การพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

วันที่ได้รับต้นฉบับ: 5 มิถุนายน 2561
วันที่ได้รับบทความฉบับแก้ไข: 4 กันยายน 2561
วันที่ตอบรับบทความ: 12 กันยายน 2561

*สุภาวัลย์ เชาว์พาณิชย์เจริญ**
*สถาพร โอภาสานนท์***

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยต้องเผชิญกับความท้าทายจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 ซึ่งส่งผลต่อขีดความสามารถทางการแข่งขันของสถานประกอบการ การวัดประสิทธิภาพการดำเนินงานมีส่วนสำคัญในการประเมินศักยภาพและความพร้อมของสถานประกอบการที่มีต่อบริบทของการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพสำหรับการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier ซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายหลักที่มีความสำคัญของประเทศ ดำเนินการวิจัยโดยการทบทวนวรรณกรรมและการประยุกต์ใช้วิธีเดลฟาย ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึกจากกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อรวบรวมและคัดกรองตัวชี้วัดประสิทธิภาพ และใช้วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ในการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ผลการศึกษาพบว่ามิติด้านพนักงานมีความสำคัญมากที่สุดในการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 รองลงมาคือ มิติด้านกลยุทธ์และองค์กร มิติด้านเทคโนโลยี มิติด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ และมิติด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวัดประสิทธิภาพการดำเนินงานและหาแนวทางในการพัฒนาสถานประกอบการต่อไป

คำสำคัญ: กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ อุตสาหกรรม 4.0 สถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทย วิธีเดลฟาย

* เลขานุการกรรมการผู้จัดการ บริษัท ไทยซัมมิท โอโตโมทีฟ จำกัด (สำนักงานใหญ่)
** รองศาสตราจารย์ประจำคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Development of Performance Indicators for Assessing Industry 4.0 Readiness of First Tier Auto-Part Enterprises in Thailand

Received: June 5, 2018
Revised: September 4, 2018
Accepted: September 12, 2018

*Supawan Chaopanitcharoen**
*Sathaporn Opasanon***

Abstract

Presently, the auto-part assembling industry encounters challenges due to the 4th industrial revolution, which affects the competitive capacity of enterprises. The performance measurement plays an important role in evaluating the readiness of enterprises, and enhancing operational performances in response to the changing industrial environment. The objective of this research is to develop the performance indicators for measuring the industry 4.0 readiness of Thai auto-part assembling enterprises in the first-tier level, which is one of the key industries of Thailand. Literature review and Delphi method through in-depth interviews with experts in the industry were employed to collect and screen data, respectively. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was employed to determine indicator weights. The findings revealed that Employee dimension is the most important in preparing the first-tier auto-part assembling enterprises for industry 4.0, followed by the Strategy and Organizational, Technology, Smart Operation, and Smart Product and Service, respectively. The developed set of indicators will enable Thai auto-part assembling enterprises to evaluate their performances for further improvement.

Keywords: Analytic Hierarchy Process (AHP), Performance Indicators, Industry 4.0, Thai Auto-Part Enterprises, Delphi Method

* Executive Secretary, Thai Summit Automotive Co.,Ltd. (Head Quarter Bangna)
** Associate Professor, Thammasat Business School, Thammasat University.

บทนำ

อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) คือ การปฏิวัติอุตสาหกรรมของโลก ครั้งที่ 4 ซึ่งเน้นการเชื่อมต่อเครือข่ายเทคโนโลยีการผลิตผ่านระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) ที่มีการผสมผสานของอินเทอร์เน็ต ข้อมูลและการบริการ (Internet of Things) เข้ามาช่วยสร้างเครือข่ายการแลกเปลี่ยนแบบอัจฉริยะ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการกระบวนการผลิตได้อย่างอิสระไปสู่ระบบที่เรียกว่า Cyber-Physical Systems เพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบของธุรกิจและอุตสาหกรรมการผลิตสู่ความเป็นโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) (GTAI, 2014) ทั้งนี้ แนวคิดเรื่องอุตสาหกรรม 4.0 กำเนิดจากรัฐบาลของประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน ที่ต้องการพัฒนาอุตสาหกรรมชั้นนำและอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐานด้วยนวัตกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง อาทิ การบริการอัจฉริยะ (Smart Services) ข้อมูลอัจฉริยะ (Smart Data) ระบบการประมวลและเก็บข้อมูลด้วยคลาวด์ (Cloud Computing) ระบบเครือข่ายดิจิทัล (Digital Networking) เพื่อสร้างศักยภาพทางเศรษฐกิจและสังคม (Deutscher Bundestag, 2016) กล่าวคือ เป็นการบูรณาการโลกของการผลิตด้วยเทคโนโลยีสำคัญที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต ที่ประสานความสามารถของเทคโนโลยีการผลิตเข้ากับเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยปราศจากการแทรกแซงของมนุษย์ (VDMA's IMPULS-Stiftung, 2015) จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรม 4.0 ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนารูปแบบการผลิตไปจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 3 โดยเป็นการยกระดับศักยภาพของกระบวนการผลิตให้เป็นแบบ Automation ให้เกิดการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้อย่างอัตโนมัติและเป็นอิสระ (Deutscher Bundestag, 2016) ส่งผลให้ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยต้องมีการปรับตัวครั้งสำคัญเพื่อรองรับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ดังกล่าว

