม 4.0 เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สี่ (The Fourth Industrial Revolution) ซึ่งเป็นกระบวนการที่รวมเอาเทคโนโลยีทางกายภาพ ดิจิทัล และชีวภาพเข้าด้วยกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบอุตสาหกรรม ธุรกิจ และสังคมในวงกว้าง อุตสาหกรรม 4.0 ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI), หุ่นยนต์อัตโนมัติ, Big Data Analytics, Blockchain และ Quantum Computing เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตและสร้างมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

Hermann และคณะ (2016) ให้ความหมายของอุตสาหกรรม 4.0 ว่าเป็น แนวคิดเชิงกลยุทธ์ที่นำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาผสานกับกระบวนการผลิตและโลจิสติกส์ โดยมีหลักการสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ 1) การทำงานแบบเชื่อมโยง (Interconnection) – ระบบสามารถสื่อสารระหว่างกันผ่าน IoT 2) ความโปร่งใสของข้อมูล (Information Transparency) – การใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และ Big Data เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ 3)การสนับสนุนทางเทคนิค (Technical Assistance) – ใช้ AI และระบบอัตโนมัติช่วยเหลือการทำงาน 4) การตัดสินใจแบบอัตโนมัติ (Decentralized Decisions) ระบบสามารถตัดสินใจได้ด้วยตนเองผ่าน AI และ Machine Learning

กล่าวได้ว่า อุตสาหกรรม 4.0 หมายถึง แนวคิดการพัฒนาอุตสาหกรรมที่มุ่งเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลขั้นสูงเข้ากับระบบการผลิตและห่วงโซ่อุปทาน โดยใช้ IoT, AI, Big Data, CPS และ Cloud Computing เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และสร้างความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล แนวคิดนี้มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิตของภาคอุตสาหกรรมและกำหนดแนวทางการพัฒนาระบบเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต (Kagermann et al., 2013; Schwab, 2016; Hermann et al., 2016)

2.1.3 องค์ประกอบสำคัญของอุตสาหกรรม 4.0

องค์ประกอบสำคัญของอุตสาหกรรม 4.0 ได้แก่ (1) ระบบอัตโนมัติอัจฉริยะ (Intelligent Automation), (2) การสื่อสารแบบเรียลไทม์ผ่าน IoT (Real-time IoT Communication), (3) การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่และการวิเคราะห์ (Big Data Analytics), (4) การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลในระบบการผลิต (Cyber-Physical Systems: CPS) และ (5) การใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (AI & Machine Learning in Manufacturing) (Xu, Xu, & Li, 2018) แนวคิดนี้ส่งเสริมให้เกิดระบบการผลิตที่สามารถเรียนรู้ ปรับตัว และดำเนินการโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำ ลดต้นทุน และเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตของอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม 4.0 ยังส่งผลต่อโครงสร้างแรงงาน โดยมีการเปลี่ยนแปลงจากระบบแรงงานแบบดั้งเดิมไปสู่แรงงานที่ต้องมีทักษะด้านดิจิทัลมากขึ้น ส่งผลให้ความต้องการด้าน สมรรถนะในศตวรรษที่ 21 (21st Century Competencies) เช่น การคิดวิเคราะห์ (Critical Thinking), การแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ (Creative Problem-Solving), และการทำงานร่วมกันในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว (Collaboration in Digital Environments) เพิ่มสูงขึ้น (Hermann, Pentek, & Otto, 2016)

กล่าวได้ว่า อุตสาหกรรม 4.0 เป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญของภาคอุตสาหกรรม ที่มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพสินค้าและบริการ ทั้งนี้ การเปลี่ยนผ่านสู่อุตสาหกรรม 4.0 จำเป็นต้องอาศัย นโยบายภาครัฐ, การพัฒนากำลังแรงงานที่มีความรู้ด้านดิจิทัล, และการวิจัยทางเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรม (Lasi et al., 2014)

ภาพที่ 2.1 แสดงการปฏิวัติอุตสาหกรรม (Juasiripukdee, 2017)

การพัฒนาการของอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกเป็น 4 ยุค ดังภาพที่ 1 ได้แก่ 1) การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 1 คือ การเปลี่ยนไปใช้กระบวนการผลิตจากเกษตรกรรมเป็นอุตสาหกรรม จากการผลิตด้วยมือเป็นการผลิตด้วยเครื่องจักร โดยการขับเคลื่อนด้วยพลังน้ำ หรือพลังไอน้ำ 2) การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 2 คือการเปลี่ยนไปใช้พลังงานไฟฟ้า มีการพัฒนาวิธีการในการผลิตชิ้นส่วน และการประดิษฐ์ของการผลิตเหล็กกล้า 3) การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 3 คือการเปลี่ยนแปลงจากเทคโนโลยีเครื่องจักรกลและอิเล็กทรอนิกส์แบบแอนะล็อก มาเป็นเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์แบบดิจิทัล และ 4) การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 เป็นการเปลี่ยนแปลงจากการพัฒนาจากสมองกลฝังตัวไปเป็นระบบที่ทำงานร่วมกันระหว่างโลกไซเบอร์และโลกกายภาพ และเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านระบบเครือข่ายในรูปแบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ (Juasiripukdee, 2017)

Juasiripukdee (2017) ได้สรุปเกี่ยวกับ อุตสาหกรรม 4.0 ไว้ว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต ไปเป็นระบบที่ทำงานร่วมกันระหว่างโลกไซเบอร์และโลกกายภาพ และเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ผ่านระบบเครือข่ายในรูปแบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมอุปกรณ์ แบบกระจายการควบคุมการผลิต (Decentralized production) ซึ่งหมายถึง ทุกเครื่องจักรของสายการผลิต ตั้งแต่วัตถุดิบ เครื่องจักร เครื่องมือ ระบบอัตโนมัติ และหุ่นยนต์ จะได้รับการตั้ง

ระบบเครือข่าย เพื่อให้สามารถสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันอย่างอิสระ เพื่อการจัดการกระบวนการผลิตทั้งหมด สายการผลิตนี้จะนำไปสู่การผลิตยุคใหม่ ที่ประกอบด้วยโรงงานอุตสาหกรรมห่วงโซ่คุณค่าของการผลิต (Production value chain) และแบบจำลองทางธุรกิจ (Business model) ได้แก่ โรงงานอัจฉริยะ (Smart factory) และระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical System: CPS) ทำให้มีประสิทธิภาพในด้านต่างๆ มากขึ้น ได้แก่ ศักยภาพในการแข่งขันของธุรกิจ ผลผลิต รายได้ โอกาสการจ้างงานทรัพยากรมนุษย์ในการจัดการด้านไอที ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังส่งเสริมการพัฒนาของเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า และการจัดส่งของการบริการลูกค้าที่ดีขึ้นอีกด้วย

โดยแนวโน้มของ 9 เทคโนโลยีสำคัญที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมของอุตสาหกรรม 4.0 ได้แก่ 1) การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการวิเคราะห์ (Big Data analytics) 2) หุ่นยนต์ที่ทำงานได้ด้วยตนเอง (Autonomous Robots) 3) การจำลองสถานการณ์ (Simulation) 4) ระบบจัดการแบบบูรณาการ (Horizontal and vertical system integration) 5) อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่งสำหรับอุตสาหกรรม (Industrial Internet of Things; IIoT) 6) การรักษาความปลอดภัยในโลกไซเบอร์ (Cyber security) 7) การประมวลผลด้วยคลาวด์ (Cloud computing) 8) เทคโนโลยีการผลิตด้วยวิธีเพิ่มเนื้อวัสดุ และ 9) เทคโนโลยีเสมือนจริง (Reality technology; RT) (Juasiripukdee, 2017)

2.1.4 แนวคิดระบบการผลิตอัจฉริยะ เป็นการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ

ในอุตสาหกรรม 4.0 มาใช้อย่างเป็นประโยชน์ ในการศึกษาของ Mittal, Khan, Romero, and Wuest (2017) และ Kang et al. (2016) เป็นการศึกษาการประยุกต์เทคโนโลยีมาใช้จริง ได้สรุปว่า มีการใช้งานของทุกเทคโนโลยีที่กล่าวในอุตสาหกรรม 4.0 นอกจากนั้นยังมีเทคโนโลยีอื่นๆ มาสนับสนุนอีก เช่น การสื่อสารแบบเรียลไทม์ (real-time communication) CPS การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive analytics) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) การควบคุมอย่างชาญฉลาด (Intelligent control) เป็นต้น และจากการประยุกต์ใช้ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของภาคอุตสาหกรรมที่มีการนำ Internet of Things (IoT), ปัญญาประดิษฐ์ (AI), ระบบอัตโนมัติ และ Big Data มาใช้ในการผลิต Schwab (2016) "The Fourth Industrial Revolution"