สำหรับประเทศไทย The Federation of Thai Industries (2016) กล่าวว่า อุตสาหกรรม 4.0 คือ การนำนวัตกรรม เทคโนโลยีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ต เข้ามาเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิตสินค้า ให้สามารถเชื่อมความต้องการของลูกค้าในแต่ละรายเข้ากับกระบวนการผลิตสินค้าได้โดยตรง และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลครบวงจรนำไปสู่ความเป็นโรงงานอัจฉริยะ ทั้งนี้ สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ ร่วมกับสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้เล็งเห็นความสำคัญในการเตรียมความพร้อมให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงในอนาคต จึงเกิดแนวคิดการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมไทย ที่เรียกว่า "Thai Industries 2025" โดยมีความมุ่งหวังว่าในปี ค.ศ. 2025 ประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ได้อย่างเต็มตัว (Sirinumchai, 2015) และเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมไทยสู่อุตสาหกรรม 4.0 สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้มีการจัดทำยุทธศาสตร์อุตสาหกรรม 4.0 ที่ประกอบด้วยแนวทางการพัฒนา 4 ด้าน ได้แก่ (1) ส่งเสริมพัฒนาผู้ประกอบการให้เข้าถึงและได้ใช้ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีสารสนเทศ (2) ส่งเสริมพัฒนาและสร้างบุคลากรภาคบริการอุตสาหกรรม (3) ส่งเสริมการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานภาคอุตสาหกรรมเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 และ (4) สร้างกลไกตอบสนองความต้องการใช้ด้านเทคโนโลยีของภาคผู้ผลิต (การพัฒนาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสู่ยุค 4.0, 2560)

การมาถึงของอุตสาหกรรม 4.0 ส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องมีการปรับตัวและมีมาตรการมารองรับการเปลี่ยนแปลงของภาคการผลิตให้เป็นโรงงานอัจฉริยะที่สามารถตัดสินใจผ่านระบบอัตโนมัติ เพื่อมุ่งสู่การสร้างประสิทธิภาพและคุณภาพในระบบการผลิตที่มีความยืดหยุ่นสูง (Roblek, Meško, & Krapež, 2016) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ที่กำลังอยู่ในช่วงเวลาของการสร้างนวัตกรรม (Ferràs-Hernández, Tarrats-Pons, & Arimany-Serrat, 2017) และเป็นหนึ่งในเป้าหมายในการพัฒนาสู่การใช้ระบบ Automation และ Robotic มากขึ้น (Scholer & Müller, 2017) สำหรับประเทศไทยอุตสาหกรรมยานยนต์ถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ กลายเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมนำร่องของประเทศไทยที่มีความสำคัญในระดับต้นๆ ในการสร้างรายได้หลักให้กับประเทศ ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้สูงเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน และอยู่อันดับที่ 13 ของโลก ปัจจุบันสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยมีทั้งสถานประกอบการขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดย่อม จำนวนทั้งสิ้น 1,657 ราย และมีโรงงานรวม 2,237 แห่ง โดยในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการผลิตรถยนต์รวม 1,944,417 คัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 จากปีก่อน จำแนกเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จำนวน 805,033 คัน รถกระบะ 1 ตัน จำนวน 1,102,816 คัน และรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (ไม่รวมรถกระบะ 1 ตัน) จำนวน 36,568 คัน และในปี พ.ศ. 2560 (ม.ค.-ธ.ค.) เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการผลิตรถยนต์รวม 1,988,823 คัน โดยมีอัตราการผลิตรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (ไม่รวมรถกระบะ 1 ตัน) เติบโตเพิ่มขึ้นมากที่สุดร้อยละ 10 (Thailand Automotive Institute, 2018)