1) แนวคิดเกี่ยวกับการใช้ cyber-physical systems (CPS) ระบบการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing Systems: SMS) การเชื่อมโยงข้อมูลแบบเรียลไทม์ และระบบอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

(1.1) แนวคิดเกี่ยวกับการใช้ Cyber-Physical Systems (CPS) ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตความหมายของ Cyber-Physical Systems (CPS) Cyber-Physical Systems (CPS) เป็นระบบที่รวมเอาองค์ประกอบทางกายภาพ (Physical Systems) และ

องค์ประกอบทางไซเบอร์ (Cyber Systems) เข้าด้วยกัน เพื่อสร้างระบบอัจฉริยะที่สามารถทำงานอัตโนมัติ วิเคราะห์ข้อมูล และปรับตัวตามสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แบบเรียลไทม์ (Lee, Bagheri, & Kao, 2015) โดย CPS มีบทบาทสำคัญในภาคอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากช่วยให้โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และเพิ่มความยืดหยุ่นในการตอบสนองต่อความต้องการของตลาด

(1.2) องค์ประกอบหลักของ CPS ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต CPS ในอุตสาหกรรมการผลิตมีองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ได้แก่ การเชื่อมโยงระหว่างเครื่องจักรและระบบไซเบอร์ (Integration of Machines and Cyber Systems) ใช้ Internet of Things (IoT) เชื่อมต่อเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตให้สามารถสื่อสารกันได้ เครื่องจักรสามารถรวบรวมข้อมูลและส่งไปยังระบบคลาวด์เพื่อการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time Data Analytics) ระบบสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องจักรแบบเรียลไทม์ เพื่อลดข้อผิดพลาดและเพิ่มคุณภาพการผลิต ระบบการควบคุมอัตโนมัติ (Autonomous Control Systems) ใช้ Machine Learning (ML) และ Artificial Intelligence (AI) ในการปรับแต่งกระบวนการผลิตโดยอัตโนมัติ ความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Cybersecurity) ปกป้องข้อมูลสำคัญของโรงงานจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ ใช้ Blockchain และ AI-based Security Systems ในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

(1.3) การประยุกต์ใช้ CPS ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต CPS ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน ดังนี้ ระบบโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory Systems) ใช้ CPS เชื่อมโยงเครื่องจักรอัตโนมัติ หุ่นยนต์ และระบบควบคุมให้สามารถสื่อสารกันได้ สามารถตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรและดำเนินการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance) การควบคุมคุณภาพแบบอัจฉริยะ (Intelligent Quality Control) ใช้ AI และ IoT ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิต ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพ การผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing Systems: FMS) CPS ช่วยให้สายการผลิตสามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตได้อย่างยืดหยุ่น เพื่อตอบสนองต่อคำสั่งซื้อที่หลากหลาย ระบบอัตโนมัติในคลังสินค้า (Automated Warehouse Systems) ใช้ หุ่นยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Robots) และ AGV (Automated Guided Vehicles) ในการเคลื่อนย้ายสินค้าการจำลองและวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Digital Twin Technology) ใช้เทคโนโลยี Digital Twin เพื่อจำลองกระบวนการผลิตและทดสอบระบบก่อนดำเนินงานจริง

(1.4) ประโยชน์ของ CPS ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต การนำระบบไซเบอร์-กายภาพมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตส่งผลให้เกิดข้อดีหลายประการ ได้แก่ เพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต – ลดการใช้ทรัพยากร ลดข้อผิดพลาดในการผลิต และเพิ่มความแม่นยำ เพิ่มความ

ยืดหยุ่นของกระบวนการผลิต – สามารถผลิตสินค้าหลากหลายประเภทโดยใช้สายการผลิตเดียวกัน พัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ – ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพได้แบบเรียลไทม์ ลดเวลาหยุดชะงักของเครื่องจักร – ใช้ AI และ IoT ในการคาดการณ์และป้องกันปัญหา

(1.5) ความท้าทายของการนำ CPS มาใช้ในภาคอุตสาหกรรม CPS จะมีข้อดีหลายประการ แต่ยังคงมีความท้าทายที่ต้องแก้ไข ได้แก่ ต้นทุนการลงทุนสูง – การติดตั้งระบบ IoT, AI และ CPS ต้องใช้เงินลงทุนสูง ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ – ระบบที่เชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายมีความเสี่ยงต่อการถูกโจมตี ความซับซ้อนของการบูรณาการระบบเดิม – โรงงานดั้งเดิมอาจต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐาน

กล่าวได้ว่า Cyber-Physical Systems (CPS) เป็นเทคโนโลยีหลักที่ขับเคลื่อนอุตสาหกรรม 4.0 โดยเชื่อมโยง เครื่องจักรอัตโนมัติ, IoT, AI, Big Data และระบบคลาวด์ เข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต CPS ช่วยให้โรงงานสามารถทำงานแบบอัตโนมัติ วิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพ อย่างไรก็ตาม การนำ CPS มาใช้ยังคงมีความท้าทายที่ต้องแก้ไข เช่น ต้นทุนสูง ความปลอดภัยของข้อมูล และความซับซ้อนในการปรับเปลี่ยนระบบเดิม

2) แนวคิดเกี่ยวกับการเชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องจักรต่าง ๆ ผ่านระบบเครือข่าย Internet of Things (IoT) และ Industrial IoT (IIoT) –อ้างอิง: Atzori et al. (2010) "The Internet of Things: A Survey" แนวคิดเกี่ยวกับการเชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องจักรต่าง ๆ ผ่านระบบเครือข่าย Internet of Things (IoT) และ Industrial IoT (IIoT) ในอุตสาหกรรม 4.0

(2.1) ความหมายของ Internet of Things (IoT) และ Industrial IoT (IIoT) Internet of Things (IoT) เป็นแนวคิดเกี่ยวกับเครือข่ายของอุปกรณ์อัจฉริยะที่สามารถเชื่อมต่อกันและแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์ โดยอุปกรณ์เหล่านี้อาจรวมถึงเซ็นเซอร์ (Sensors), อุปกรณ์ตรวจจับข้อมูล, ระบบควบคุมอัตโนมัติ และเครื่องจักรที่สามารถประมวลผลข้อมูลได้เอง (Atzori, Iera, & Morabito, 2010) Industrial IoT (IIoT) เป็นการประยุกต์ใช้แนวคิด IoT กับภาคอุตสาหกรรม โดยเน้นที่ การเชื่อมโยงเครื่องจักร อุปกรณ์อุตสาหกรรม และกระบวนการผลิต ผ่านเครือข่ายดิจิทัล ทำให้สามารถควบคุม ตรวจสอบ และวิเคราะห์กระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Xu, He, & Li, 2014) IIoT เป็นองค์ประกอบสำคัญของ อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) ซึ่งช่วยให้โรงงานอัจฉริยะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยใช้ Big Data, ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ Cloud Computing

(2.2) องค์ประกอบสำคัญของ IIoT ในอุตสาหกรรม 4.0 IIoT มีองค์ประกอบหลักที่ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้ อุปกรณ์และเซ็นเซอร์อัจฉริยะ (Smart

Devices and Sensors) อุปกรณ์ตรวจจับข้อมูล เช่น อุณหภูมิ, ความดัน, ความสั่นสะเทือน และปริมาณพลังงานที่ใช้ ในกระบวนการผลิต ส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังระบบกลางเพื่อวิเคราะห์และประมวลผล เครือข่ายการเชื่อมต่อ (Connectivity and Communication Protocols) ใช้เทคโนโลยี 5G, Wi-Fi 6, LoRaWAN, MQTT, OPC-UA และ Edge Computing เพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ทั้งหมด รองรับการสื่อสารระหว่างเครื่องจักร (Machine-to-Machine Communication: M2M)การประมวลผลข้อมูลและวิเคราะห์ (Data Processing and Analytics) วิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องจักรผ่าน Cloud Computing และ Edge Computing ใช้ AI และ Machine Learning เพื่อทำนายความผิดปกติของเครื่องจักร (Predictive Maintenance) ระบบการจัดการอุตสาหกรรม (Industrial Control Systems - ICS) ประกอบด้วย SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), PLC (Programmable Logic Controllers), และ DCS (Distributed Control Systems) ใช้ IIoT ในการควบคุมกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ

(2.3) การประยุกต์ใช้ IIoT ในอุตสาหกรรม 4.0 การนำ IIoT มาใช้ในภาคอุตสาหกรรมช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตและเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขัน โดยมีตัวอย่างการใช้งานที่สำคัญ ดังนี้ โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) ใช้ IIoT และ AI ในการเฝ้าตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักรและปรับปรุงกระบวนการผลิต ระบบสามารถปรับเปลี่ยนสายการผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการของลูกค้าได้แบบเรียลไทม์ การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) ใช้เซ็นเซอร์ IoT เพื่อตรวจจับ แรงดัน, ความร้อน และความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร AI วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพยากรณ์ปัญหาของเครื่องจักรก่อนเกิดความเสียหาย ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management Systems - EMS) ใช้ IoT และ Big Data เพื่อตรวจสอบและปรับการใช้พลังงานในโรงงานให้มีประสิทธิภาค ลดต้นทุนและปรับสมดุลพลังงานตามความต้องการการผลิตระบบควบคุมคลังสินค้าอัตโนมัติ (Automated Warehouse Systems) ใช้ IoT และ Autonomous Robots เพื่อลำเลียงสินค้า ลดเวลาการจัดการ และลดข้อผิดพลาด การติดตามห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Tracking) ใช้ IoT และ Blockchain เพื่อติดตามสินค้าในห่วงโซ่อุปทานแบบเรียลไทม์เพิ่มความโปร่งใสและลดความสูญเสียในกระบวนการขนส่ง

(2.4) ประโยชน์ของ IIoT ในอุตสาหกรรมการผลิต IIoT ช่วยเพิ่มศักยภาพในการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีประโยชน์หลักดังนี้ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (Improved Productivity) – ระบบสามารถทำงานอัตโนมัติและปรับกระบวนการผลิตได้ตามสถานการณ์ลดต้นทุนการดำเนินงาน (Cost Reduction) – ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและบำรุงรักษาเครื่องจักรเพิ่มความแม่นยำของกระบวนการผลิต (Enhanced Precision) – ลดข้อผิดพลาดและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน (Improved Workplace Safety) – ใช้ IoT

ตรวจสอบสภาพแวดล้อมเพื่อลดอุบัติเหตุในโรงงาน การตัดสินใจแบบอัจฉริยะ (Real-time Decision Making) – ใช้ AI วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อช่วยตัดสินใจได้รวดเร็วและแม่นยำ

(2.5) ความท้าทายของ IIoT ในอุตสาหกรรม IIoT ที่ต้องได้รับการแก้ไข ได้แก่ ต้นทุนการลงทุนสูง (High Implementation Costs) – การติดตั้งระบบ IoT และโครงสร้างพื้นฐานต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก ความปลอดภัยของข้อมูล (Cybersecurity Risks) – ข้อมูลที่เชื่อมต่อกันผ่านระบบเครือข่ายมีความเสี่ยงต่อการโจมตีทางไซเบอร์ การบูรณาการระบบเดิม (Integration with Legacy Systems) – โรงงานที่ใช้เทคโนโลยีเก่าอาจต้องปรับเปลี่ยนระบบให้รองรับ IIoT ขาดแคลนบุคลากรที่มีทักษะ (Lack of Skilled Workforce) – จำเป็นต้องมีแรงงานที่มีความสามารถด้าน IoT, AI และ Big Data

กล่าวได้ว่า Industrial IoT (IIoT) เป็นองค์ประกอบสำคัญของอุตสาหกรรม 4.0 ที่ช่วยให้โรงงานอัจฉริยะสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ มีความแม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น IIoT เชื่อมโยงเครื่องจักร อุปกรณ์ และเซ็นเซอร์เข้ากับระบบเครือข่าย ทำให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และวิเคราะห์กระบวนการผลิตแบบเรียลไทม์ อย่างไรก็ตาม การใช้งาน IIoT ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ต้นทุนการลงทุนที่สูง ความปลอดภัยของข้อมูล และการบูรณาการกับระบบเดิม ดังนั้น การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและบุคลากรที่มีทักษะด้านเทคโนโลยีดิจิทัลจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการนำ IIoT ไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต

3) แนวคิดเกี่ยวกับการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing System: SMS)

(3.1) ระบบการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing System: SMS) หมายถึง แนวคิดที่เกิดขึ้นจากการบูรณาการ เทคโนโลยีดิจิทัล, ปัญญาประดิษฐ์ (AI), Internet of Things (IoT), ระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical Systems: CPS), การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) และการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud Computing) เข้ากับกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิต ลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Kusiak, 2018) แนวคิดนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญของ อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) ซึ่งช่วยให้โรงงานสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ระบบอัตโนมัติและการตัดสินใจอัจฉริยะแบบเรียลไทม์ (Xu, Xu, & Li, 2018)

ระบบการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing Systems - SMS) มีคุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญหลายประการ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่น และความยั่งยืนในกระบวนการผลิต ตามการศึกษาโดย ได้ระบุคุณลักษณะเฉพาะของ SMS ไว้ 27 ประการ ดังนี้

1) การแสดงตนทางดิจิทัล (Digital Presence) ความสามารถของระบบในการเป็นตัวแทนดิจิทัลของกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ เพื่อการตรวจสอบและควบคุมที่มีประสิทธิภาพ
2) ความหลากหลาย (Heterogeneity) การจัดการกับความหลากหลายของอุปกรณ์ เทคโนโลยี และระบบต่าง ๆ ภายในโรงงาน เพื่อให้ทำงานร่วมกันได้อย่างราบรื่น
3) ความเป็นโมดูลาร์ (Modularity) การออกแบบระบบเป็นโมดูลที่สามารถปรับเปลี่ยนหรือแทนที่ได้ง่าย เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการผลิต
4) ความสามารถในการปรับขนาดแบบโมดูลาร์ (Modularity Scalability) ความสามารถในการขยายหรือย่อส่วนของระบบโดยการเพิ่มหรือลดโมดูลตามความต้องการ
5) การรับรู้บริบท (Context Awareness) ความสามารถของระบบในการรับรู้และตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมหรือบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป
6) การมีอิสระ (Autonomy) ความสามารถของระบบในการตัดสินใจและดำเนินการโดยไม่ต้องพึ่งพาการควบคุมจากมนุษย์
7) ความสามารถในการปรับตัว (Adaptability): ความสามารถของระบบในการปรับเปลี่ยนการทำงานเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมหรือความต้องการ
8) ความทนทาน (Robustness) ความสามารถของระบบในการทำงานอย่างต่อเนื่องแม้จะมีความผิดปกติหรือปัจจัยรบกวน
9) ความยืดหยุ่น (Flexibility) ความสามารถของระบบในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลาย
10) อัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Fully Automated) การดำเนินการของระบบที่ไม่ต้องการการแทรกแซงจากมนุษย์
11) การตระหนักรู้ในตนเองเกี่ยวกับสินทรัพย์ (Asset Self-Awareness) ความสามารถของสินทรัพย์ในการตรวจสอบสภาพและประสิทธิภาพของตนเอง
12) การทำงานร่วมกัน (Interoperability) ความสามารถของระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ
13) ความสามารถด้านเครือข่าย (Networkability) ความสามารถของระบบในการเชื่อมต่อและสื่อสารผ่านเครือข่าย

14) ความเหมาะสมของข้อมูล (Information Appropriateness): การจัดการข้อมูลให้เหมาะสมและตรงตามความต้องการของผู้ใช้

15) ความยั่งยืน (Sustainability): ความสามารถของระบบในการดำเนินการโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

16) การจัดองค์ประกอบ (Compositionality): ความสามารถในการรวมส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อสร้างระบบที่ซับซ้อนขึ้น

17) ความสามารถในการประกอบ (Composability): ความสามารถในการรวมโมดูลหรือส่วนประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อสร้างระบบที่ต้องการ

18) ความกระตือรือร้น (Proactivity) ความสามารถของระบบในการดำเนินการล่วงหน้าเพื่อตอบสนองต่อสถานการณ์ที่คาดการณ์ไว

19) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ความสามารถของระบบในการทำงานอย่างสม่ำเสมอและเชื่อถือได้

20) ความคล่องตัว (Agility): ความสามารถของระบบในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาดหรือความต้องการของลูกค้าอย่างรวดเร็ว

21) การตอบสนอง (Responsiveness): ความสามารถของระบบในการตอบสนองต่อเหตุการณ์หรือการเปลี่ยนแปลงได้อย่างทันท่วงที

22) ความแม่นยำ (Accuracy): ความสามารถของระบบในการดำเนินการด้วยความถูกต้องและแม่นยำ

23) การนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Reusability): ความสามารถในการใช้ส่วนประกอบหรือทรัพยากรซ้ำเพื่อประหยัดต้นทุนและลดของเสีย

24) กระจายอำนาจ (Decentralized): การกระจายการตัดสินใจและการควบคุมไปยังหน่วยงานหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบ

25) กระจาย (Distributed): การกระจายทรัพยากรหรือกระบวนการไปยังสถานที่หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