ในส่วนของแนวโน้มตลาดอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในยุค 4.0 รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับการสนับสนุนการผลิตรถยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์แบบใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีมากขึ้น โดยเริ่มผลักดันให้มีการผลิตรถยนต์ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าในประเทศอย่างจริงจังและเป็นรูปธรรมมากขึ้น อาทิ รถยนต์ไฟฟ้า BEV (Battery Electric Vehicles: BEV) และรถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicles: PHEV) เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางความต้องการใช้รถยนต์ของตลาดโลกในอนาคต (ศูนย์วิจัยกสิกร, 2560) และเป็นประเด็นที่สำคัญต่อศักยภาพการส่งออกรถยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ของไทยในอนาคต นอกจากนี้ เพื่อให้อุตสาหกรรมยานยนต์ไทยยังคงเป็นฐานการผลิตที่สำคัญของโลก สถานประกอบการไทยยังต้องปรับตัวให้ทันต่อทิศทางการวิจัยและพัฒนายานยนต์โลกในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่ประกอบด้วย ระบบขับขี่อัตโนมัติ (Autonomous System) ระบบแบ่งปันการใช้ยานยนต์ (Share Mobility System) ระบบการเชื่อมต่อข้อมูล (Connected System) และระบบขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้า (Electrification Prime Mover System) ส่งผลให้สถานประกอบการผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยต้องพึ่งพาเทคโนโลยีที่สูงขึ้น เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อน รวมถึงการนำเอาระบบอัตโนมัติมาใช้ในส่วนการผลิตมากขึ้น (Kiatsaksri, 2018)

เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาถึงความพร้อมของผู้ประกอบการในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมยานยนต์ในยุค 4.0 เพื่อให้สถานประกอบการสามารถกำหนดทิศทางการพัฒนาสำหรับรองรับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรมของตนเองต่อไปได้อย่างเหมาะสม ซึ่งต้องอาศัยการประเมินผลการดำเนินงาน โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Key Performance Indicator: KPI) เป็นเครื่องมือสำคัญที่สะท้อนให้เห็นถึงมิติด้านความพร้อมที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย และระดับของการบรรลุวัตถุประสงค์ของสถานประกอบการนั้นๆ ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ รวมถึงยังช่วยให้สามารถปรับตัวภายใต้สภาวะการแข่งขันได้ดี (Keyte, 2014; Parmenter, 2007) ดังนั้น การพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการจึงมีความสำคัญต่อการยกระดับสถานประกอบการไทยให้สามารถแข่งขันในตลาดภายในประเทศและต่างประเทศได้อย่างมีศักยภาพ สอดคล้องกับข้อกำหนดและมาตรฐานของแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี พ.ศ. 2560-2579 และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (Ministry of Industry, 2016)

จากที่มาและความสำคัญของการเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ผลกระทบที่มีต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไทย และการประเมินประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาชุดตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่มีความเหมาะสมในการประเมินความพร้อมของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier ในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงระดับศักยภาพของแต่ละด้านในปัจจุบัน และเข้าใจถึงจุดอ่อนข้อบกพร่องที่ต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขต่อไป เพื่อนำไปสู่การวางแผนในการพัฒนาและเตรียมความพร้อมของสถานประกอบการให้สามารถสร้างศักยภาพอย่างแข็งแกร่งต่อไปในอนาคต ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินงานในองค์กรให้ประสบความสำเร็จและมีประสิทธิภาพ

ทบทวนวรรณกรรม

อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0)

การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 มีจุดเริ่มต้นที่ประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน ในปี ค.ศ. 2011 หรือ พ.ศ. 2554 พร้อมกับนโยบาย High-Tech Strategy 2020 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ ที่เป็นการบูรณาการระหว่างระบบดิจิทัลและระบบกายภาพ (Digital and Physical Systems) โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ อาทิ การเชื่อมทุกสิ่งเข้าด้วยอินเทอร์เน็ต (Internet of Things) การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) หุ่นยนต์และการพิมพ์ 3 มิติ (Robotics and 3D Printing) รวมถึงระบบ CPS (Cyber-Physical System) ที่เป็นการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิตโดยใช้เซนเซอร์ (Sensors) ตัวกระตุ้น (Actuators) และตัวประมวลผล (Processors)

เข้ามาเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตเข้าสู่รูปแบบของโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) ที่ไม่ต้องพึ่งพาการทำงานของมนุษย์ (VDMA's IMPULS-Stiftung, 2015; CGI, 2016) ซึ่งใน Hannover Fair 2011 คำว่า อุตสาหกรรม 4.0 หมายถึง การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 ที่เป็นการใช้ระบบทางเทคโนโลยีอัจฉริยะ จากระบบอิเล็กทรอนิกส์ เมคคาทรอนิคส์ ระบบซอฟต์แวร์ และระบบสารสนเทศ ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมในครั้งแรก ที่มีการนำพลังงานไอน้ำมาใช้ในการผลิตแบบเครื่องจักรกล (Mechanical Production) ในช่วงท้ายศตวรรษที่ 18 ต่อมามีการปฏิวัติอุตสาหกรรมในครั้งสอง ที่มีจุดเปลี่ยนสำคัญ คือ การนำพลังงานไฟฟ้า (Electricity) มาใช้ทดแทนไอน้ำ และการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สาม ที่มีการนำระบบอัตโนมัติ (Automate Production) มาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง (CGI, 2016) จนมาถึงปัจจุบันยุคอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งมี Cyber Physical System เป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่มีบทบาทในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตให้เป็นระบบโรงงานอัจฉริยะ โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต ข้อมูล และการรักษาความปลอดภัย ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากกับการปฏิวัติอุตสาหกรรม 4.0 (Wang & Wang, 2016) ส่งผลต่อการใช้แรงงานจำนวนน้อยลง และลดความสูญเสียจากความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ (Monostori, 2014)

อุตสาหกรรม 4.0 มีองค์ประกอบพื้นฐานสำคัญ (Industry 4.0 components) ที่ถือเป็นเครื่องมือในการช่วยยกระดับองค์กร และเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีพื้นฐานที่สำคัญ 9 ด้าน (The Boston Consulting Group, 2015) ได้แก่

1. การประมวลและเก็บข้อมูลด้วยคลาวด์ผ่านระบบออนไลน์ (Cloud computing) เป็นการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก (Singh, Al-Mutawaly, & Wanyama, 2015) นำไปสู่การกำหนดข้อมูลในการตัดสินใจที่เหมาะสมและรวดเร็ว ส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไร (Reddy, Singh, & Hariharan, 2016) และช่วยเสริมสร้างให้เกิดการใช้ข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Lee, Kao, & Yang, 2014)

2. ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data and Analytics) เป็นการจัดเก็บ การวิเคราะห์ข้อมูลและการแบ่งปันของชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เพื่อใช้ในการบริหารจัดการและปรับปรุงกระบวนการผลิต การใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ (Pricewaterhousecoopers, 2016)

3. การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Cyber Security) เป็นการพัฒนาระบบการป้องกันเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลในโลกไซเบอร์

4. การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยระบบเสมือนจริง (Virtual Manufacturing) แทนการขึ้นรูปด้วยเนื้อวัสดุจริงแบบเติมเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing) เช่น การขึ้นรูปชิ้นงานในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) ซึ่งเป็นการผลิตที่ทันสมัย รวดเร็ว สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าเฉพาะราย

5. หุ่นยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Robot) ทำให้เครื่องจักรและระบบการผลิตเป็นแบบอัตโนมัติ รวมถึงการใช้งานหุ่นยนต์ที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานด้วยโปรแกรมต่างๆ เช่น การสื่อสารกับเครื่องจักร การทำงานระหว่างหุ่นยนต์กับมนุษย์ เป็นต้น (Thai-German Institute, 2016)

6. การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในอุตสาหกรรม (Industrial Internet of Thing) เป็นโครงสร้างพื้นฐานระดับโลกที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงโลก ขับเคลื่อนโดยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี สามารถเชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างเข้าสู่โลกอินเทอร์เน็ต (Kurakova, 2012; World Economic Forum, 2015) เช่น การสื่อสารในการผลิตให้เป็นโรงงานอัจฉริยะ ที่มีองค์ประกอบพื้นฐานที่ใช้เทคโนโลยี อาทิ ป้ายสื่อสารโดยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) รหัสของตัวเลข (Unique Identification Document: UID) หรือเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายด้วยคลื่นความถี่ระยะใกล้ (Near Field Communication: NFC) ในการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อประมวลผลในการสื่อสารต่างๆ (Espíndola, Filho, Botelho, & Carvalho, 2012)