26) ความยืดหยุ่นในระยะยาว (Resilience): ความสามารถของระบบในการฟื้นตัวจากความล้มเหลวหรือปัญหาและกลับมาทำงานได้อย่างปกติ

27) บูรณาการ (Integrability): ความสามารถของระบบในการรวมเข้ากับระบบหรือกระบวนการอื่น ๆ ได้อย่างราบรื่น

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของระบบการผลิตอัจฉริยะ

ลำดับที่	ลักษณะเฉพาะ	ลำดับที่	ลักษณะเฉพาะ
1	การแสดงตนทางดิจิทัล (Digital presence)	15	ความยั่งยืน (Sustainability)
2	ความหลากหลาย (Heterogeneity)	16	การจัดองค์ประกอบ (Compositionality)
3	ความเป็นโมดูลาร์ (Modularity)	17	ความสามารถในการประกอบ (Composability)
4	ความสามารถในการปรับขนาดแบบโมดูลาร์ (Modularity Scalability)	18	ความกระตือรือร้น (Proactivity)
5	การรับรู้บริบท (Context awareness)	19	ความน่าเชื่อถือ (Reliability)
6	การมีอิสระ (Autonomy)	20	ความคล่องตัว (Agility)
7	ความสามารถในการปรับตัว (Adaptability)	21	การตอบสนอง (Responsiveness)
8	ความทนทาน (Robustness)	22	ความแม่นยำ (Accuracy)
9	ความยืดหยุ่น (Flexibility)	23	การนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Reusability)
10	อัตโนมัติเต็มรูปแบบ (Fully automated)	24	กระจายอำนาจ (Decentralized)
11	การตระหนักรู้ในตนเองเกี่ยวกับสินทรัพย์ (Asset self-awareness)	25	กระจาย (Distributed)
12	การทำงานร่วมกัน (Interoperability)	26	ความยืดหยุ่นในระยะยาว (Resilience)
13	ความสามารถด้านเครือข่าย (Networkability)	27	บูรณาการ (Integrability)
14	ความเหมาะสมของข้อมูล (Information appropriateness)		

(3.2) องค์ประกอบหลักของระบบการผลิตอัจฉริยะ ระบบการผลิตอัจฉริยะมีองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้การดำเนินงานมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่

(3.2.1) ระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical Systems: CPS) เชื่อมโยงระหว่างระบบดิจิทัลและอุปกรณ์จริง เช่น เครื่องจักร, หุ่นยนต์, และเซ็นเซอร์ช่วยให้เครื่องจักรสามารถตรวจสอบ วิเคราะห์ และควบคุมกระบวนการผลิตได้แบบเรียลไทม์

(3.2.2) Internet of Things (IoT) และ Industrial IoT (IIoT) ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์สามารถสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้แบบอัตโนมัติใช้เครือข่ายเชื่อมต่อ เช่น 5G, Wi-Fi 6 และ Edge Computing เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสาร

(3.2.3) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และ Machine Learning (ML)

(3.2.4) วิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพื่อทำนายและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการผลิตใช้ Deep Learning เพื่อพัฒนา Predictive Maintenance และ Quality Control

(3.2.5) การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics)วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากระบบอัตโนมัติเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตใช้ Digital Twin เพื่อจำลองและทดสอบระบบก่อนดำเนินการจริง

(3.2.6) หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ (Robotics and Automation)ใช้ Collaborative Robots (Cobots) ทำงานร่วมกับมนุษย์ใช้ Autonomous Guided Vehicles (AGVs) ในการขนส่งสินค้าในโรงงาน

(3.2.7) การประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud Computing) และ Edge Computingใช้คลาวด์เพื่อจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ Edge Computing ช่วยลดความล่าช้าในการประมวลผลข้อมูลที่หน้างาน

(3.3) การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตอัจฉริยะ ระบบการผลิตอัจฉริยะสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตได้หลายด้าน ได้แก่

(3.3.1) โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory)ใช้ CPS และ AI ควบคุมกระบวนการผลิตให้สามารถปรับตัวตามความต้องการของตลาดเครื่องจักรสามารถเรียนรู้และปรับกระบวนการผลิตได้อัตโนมัติ

(3.3.2) การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) ใช้ Machine Learning และ IoT Sensors เพื่อทำนายปัญหาของเครื่องจักรล่วงหน้าลดต้นทุนการบำรุงรักษาและเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์

(3.3.3) การควบคุมคุณภาพแบบอัจฉริยะ (Intelligent Quality Control) ใช้ AI ตรวจจับข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิตลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพ

(3.3.4) ระบบอัตโนมัติในคลังสินค้า (Automated Warehouse Systems)ใช้หุ่นยนต์อัตโนมัติและ AGV (Automated Guided Vehicles) ในการขนส่งสินค้าลดเวลาและเพิ่มความแม่นยำในการจัดเก็บและกระจายสินค้า

(3.3.5) การออกแบบผลิตภัณฑ์แบบดิจิทัล (Digital Twin Technology) ใช้ Digital Twin จำลองผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนและเวลาในการพัฒนา

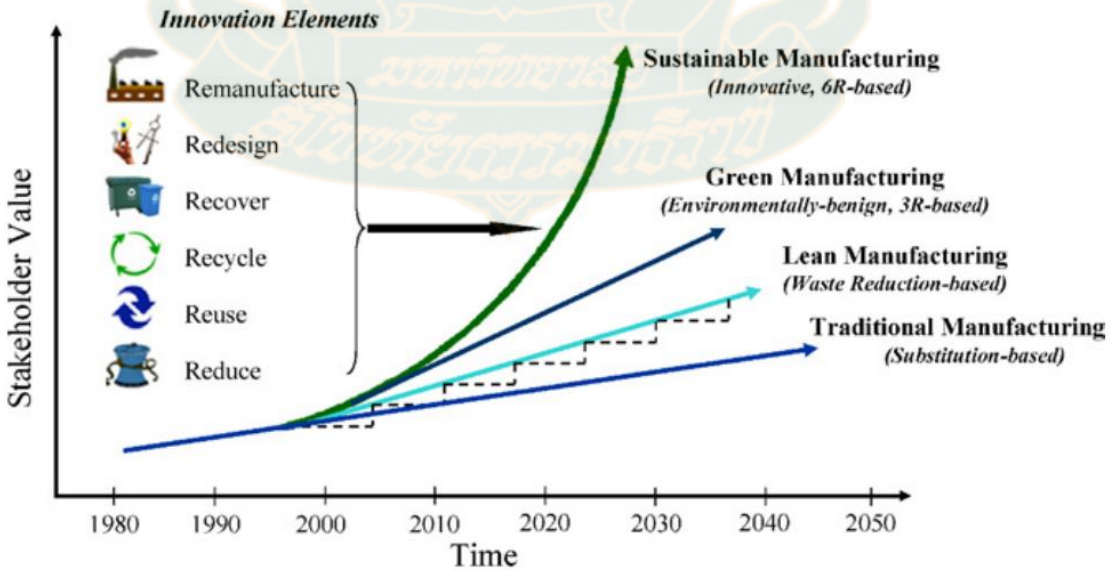
(3.4) ประโยชน์ของระบบการผลิตอัจฉริยะ การนำระบบการผลิตอัจฉริยะมาใช้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและลดต้นทุน โดยมีข้อดีดังต่อไปนี้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (Enhanced Productivity) – ลดข้อผิดพลาดและปรับปรุงกระบวนการผลิตลดต้นทุนการดำเนินงาน (Cost Reduction) – ลดของเสียและเพิ่มความแม่นยำในการใช้ทรัพยากรเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน (Competitive Advantage) – ทำให้ธุรกิจสามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดได้รวดเร็วปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Improved Product Quality) – ใช้ AI และ Machine Learning ตรวจสอบคุณภาพลดการใช้พลังงานและทรัพยากร (Energy and Resource Efficiency) ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

(3.5) ความท้าทายของระบบการผลิตอัจฉริยะ ได้แก่ ต้นทุนการลงทุนสูง (High Implementation Costs) ต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมากในการติดตั้งระบบ IoT, AI และหุ่นยนต์ความซับซ้อนในการบูรณาการระบบ (Integration Complexity) โรงงานแบบดั้งเดิมอาจต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Cybersecurity Risks) การเชื่อมโยงเครือข่ายและข้อมูลแบบเรียลไทม์มีความเสี่ยงต่อการโจมตีทางไซเบอร์ ขาดแคลนบุคลากรที่มีทักษะ (Lack of Skilled Workforce) ต้องมีการฝึกอบรมแรงงานให้สามารถใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการผลิต

ระบบการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) เป็นองค์ประกอบสำคัญของอุตสาหกรรม 4.0 ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ IoT, AI, Big Data, CPS และ Cloud Computing ระบบเหล่านี้ช่วยให้โรงงานสามารถดำเนินการได้อย่างอัตโนมัติและแม่นยำยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้งานยังต้องเผชิญกับความท้าทายด้านต้นทุน ความปลอดภัยทางไซเบอร์ และการพัฒนาทักษะบุคลากร