7. การสร้างแบบจำลองการผลิต (Manufacturing Simulation) เป็นการประเมินสถานการณ์จำลองด้วยข้อมูลต่างๆ และการผลิตผ่านโปรแกรมจำลองสถานการณ์เพื่อลดและป้องกันความสูญเสียก่อนลงมือทำจริง เช่น เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติ (3D Printing) เสมือนจริง (The Boston Consulting Group, 2015)

8. เทคโนโลยีผสานเอาโลกแห่งความจริงเข้ากับโลกเสมือน (Augmented Reality: AR) โดยการส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ซึ่ง AR เป็นระบบสมองกลที่สร้างขึ้นมาเพื่อตรวจจับสัญญาณของเครื่องจักร ใช้ในการสื่อสารและการรับ-ส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Lee et al., 2014)

9. ระบบบริหารจัดการแบบบูรณาการ (Horizontal and Vertical System Integration) เป็นระบบการบูรณาการเครือข่ายข้อมูล เพื่อพัฒนาให้เกิดระบบโซ่อุปทานแบบอัตโนมัติอย่างแท้จริง (The Boston Consulting Group, 2015)

สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ Berger (2016) ระบุว่า อุตสาหกรรม 4.0 จะเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญที่ทำให้ระบบการผลิตของอุตสาหกรรมยานยนต์เข้าสู่การเป็นโรงงานดิจิทัล (Digital Factories) ที่สามารถผลิตสินค้าให้มีคุณภาพสูงขึ้น เพิ่มความหลากหลายของสินค้า มีจำนวนของเสียน้อยลง ลดระยะเวลาการเข้าสู่ตลาด และที่สำคัญคือมีต้นทุนที่ต่ำลง โดยการเปลี่ยนแปลงระบบเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต (Productivity) สามารถลดต้นทุนด้านต่างๆ ให้กับสถานประกอบการได้ 10-70% ด้วยปัจจัยหลายอย่างไม่ว่าจะเป็น ต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัตถุดิบ ต้นทุนค่าขนส่งและพลังงาน เช่น การใช้ระบบอินเทอร์เน็ตควบคุมการขนส่ง การใช้ระบบโปรแกรมซอฟต์แวร์ในการประมวลผล (Cloud Computing) และการใช้ระบบเซนเซอร์ (Sensors) ในการตรวจจับสินค้า เป็นต้น ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการในการดำเนินธุรกิจได้

แม้ว่าอุตสาหกรรม 4.0 ต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรม จากการสำรวจของ Pricewaterhousecoopers (2016) พบว่า ความท้าทายของอุตสาหกรรม 4.0 ไม่ใช่แค่การเลือกเทคโนโลยีให้ถูกต้องเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการจัดการกับปัญหาอื่นๆ เช่น พนักงานภายในองค์กรขาดความรู้และความสามารถทางด้านเทคโนโลยี ดังนั้นการฝึกอบรมพนักงานและการปรับเปลี่ยนวัฒนธรรมองค์กร จึงถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนองค์กรในอนาคต

การพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Key Performance Indicator: KPI)

ประสิทธิภาพขององค์กรถือเป็นหัวใจสำคัญในการบริหารองค์กรทั้งในส่วนของภาครัฐและเอกชนให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ การประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการอยู่รอดของแต่ละองค์กร โดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Key Performance Indicator: KPI) เป็นเครื่องมือที่สะท้อนให้เห็นถึงระดับของการบรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กรในช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งหากระบบการประเมินสามารถแสดงให้เห็นถึงผลการดำเนินงานที่แท้จริงได้ ก็จะช่วยให้องค์กรดำเนินต่อไปในทิศทางที่ถูกต้องเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ (Keyte, 2014; Parmenter, 2007) ความสำคัญของการประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กร ยังช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวภายใต้สภาวะการแข่งขันได้ ซึ่งถือเป็นพื้นฐานสำหรับการดำเนินงานให้ประสบความสำเร็จ โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพจะมีบทบาทในการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร และเป็นเครื่องมือสำคัญในการบริหารจัดการผลการดำเนินการองค์กร ซึ่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้ควรมีลักษณะดังนี้ (Lebas, 1995; Keyte, 2014)

1. สามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ (Counted) คือ ตัวชี้วัดที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้วัดสิ่งที่นับได้ หรือสามารถกำหนดปริมาณได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีความชัดเจน

2. สามารถเปรียบเทียบได้ (Compared) ซึ่งจะเป็นประโยชน์เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งที่เหมาะสม ซึ่ง KPI ทุกตัวจะต้องมีตัวเปรียบเทียบหรือเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมักใช้เกณฑ์มาตรฐานของอุตสาหกรรมในการเปรียบเทียบ

3. มีหลักฐาน (Evidence) ที่ถูกแสดงออกมาในรูปแบบของการนับและการเปรียบเทียบอย่างถูกต้อง

4. มีวัตถุประสงค์ (Objective) ที่ชัดเจน โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (KPI) จะมีความสำคัญถ้าเอื้อต่อวัตถุประสงค์ที่กำหนด

5. มีการระบุเวลา (Specified Time) คือ ทุกอย่างอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่เหมาะสม ซึ่งสามารถใช้วัดผลการปฏิบัติงานได้ภายในเวลาที่กำหนด

สำหรับการพัฒนาตัวชี้วัด จำเป็นต้องอาศัยหลักการและกระบวนการที่ดีในการสร้างตัวชี้วัดให้เหมาะสมกับสถานการณ์และการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของภาคอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้น โดย Johnstone (1981) ได้เสนอวิธีการพื้นฐานเพื่อพัฒนาตัวชี้วัดไว้ 3 วิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับสถานการณ์และวิธีการพัฒนาแตกต่างกันออกไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การพัฒนาตัวชี้วัดโดยอาศัยนิยามเชิงปฏิบัติการ (Pragmatic Definition) ที่สร้างโดยการยึดเหตุผลของผู้พัฒนาตัวชี้วัดเป็นหลัก โดยวิธีนี้มีจุดอ่อนคือ มักจะขึ้นอยู่กับข้อพิจารณาของแต่ละบุคคลที่ใช้เจตคติ (อคติ) ส่วนตัวของบุคคลนั้นๆ

2. การพัฒนาตัวชี้วัดโดยอาศัยนิยามเชิงทฤษฎี (Theoretical Definition) สร้างโดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานรองรับสนับสนุนการตัดสินใจหรือใช้ความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในการสร้างตัวชี้วัด

3. การพัฒนาตัวชี้วัดโดยอาศัยนิยามเชิงประจักษ์ (Empirical Definition) สร้างโดยใช้วิธีการทางสถิติเป็นหลัก โดยใช้ทฤษฎี เอกสารวิชาการ หรืองานวิจัยพื้นฐาน ประกอบกับการวิเคราะห์เชิงประจักษ์ ในการสร้างตัวชี้วัด ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เช่น การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) และวิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

จากวิธีการพัฒนาตัวชี้วัดทั้ง 3 วิธี ที่กล่าวมาข้างต้น ในทางปฏิบัตินั้นนักวิจัยไม่นิยมใช้วิธีแรกมากนัก เนื่องจากมักจะเกิดความลำเอียงจากผู้พัฒนาได้มากที่สุด เนื่องจากตัวชี้วัดจะขึ้นอยู่กับเหตุผลส่วนบุคคลเป็นหลัก แต่มักจะใช้สองวิธีหลังควบคู่กันไป โดยอาจเริ่มจากใช้หลักทฤษฎีมาจัดกลุ่มตัวแปร ตามด้วยการรวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์ แล้วจึงวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีเชิงปริมาณต่อไป Boon-itt Wong และ Wong (2017) ได้พัฒนาตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการบริหารโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมบริการ จากการทบทวนวรรณกรรมและการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมบริการประเภทต่างๆ และทดสอบความเที่ยงตรงเบื้องต้นของตัวชี้วัดด้วยวิธีการ Q (Q-Methodology) ทั้งนี้ การพัฒนาตัวชี้วัดมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอยู่ 3 ประการ คือ

1. การคัดเลือกตัวแปรในการอธิบายสภาพของอุตสาหกรรม
2. การสังเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เข้าด้วยกัน หรือ การกำหนดวิธีการรวมตัวแปร
3. การกำหนดค่าน้ำหนักตามลำดับความสำคัญของแต่ละตัวแปร

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพจะมีประโยชน์มากน้อยเพียงใดย่อมขึ้นกับการตัดสินใจอย่างรอบคอบในแต่ละขั้นตอนของการสร้างตัวชี้วัด โดยต้องคำนึงถึงหลักการทางทฤษฎีควบคู่ไปกับวัตถุประสงค์ในการนำตัวชี้วัดไปใช้ ซึ่งตัวชี้วัดที่สร้างขึ้นโดยใช้เหตุผลทางทฤษฎีอย่างสมบูรณ์เพียงส่วนเดียว แต่ขาดวัตถุประสงค์และประโยชน์ในการนำไปใช้ ตัวชี้วัดนั้นก็ไม่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้จริง ในทางกลับกัน ตัวชี้วัดที่สร้างขึ้นโดยขาดหลักการทางทฤษฎีที่ถูกต้องก็ย่อมนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาดได้เช่นกัน ดังนั้น การสร้างตัวชี้วัดจึงต้องผ่านกระบวนการพิจารณาอย่างรอบคอบ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ (Johnstone, 1981)