4) แนวคิดการผลิตที่ยั่งยืน

(4.1) แนวคิดที่เกิดจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการผลิต เริ่มจากการผลิตแบบดั้งเดิม (Traditional Manufacturing) ใช้การทดแทนวัสดุในการขับเคลื่อนกระบวนการผลิต หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเป็น การผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) เป็นการผลิตที่มีกระบวนการ แนวคิด การดำเนินงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดด้วยการลดความสูญเปล่าที่ไม่จำเป็นในการทำงาน เพื่อลดต้นทุนการผลิตลง หลังจากนั้นได้มีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการผลิตที่เป็นมิตรกับสังคมและสิ่งแวดล้อม (Green Manufacturing) ขึ้นมา โดยการผลิตนี้ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมและ 3R ได้แก่ การลด (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) ที่ทุ่งเน้นการลดความสูญเสียที่แหล่งกำเนิดเป็นหลัก และในปัจจุบันได้พัฒนาจนถึงการผลิตที่ยั่งยืน คำถึงถึงกิจกรรมในอุตสาหกรรมทั้งหมด ตั้งแต่โรงงานผลิต จนถึง ลูกค้า รวมถึงทุกขั้นตอนที่อยู่ระหว่างนั้น ทรัพยากร และบริการที่เชื่อมต่อกับห่วงโซ่การผลิตด้วย แนวคิดการผลิตที่ยั่งยืนยึดหลัก 6R ได้แก่ การลด การใช้ซ้ำ การนำกลับมาใช้ การนำกลับมาคืนสภาพ การออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และการนำกลับมาผ่านกระบวนการผลิตใหม่ (Jayal, Badurdeen, Dillon, & Jawahir, 2010) ดังภาพที่ 2.2 กล่าวคือ การผลิตที่ยั่งยืน (Sustainable Manufacturing) หมายถึงกระบวนการผลิตที่คำนึงถึงประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุล โดยใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างคุณค่าที่ยั่งยืนให้กับสังคม (Jayal, Badurdeen, Dillon, & Jawahir, 2010) แนวคิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของ เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และ การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ซึ่งช่วยให้ธุรกิจสามารถดำเนินงานได้อย่างมั่นคงในระยะยาว



ภาพที่ 2.2 แสดงวิวัฒนาการของการผลิตที่ยั่งยืน (Jayal et al., 2010)

(4.2) องค์ประกอบของการผลิตที่ยั่งยืน แนวคิดการผลิตที่ยั่งยืนสามารถแบ่งออกเป็น 3 มิติหลัก ได้แก่

(4.2.1) มิติด้านเศรษฐกิจ (Economic Sustainability) ลดต้นทุนการผลิตโดยใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความยืดหยุ่นและแข่งขันได้ในตลาด นำเทคโนโลยีใหม่ เช่น Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), และ Big Data มาใช้เพื่อลดความสูญเสียและเพิ่มผลผลิต

(4.2.2) มิติด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Sustainability) ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและของเสียจากกระบวนการผลิต นำพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวภาพ มาใช้ ส่งเสริมแนวคิด 3R : Reduce (ลด), Reuse (ใช้ซ้ำ), Recycle (รีไซเคิล) เพื่อลดปริมาณขยะอุตสาหกรรม

(4.2.3) มิติด้านสังคม (Social Sustainability) สร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัยและเป็นธรรม ส่งเสริมแรงงานที่มีทักษะผ่านการฝึกอบรมด้านเทคโนโลยี มีความรับผิดชอบต่อสังคม (Corporate Social Responsibility: CSR) โดยพัฒนาสินค้าและบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

(4.3) การประยุกต์ใช้ ผลิตที่ยั่งยืน ในภาคอุตสาหกรรม หลายบริษัทได้นำแนวคิดการผลิตที่ยั่งยืนไปอย่างแพร่หลาก เช่น

(4.3.1) BMW Group ใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า BMW i3 และ BMW i8 ใช้วัสดุรีไซเคิลในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

(4.3.2) Toyota ใช้แนวคิด Toyota Environmental Challenge 2050 เพื่อลดการปล่อยคาร์บอนจากโรงงานผลิตพัฒนาเทคโนโลยี ไฮโดรเจนเซลล์ (Hydrogen Fuel Cell) ในรถยนต์เพื่อลดมลพิษ

(4.3.3) Unilever ลดปริมาณการใช้น้ำและพลังงานในกระบวนการผลิต ใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถรีไซเคิลได้

(4.4) ความท้าทายของการผลิตที่ยั่งยืน แม้ว่าการผลิตที่ยั่งยืนจะมีข้อดีหลายประการ แต่ยังคงมีอุปสรรคที่ต้องแก้ไข ได้แก่ ต้นทุนการลงทุนสูง (High Initial Investment Costs) เทคโนโลยีสีเขียว เช่น พลังงานหมุนเวียนและการรีไซเคิลวัสดุ ยังมีต้นทุนที่สูง การขาดแคลนบุคลากรที่มีทักษะ (Lack of Skilled Workforce) ต้องมีการพัฒนาแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ข้อจำกัดด้านกฎระเบียบและนโยบาย (Regulatory and Policy Challenges) นโยบายและกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมในบางประเทศยังไม่สนับสนุนการลงทุนในเทคโนโลยีสีเขียว

กล่าวได้ว่า การผลิตที่ยั่งยืน (Sustainable Manufacturing) เป็นแนวคิดที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ

สังคม และสิ่งแวดล้อม องค์กรที่นำแนวคิดนี้มาใช้สามารถลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในระยะยาว อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายหลายด้านที่ต้องได้รับการแก้ไข เช่น ต้นทุนการลงทุนสูง และความจำเป็นในการพัฒนาแรงงานที่มีทักษะ การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนจึงต้องอาศัย เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น IoT, AI, และ Big Data รวมถึงนโยบายสนับสนุนจากภาครัฐเพื่อให้สามารถเปลี่ยนผ่านไปสู่การผลิตที่ยั่งยืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากแนวคิดการผลิตอัจฉริยะ และ การผลิตที่ยั่งยืน ทั้งสองการนำทั้งสองแนวคิดนี้มาใช้ร่วมกันทำให้เกิด แนวคิดใหม่คือ แนวคิดอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน Mohamed et al. (2020) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า เป็นการนำประโยชน์จากเทคโนโลยีต่างๆ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ข้อมูลขนาดใหญ่ การผลิตแบบเติมเนื้อ ระบบไซเบอร์-กายภาพ เป็นต้น มาใช้ในกิจกรรมในอุตสาหกรรมทั้งหมดโดยคำนึงการยึดหลัก 6R ในเวลาเดียวกัน เพื่อสร้างสังคมที่มีความสมดุลและเหมาะสมระหว่างสองมุมมอง ได้แก่ ความยั่งยืน และ อุตสาหกรรม 4.0 Gautam, Maheshwari, and Jaggi (2022) ได้ทำการสำรวจและพบว่า ถึงอย่างไรการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืนก็ยังไม่สามารถดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งยังต้องคำนึงถึงระดับสีเขียว ความต้องการของผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ขึ้นอยู่กับราคา และขนาดและขอบเขตทางธุรกิจด้วย ความหมายการผลิตที่ยั่งยืน (Sustainable Manufacturing) ของการผลิตที่ยั่งยืน หมายถึง กระบวนการผลิตที่คำนึงถึงประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุล โดยใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างคุณค่าที่ยั่งยืนให้กับสังคม (Jayal, Badurdeen, Dillon, & Jawahir, 2010) แนวคิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของ เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และ การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ซึ่งช่วยให้ธุรกิจสามารถดำเนินงานได้อย่างมั่นคงในระยะยาว

2.2 การศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะ

สมรรถนะ (Competency) คือ คุณลักษณะเฉพาะของบุคคลที่ประกอบด้วยความรู้ (Knowledge), ทักษะ (Skills) และ คุณลักษณะอื่น ๆ (Attributes) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการปฏิบัติงานให้ประสบความสำเร็จ นักวิชาการหลายท่านได้ให้คำจำกัดความของสมรรถนะไว้ ดังนี้

Scott B. Parry. (1996) ได้ให้นิยามว่าสมรรถนะคือกลุ่มของความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกัน ซึ่งมีผลกระทบต่องานหลักของตำแหน่งงานหนึ่ง ๆ และสามารถวัดผลเทียบกับมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ

Lyle M. Spencer Jr. และ Signe M. Spencer (1993) ให้ ความหมาย สมรรถนะ หมายถึง คุณลักษณะพื้นฐานที่มีอยู่ภายในตัวบุคคล ได้แก่ แรงจูงใจ อุปนิสัย อัตมโนทัศน์ ความรู้ และทักษะ ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้จะเป็นตัวผลักดันหรือมีความสัมพันธ์เชิงเหตุผลให้บุคคลสามารถปฏิบัติงานตามหน้าที่ความรับผิดชอบหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและ/หรือสูงกว่าเกณฑ์อ้างอิงหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้

Richard E. Boyatzis (1982) ได้ให้ความหมายว่า สมรรถนะ คือ คุณลักษณะพื้นฐานของบุคคล เช่น แรงจูงใจ อุปนิสัย ทักษะ จินตภาพส่วนตน หรือบทบาททางสังคม หรือองค์ความรู้ ซึ่งบุคคลจำเป็นต้องใช้ในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้ผลงานสูงกว่า/เหนือกว่าเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนดไว้

David C. McClelland (1973) นักจิตวิทยาจากมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ได้ให้ความหมายว่า สมรรถนะ หมายถึง คุณลักษณะที่ซ่อนอยู่ภายในบุคคล ซึ่งเป็นตัวผลักดันให้บุคคลสามารถสร้างผลการปฏิบัติงานที่ดีหรือเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในงานที่ตนรับผิดชอบ

กล่าวได้ว่า สมรรถนะ (Competency) หมายถึง คุณลักษณะพื้นฐานของบุคคล ที่ประกอบไปด้วย ความรู้ (Knowledge), ทักษะ (Skills) และคุณลักษณะส่วนบุคคล (Attributes) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้บุคคลสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล โดยมีองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จในงาน

การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจโลกในปัจจุบันและการใช้เทคโนโลยีใหม่ ทำให้เศรษฐกิจของประเทศต่างๆ ต้องการแรงงานที่มีสมรรถนะ ความรู้ และความสามารถระดับสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของโลกอุตสาหกรรมในปัจจุบัน อุตสาหกรรมกำลังมองหาผู้สำเร็จการศึกษาที่มีนวัตกรรม ปรับตัวได้ และมีความยืดหยุ่น พร้อมความสามารถในการนำทางการเปลี่ยนแปลงของสถานที่ทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป (Ferns, Dawson, & Howitt, 2019) การจ้างงานจึงเป็นปัญหาที่น่ากังวลในหลายพื้นที่ของเศรษฐกิจโลก (Tagulwa, Owino, Muwonge, & Kaahwa, 2023) Froese and Hong (2022) ได้พัฒนาแบบสำรวจที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการจ้างงานสำหรับคนรุ่นถัดไป

ในประเทศไทย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (Sukhothai Thammathirat Open University; STOU) เป็นมหาวิทยาลัยเปิดเพียงแห่งเดียวของประเทศที่มุ่งเน้นการจัดการศึกษาผ่านระบบการเรียนทางไกลอย่างเต็มรูปแบบ รูปแบบการเรียนการสอนนี้เปิดโอกาสให้นักศึกษาจากหลากหลายพื้นที่และภูมิหลังทางสังคมสามารถเข้าถึงการศึกษาที่มีคุณภาพได้โดยไม่ต้องเผชิญกับข้อจำกัดของระบบมหาวิทยาลัยแบบดั้งเดิม การดำเนินงานในลักษณะนี้ทำให้ STOU มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต (Lifelong Learning) และขยายโอกาสทางการศึกษาอย่างทั่วถึง ส่งเสริมความเสมอภาคทางการศึกษาในระดับประเทศ (Laosum, 2024) ในบริบทของสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้าสู่ยุคของอุตสาหกรรมอัจฉริยะที่ยั่งยืน (Sustainable Smart Manufacturing Industry) ซึ่งให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีดิจิทัลและการผลิตที่ยั่งยืน STOU จำเป็นต้องพัฒนารูปแบบการประเมินสมรรถนะของนักศึกษาให้สอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมดังกล่าว เพื่อให้แน่ใจว่านักศึกษาที่สำเร็จการศึกษาจะมีทักษะที่จำเป็นต่อการทำงานในภาคอุตสาหกรรมที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีและหลักการพัฒนาอย่างยั่งยืน การพัฒนารูปแบบการประเมินสมรรถนะนี้จะช่วยให้ STOU สามารถปรับหลักสูตรและแนวทางการสอนได้อย่างเหมาะสมกับบริบทของการทำงานในอนาคต รวมถึงสามารถผลิตบัณฑิตที่พร้อมเผชิญกับความท้าทายของการทำงานในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืนในการประชุม OU5 ได้เน้นที่สมรรถนะ/ทักษะที่มีความจำเป็นต่อการทำงานกับอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน ทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่

1) ทักษะทางเทคโนโลยี (Technological skills) เป็นความสามารถในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม 4.0 โดยเฉพาะการนำ Internet of Things (IoT), Cyber-Physical Systems (CPS) Big Data และ Artificial Intelligence (AI) มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตและการบริหารจัดการอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ ทักษะด้าน IoT ช่วยให้สามารถติดตั้งและจัดการเครือข่ายเซ็นเซอร์อัจฉริยะเพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ส่วน CPS มุ่งเน้นการบูรณาการระหว่างระบบทางกายภาพกับระบบดิจิทัล เช่น การใช้ Digital Twin เพื่อจำลองกระบวนการผลิตจริง ขณะที่ Big Data Analytics ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อหาแนวโน้ม ปรับปรุงประสิทธิภาพ และพยากรณ์ความต้องการในอนาคต นอกจากนี้ AI มีบทบาทสำคัญในการพัฒนา Predictive Maintenance ลดเวลาหยุดทำงานของเครื่องจักร รวมถึงการควบคุมกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ การใช้ Computer Vision และ Natural Language Processing (NLP) ในอุตสาหกรรม (Cohen & Macek, 2021)

2) สมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม (Green Competencies) เป็นความสามารถในการดำเนินงานโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งครอบคลุมหลายมิติ ได้แก่ ความรู้สีเขียว (Green Knowledge) ที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจในแนวคิดด้านความยั่งยืน นโยบายสิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีที่

เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทักษะสีเขียว (Green Skills) เช่น การจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน และการลดของเสียในกระบวนการผลิต การรับรู้สีเขียว (Green Awareness) เป็นการตระหนักถึงผลกระทบของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนแนวทางลดผลกระทบเชิงลบ ทัศนคติสีเขียว (Green Attitudes) สะท้อนถึงค่านิยมและความมุ่งมั่นในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม รวมถึงการสนับสนุนแนวทางปฏิบัติที่เป็นมิตรต่อธรรมชาติ ความสามารถสีเขียว (Green Abilities) คือศักยภาพในการคิดเชิงนวัตกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ลดการปล่อยมลพิษ หรือการพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด และสุดท้าย พฤติกรรมสีเขียว (Green Behavior) เป็นการนำความรู้และทักษะไปปรับใช้ในชีวิตประจำวันและการทำงาน เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียน ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน ดังนั้น สมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้บุคคลและองค์กรสามารถดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม (Cabral & Lochan Dhar, 2019)

3) ทักษะในศตวรรษที่ 21 (21st century skills) เป็นทักษะที่ครอบคลุมความสามารถที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตและการทำงานในโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยนอกเหนือจากทักษะพื้นฐานด้านการอ่าน การเขียน การแปลผล และการสังเคราะห์แล้ว ยังรวมถึงทักษะความรู้ความเข้าใจ (Cognitive Skills) เช่น การคิดเชิงวิเคราะห์ (Critical Thinking) การแก้ปัญหา (Problem-Solving) และความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) ซึ่งช่วยให้สามารถจัดการข้อมูลและตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทักษะภายในบุคคล (Intrapersonal Skills) ครอบคลุมการกำกับตนเอง (Self-Regulation) ความยืดหยุ่นในการปรับตัว (Adaptability) และแรงจูงใจในการเรียนรู้ตลอดชีวิต ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล (Interpersonal Skills) ได้แก่ การสื่อสาร (Communication) การทำงานเป็นทีม (Collaboration) และภาวะผู้นำ (Leadership) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในสภาพแวดล้อมการทำงานที่ต้องอาศัยความร่วมมือ ทักษะทางเทคนิค (Technical Skills) หมายถึงความสามารถในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและเครื่องมือเฉพาะทางที่เกี่ยวข้องกับสายอาชีพ เช่น การเขียนโปรแกรม การวิเคราะห์ข้อมูล และการใช้ระบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ ทักษะในศตวรรษที่ 21 ยังรวมไปถึง ทักษะทางการเงิน (Financial Skills) ซึ่งเป็นความสามารถในการบริหารจัดการงบประมาณ การลงทุน และการวางแผนทางการเงินอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึง ทักษะการเป็นผู้ประกอบการ (Entrepreneurial Skills) ที่ช่วยให้สามารถคิดค้นนวัตกรรม สร้างธุรกิจใหม่ และปรับตัวให้เข้ากับแนวโน้มทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยี ทักษะเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้บุคคลสามารถพัฒนาอาชีพและประสบความสำเร็จในยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและซับซ้อน (Geisinger, 2016)