Keyte (2014) ได้จำแนกกระบวนการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพการดำเนินงานออกเป็น 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1. กำหนดวัตถุประสงค์ของการพัฒนาตัวชี้วัด (Create Objective) 2. อธิบายผลสัมฤทธิ์ (Describe Results) 3. ระบุตัววัดความสำเร็จของงาน (Identify Measures) 4. การกำหนดค่าเป้าหมายหรือมาตราฐานให้ตัวชี้วัด (Define Thresholds) 5.วางระบบข้อมูลและประมวลผล (Upload Structure/Data into a System) 6. แปลความผลสัมฤทธิ์ (Interpret Results) และ 7. นำไปปฏิบัติ (Take Action)

การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กร ซึ่งมีหลากหลายวิธี อาทิ 1) Data Envelopment Analysis (DEA) 2) Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) 3) การวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนัก และ 4) วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เป็นต้น นักวิจัยจำนวนมากนำ MCDM มาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาและประเมินตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เช่น Callen Serrano-Cinca และ Molinero (2005) ใช้วิธี DEA ในการวัดประสิทธิภาพขององค์กรผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตจำนวน 40 บริษัท และ Vassiloglou และ Giokas (1990) ใช้วิธี DEA ในการวัดประสิทธิภาพของธนาคารในประเทศกรีซจำนวน 20 ธนาคาร

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เป็นวิธี MCDM ที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพอย่างแพร่หลาย Yurdakul และ Ic (2005) ได้พัฒนาแบบจำลองการวัดผลการปฏิบัติงาน โดยนำกระบวนการวิเคราะห์ AHP มาใช้ในการให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักและปัจจัยย่อย เช่นเดียวกับ Banwet และ Deshmukh (2008) ที่ประยุกต์ใช้วิธี DEA ร่วมกับวิธี AHP ในการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพขององค์กร

Assavavipapan และ Opasanon (2016) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งทั้ง 5 รูปแบบ ประกอบด้วย การขนส่งทางถนน การขนส่งทางราง การขนส่งทางอากาศ การขนส่งทางน้ำ และระบบขนส่งมวลชน กับเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพของโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง และนำ AHP มาใช้ในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัด นอกจากนี้ AHP ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญตัวชี้วัด เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงองค์กรได้ เช่น Eleren และ Yilmaz (2011) ที่ใช้วิธี AHP ร่วมกับวิธี FUZZY TOPSIS ในการประเมินและคัดเลือกซัพพลายเออร์ โดยใช้การสำรวจผ่านแบบสอบถามกับบริษัท ทั้งนี้ สิ่งสำคัญของการใช้วิธี AHP คือ ความรู้และประสบการณ์ที่เพียงพอของผู้ตัดสินใจ มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการวิเคราะห์ได้

มีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่พัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 เช่น การศึกษาของ VDMA's IMPULS-Stiftung (2015) และ Confederation of Indian Industry (CII) (2017) ได้กล่าวถึง การประเมินความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของประเทศเยอรมันใน 6 ด้าน ด้วย 18 ตัวชี้วัด โดยมีเกณฑ์การประเมินความพร้อมทั้งหมด 5 ระดับ เพื่อใช้ประเมินจุดแข็งและจุดอ่อนของแต่ละองค์กร รวมถึงการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาในอนาคต และงานวิจัยของ Schumacher Erol และ Sihn (2016) ใช้วิธีการพัฒนาตัวชี้วัดโดยอาศัยนิยามเชิงประจักษ์ ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) พบว่า มีเกณฑ์การประเมินทั้งหมด 9 ด้าน ประกอบด้วย 62 ตัวชี้วัด ที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในปัจจุบันขององค์กร เช่นเดียวกับ McKinsey & Company (2016) ที่ทำการพัฒนาตัวชี้วัดการเตรียมพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ที่ประกอบด้วยเกณฑ์การประเมิน 8 ด้าน 26 ตัวชี้วัด โดยใช้การสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 300 คน ของอุตสาหกรรมทั่วโลก มาทำการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัด ในขณะที่งานวิจัยของ Pricewaterhousecoopers (2016) ได้พัฒนาตัวชี้วัดโดยการสำรวจกลุ่มอุตสาหกรรม โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็น พบว่า เกณฑ์การประเมินอุตสาหกรรม 4.0 มีทั้งหมด 7 ด้าน โดยแต่ละด้านเป็นส่วนสำคัญในการประเมินสถานการณ์ในปัจจุบัน ผลจากการทำแบบประเมินจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับการปฏิบัติงานที่แท้จริงขององค์กรตนเอง