4) ทักษะการคิดที่จำเป็นแห่งอนาคต (Future thinking skills) เป็นความสามารถที่ช่วยให้บุคคลและองค์กรสามารถเตรียมพร้อมรับมือกับความไม่แน่นอนและการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

โดยมุ่งเน้น การมองการณ์ไกล (Foresight), การมองการณ์ไกลเชิงกลยุทธ์ (Strategic Foresight) และการศึกษาอนาคต (Futures Studies) เพื่อทำความเข้าใจแนวโน้มและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น (DPMC, 2023) ทักษะนี้ช่วยพัฒนากระบวนการคิดสร้างสรรค์และการสำรวจผ่านมุมมองที่แตกต่างออกไป โดยเน้น การแสวงหาความเป็นไปได้ของคำตอบที่ไม่มีความแน่นอน และไม่ยึดติดกับแนวทางเดิม ๆ (Buntting & Jones, 2015) ซึ่งรวมถึง การระบุและทดสอบสมมติฐาน เพื่อคาดการณ์สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้น และสำรวจความเป็นไปได้ที่มากกว่าการมองอนาคตในรูปแบบเดิม นอกจากนี้ ยังช่วยให้สามารถ สร้างข้อมูลเชิงลึกใหม่ เกี่ยวกับแนวโน้มและความเป็นไปได้ในการพัฒนานวัตกรรม รวมถึงการพิจารณาผลกระทบทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจ เพื่อประเมินความเสี่ยงและผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต อีกทั้งยังเป็นแนวทางสำคัญในการ ลดความเสี่ยง และพัฒนากลยุทธ์ที่สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ทักษะการคิดเชิงอนาคตจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้บุคคล องค์กร และสังคมสามารถปรับตัวและสร้างความได้เปรียบในโลกที่เต็มไปด้วยความไม่แน่นอน (DPMC, 2023; Jones et al., 2012)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ หลักการออกแบบอุตสาหกรรม 4.0 (Design Principles) ซึ่งหลักการเหล่านี้สามารถช่วยให้นักวิชาการสามารถศึกษาประเด็นนี้ได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น ขณะเดียวกัน นักปฏิบัติในภาคอุตสาหกรรมสามารถใช้เป็นแนวทางในการระบุและพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานอุตสาหกรรม 4.0 นอกจากนี้กรณีศึกษาที่นำเสนอในงานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า หลักการออกแบบที่ระบุไว้สามารถช่วยผู้ปฏิบัติงานในการกำหนดและพัฒนาแนวทางสำหรับอุตสาหกรรม 4.0 ได้อย่างไรอุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) เป็นแนวคิดเกี่ยวกับการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สี่ ซึ่งเน้นการบูรณาการ Internet of Things (IoT), Cyber-Physical Systems (CPS), Big Data Analytics, Cloud Computing และปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับกระบวนการผลิตและระบบโลจิสติกส์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่นและความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลก แนวคิดนี้ได้รับการผลักดันครั้งแรกโดยรัฐบาลเยอรมนีในปี 2011 และกลายเป็นประเด็นสำคัญในภาคธุรกิจและการศึกษา (Hermann, Pentek, & Otto, 2016) การศึกษาโดย Hermann และคณะ (2016) ได้ระบุ หลักการออกแบบสำหรับอุตสาหกรรม 4.0 (Design Principles for Industries' 4.0 Scenarios) ไว้ 4 ประการ ได้แก่

1) การเชื่อมต่อ (Interconnection): ระบบอัจฉริยะ เครื่องจักร และบุคลากรสามารถสื่อสารผ่าน IoTและเครือข่ายดิจิทัล

2) ความโปร่งใสของข้อมูล (Information Transparency): การใช้ Big Data และเซ็นเซอร์ขั้นสูงเพื่อวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองข้อมูล

3) การตัดสินใจแบบอัตโนมัติ (Decentralized Decisions): ระบบสามารถดำเนินการและตัดสินใจได้เองโดยใช้ AI และ Machine Learning

4) การสนับสนุนทางเทคนิค (Technical Assistance): การใช้ระบบอัจฉริยะเพื่อสนับสนุนกาทำงานของมนุษย์ ทั้งในรูปแบบข้อมูลและการช่วยเหลือทางกายภาพ
การวิจัยชี้ให้เห็นว่า อุตสาหกรรม 4.0 ไม่เพียงแต่เปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต แต่ยังสร้างโอกาสใหม่สำหรับองค์กรในการพัฒนาระบบอัตโนมัติ เพิ่มขีดความสามารถของแรงงาน และปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมการแข่งขันระดับโลก การนำหลักการออกแบบเหล่านี้ไปใช้สามารถช่วยให้บริษัทต่างๆ ระบุและพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินงานในยุคดิจิทัล (Hermann et al., 2016)

Efremova (2023) ได้กล่าวถึงความท้าทายในการประเมินความสามารถและแนะนำอัลกอริทึมสำหรับการพัฒนาการประเมินความสามารถโดยใช้การโมเดลและการแสดงความสามารถในกิจกรรมของนักศึกษาการออกแบบเครื่องมือประเมินโมเดลที่มีเหตุผลในการพิสูจน์ผลการประเมินการออกแบบรูปแบบที่ขยายออกไปสำหรับครูและผู้พัฒนาเครื่องมือประเมินและกระบวนการ Rahayu และ Rozi (2021) วิเคราะห์ระดับสมรรถนะความสามารถของนักศึกษาในด้านทัศนคติ ความรู้ และทักษะพบว่าความสามารถโดยรวมสูง สมรรถนะความสามารถโดยรวมของนักศึกษามีดัชนีรวมเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ ร้อยละ 78.97 สมรรถนะความสามารถในด้านทัศนคติ ความรู้ และทักษะมีเกณฑ์สูงกว่าค่าเฉลี่ย Daryono et al. (2023) ให้ความสำคัญกับความต้องการในด้านสมรรถนะความสามารถของนักศึกษาภาควิศวกรรมสถาปัตยกรรมและเน้นความสำคัญของการจับความสามารถกับความต้องการของอุตสาหกรรม การศึกษานี้กำหนดความต้องการในด้านสมรรถนะความสามารถของนักศึกษาภาควิศวกรรมสถาปัตยกรรม โมเดลการประเมินอธิบายสมรรถนะความสามารถทั้งหมดที่จำเป็นของนักศึกษา อยู่ที่ ร้อยละ 89.75 แต่ในการทบทวนความสามารถของนักศึกษาการพยาบาลของ Retnaningsih (2022) ระบุสมรรถนะในหัวข้อสามประการได้แก่ 1) ความสามารถทางชีวภาพ จิตวิทยา สังคม จิตวิญญาณ วัฒนธรรม 2) ความรู้ด้านการดูแลและจรรยาบรรณ และ 3) ความรู้และความสามารถทางเทคโนโลยีข้อมูล หัวข้อของสมรรถนะทางด้านการพยาบาลทั้งสามหัวข้อระบุได้เน้นถึงความสามารถรวมถึงด้านชีวภาพ จิตวิทยา สังคม จิตวิญญาณ และวัฒนธรรม นอกจากนี้ Nelyza et al. (2021) ตรวจสอบผลของรูปแบบการสอบถามแบบมีแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะความสามารถของนักศึกษาทางสมอง พบว่า เกิดผลลัพธ์ที่ดี ดังนั้นความสมรรถนะสามารถของนักศึกษาโดยรวม รวมถึงการประเมิน ระดับ ความต้องการ และกลยุทธ์การปรับปรุง รูปแบบการสอบถามที่มีการนำทางไปที่เป้าหมายในการปรับปรุงความสามารถของนักศึกษาคะแนนเฉลี่ยโดยรวมของทักษะของนักศึกษาอยู่ที่ 0.65 อยู่ในระดับปานกลาง Amsal (2023) ตรวจสอบความเข้าใจของนักศึกษาเกี่ยวกับบุคลิกภาพของครูและความสามารถทางสังคม Smith et al. (2023) สำรวจว่า

ผู้ประเมินพารามิดิกมีวิธีการในการกำหนดความสามารถทางมืออาชีพของนักศึกษาพารามิดิก Tran Quoc Thao (2020) ได้ศึกษาประสบการณ์ความรู้สึกของนักศึกษาครูในการประเมินความสามารถในการสอนของตนเอง โดยใช้กรอบการประเมินความสามารถในการสอนภาษาอังกฤษของนักศึกษา ซึ่งการศึกษาเหล่านี้เน้นความสำคัญของการประเมินความสามารถของนักศึกษาในหลายๆ เรื่องการศึกษา

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ ได้มีการพัฒนาโมเดลและเครื่องมือการประเมินสมรรถนะ การวิเคราะห์ระดับสมรรถนะของนักศึกษาในด้านต่างๆ สมรรถนะของนักศึกษาในสาขาเฉพาะทาง การพัฒนาสมรรถนะผ่านกลยุทธ์การประเมินและการสอน ความสามารถเชิงสังคมและอาชีพ โดยในบางงานวิจัยได้ใช้ An Action-based Competency Model ที่ระบุถึงกรอบแนวคิดที่เน้น การระบุสมรรถนะ (Competency) ของบุคคลโดยพิจารณาจากพฤติกรรมที่สังเกตได้ (Observable Actions) หรือการปฏิบัติงานจริง (Real-world Performance) (MLAOUHI et al., 2022) ทั้งนี้ การวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปบริบทแนวคิดของอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน และเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบกรอบสมรรถนะที่จำเป็นของนักศึกษาในมหาวิทยาลัยเปิด เพื่อรองรับ ความต้องการของอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน ของประเทศไทย จากการสืบค้นของผู้วิจัยยังพบว่าการทำวิจัยในประเด็นดังกล่าวยังไม่ชัดเจน นอกจากนี้จะประเมินความสามารถของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยเปิด เพื่อการจ้างงานในอุตสาหกรรมการผลิตอัจฉริยะที่ยั่งยืน เพื่อนำไปใช้เป็นข้อกำหนด ต้นแบบ และเปรียบเทียบขีดความสามารถในกลุ่มประเทศอาเซียนต่อไป

Milisavljevic-Syed, J., Afy-Shararah, M., Sahin, O., & Salonitis, K. (2023) มุ่งเน้นถึงแนวคิดโรงงานการเรียนรู้ (Learning Factory - LF) ในบริบทของความยั่งยืนอุตสาหกรรม 4.0 (I4.0) ได้เร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลในภาคการผลิต แต่กลับขาดมิติทางสังคมและสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรม 5.0 (I5.0) จึงถูกเสนอขึ้นมาเพื่อตอบโจทย์แนวทางที่คำนึงถึงมนุษย์ ความยั่งยืน และความสามารถในการฟื้นตัวจากภาวะวิกฤติ อย่างไรก็ตาม แนวคิด I5.0 ยังไม่ได้ถูกนำมาบูรณาการในโรงงานการเรียนรู้อย่างเต็มที่ พบว่า ช่องว่างด้านความสามารถ (Competency Gaps) ปัจจุบันอุตสาหกรรมขาดแคลนบุคลากรที่มีความสามารถด้านเทคโนโลยี I4.0 ระบบการศึกษาดั้งเดิมยังไม่สามารถพัฒนาแรงงานที่มีทักษะการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลได้อย่างเพียงพอ แนวทางการพัฒนาโรงงานการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับ I5.0 มีการใช้กรอบการวิเคราะห์มิติของโรงงานการเรียนรู้ที่แบ่งเป็น เทคโนโลยี (Technology), ธุรกิจ (Business), มนุษย์ (Human), และ สิ่งแวดล้อม (Environment) พบว่าการออกแบบโรงงานการเรียนรู้ในปัจจุบันเน้นหนักไปที่เทคโนโลยีมากกว่ามิติด้านมนุษย์และสิ่งแวดล้อม การเสนอรูปแบบการพัฒนาใหม่ งานวิจัยได้พัฒนารูปแบบ

(Morphology) ที่ขยายขอบเขตของโรงงานการเรียนรู้ โดยเพิ่มมิติของความยั่งยืนที่ครอบคลุม Resilience (ความสามารถในการฟื้นตัว) Environmental Sustainability (ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม) Workforce Sustainability (ความยั่งยืนของแรงงาน) Learning Sustainability (ความยั่งยืนของการเรียนรู้)ข้อจำกัดของโรงงานการเรียนรู้ในปัจจุบัน มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร โครงสร้างพื้นฐาน และความสามารถในการขยายขนาด ขาดการเชื่อมโยงกับ SMEs และการสนับสนุนเศรษฐกิจระดับภูมิภาค แนวทางการพัฒนาในอนาคต ควรพัฒนาโรงงานการเรียนรู้ให้สามารถรองรับทักษะแห่งอนาคตที่เน้นความร่วมมือระหว่างเทคโนโลยีและมนุษย์ สนับสนุนการศึกษาเชิงปฏิบัติและสร้างแพลตฟอร์มสำหรับการเรียนรู้ตลอดชีวิต กล่าวโดยสรุป โรงงานการเรียนรู้สามารถเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาบุคลากรให้พร้อมต่ออุตสาหกรรมอัจฉริยะที่ยั่งยืน อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้ครอบคลุมแนวคิดของ I5.0 เพื่อลดช่องว่างทางเทคโนโลยีและเพิ่มขีดความสามารถของแรงงานในระยะยาว

Dassisti, M., & Semeraro, C. (2018) นำเสนอแนวคิด โรงงาน-ห้องปฏิบัติการอัจฉริยะเพื่อการผลิตที่ยั่งยืน (Learning Laboratory Factory - LLF) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มสำหรับทดสอบหลักการของ Industry 4.0 (I4.0) โดยมุ่งเน้นให้สถานประกอบการสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะกับ ธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ที่มักเผชิญกับข้อจำกัดด้านทรัพยากรและความเชี่ยวชาญ พบว่าความท้าทายในอุตสาหกรรม 4.0 SMEs มีข้อจำกัดในการเข้าถึงและใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น Big Data, 3D Printing, Augmented Reality, Cyber-Physical Systems (CPS) การพัฒนาทักษะบุคลากรในอุตสาหกรรมยังไม่สามารถตามทันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี แนวทางโรงงาน-ห้องปฏิบัติการอัจฉริยะ (Learning Laboratory Factory - LLF) ใช้ Digital Twin (คู่แฝดดิจิทัล) และ Cyber-Physical Systems (CPS) ในการจำลองและวิเคราะห์กระบวนการผลิตพัฒนาแพลตฟอร์มที่สามารถ ทดสอบ ปรับปรุง และนำเทคโนโลยีไปใช้จริงในอุตสาหกรรมสนับสนุนการเรียนรู้โดยใช้ สมรรถนะที่เน้นการลงมือทำ (Competency-Based Learning) มากกว่าการเรียนรู้แบบดั้งเดิมการประยุกต์ใช้ LLF ในโรงงานจริง กรณีศึกษาในบริษัท Master Italy s.r.l. ได้พัฒนาระบบวางแผนการผลิตขั้นสูง (Advanced Scheduling) ที่สามารถจัดลำดับการผลิตแบบเรียลไทม์ ใช้เซ็นเซอร์ต้นทุนต่ำและระบบ Manufacturing Execution System (MES) เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากสายการผลิตพัฒนา ระบบ Asset Monitoring ซึ่งช่วยให้พนักงานสามารถเฝ้าติดตามการทำงานของเครื่องจักรผ่าน แอปพลิเคชันมือถือ ข้อดีของ

แนวทาง LLF ลดช่องว่างทางทักษะ (Skills Gap) โดยให้พนักงานเรียนรู้ผ่าน เทคโนโลยี แทนการเรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทำงานแบบแมนนวล ช่วยให้ SMEs สามารถทดสอบและปรับตัวเข้ากับ I4.0 ได้เร็วขึ้น ข้อจำกัดและแนวทางพัฒนาในอนาคต ปัจจุบันโรงงานการเรียนรู้ยังมีข้อจำกัดด้าน ขนาด ความสามารถในการขยายตัว และทรัพยากรที่ต้องใช้ควรมีการพัฒนาให้รองรับ Industry 5.0 ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ ความยั่งยืนและความเป็นศูนย์กลางของมนุษย์

กล่าวโดยสรุปงานวิจัยนี้เสนอแนวคิด Learning Laboratory Factory (LLF) ที่ช่วยให้โรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะ SMEs สามารถพัฒนาขีดความสามารถในการผลิตให้เข้ากับ Industry 4.0 ได้โดยการใช้ Digital Twin และ CPS ในการจำลองและพัฒนากระบวนการผลิต ข้อได้เปรียบของ LLF คือสามารถลดต้นทุนการเรียนรู้ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และช่วยให้แรงงานสามารถเรียนรู้ทักษะใหม่ผ่านการปฏิบัติจริง อย่างไรก็ตาม การพัฒนาไปสู่ Industry 5.0 ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางที่รองรับความยั่งยืนและการพัฒนาความสามารถของบุคลากรในระยะยาว