สำหรับภาคอุตสาหกรรมประเทศไทย สถาบันวิจัยพัฒนาและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรม (2560) ได้พัฒนาแบบประเมินตนเองของอุตสาหกรรมไทย (Self- Assessment) เพื่อใช้ในการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสากรรม 4.0 ประกอบด้วย 4 ด้าน และตัวชี้วัดย่อย 16 ตัว ที่จะทำให้องค์กรเห็นแนวทางการพัฒนาที่มีส่วนช่วยในการปรับโครงสร้างและเพิ่มศักยภาพการผลิตขององค์กร โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็นสองช่วง กล่าวคือ ช่วงแรก เป็นการพัฒนาจากอุตสาหกรรมที่อยู่ต่ำกว่า 3.0 ให้ไปสู่อุตสาหกรรม 3.0 และที่อยู่ในระดับ 3.0 อยู่แล้วให้พัฒนาเข้าสู่ 4.0 ส่วนในช่วงที่สองคือ การยกระดับอุตสาหกรรมไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 ดังนั้น มิติต่างๆ ในการพัฒนาจะขึ้นอยู่กับบริบทและความพร้อมของแต่ละอุตสาหกรรมไทย

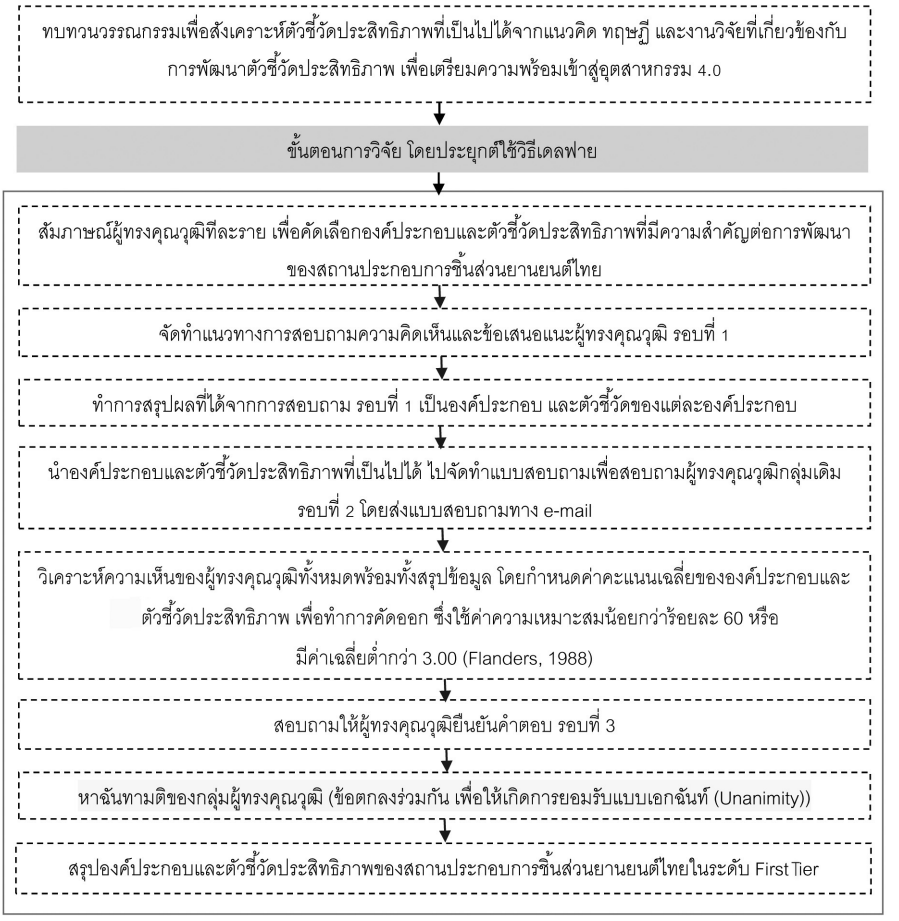
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพพบว่าการคัดเลือกองค์ประกอบและตัวชี้วัดจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของบริบทในแต่ละสถานประกอบการนั้นๆ โดยได้มีการประยุกต์ใช้วิธีที่หลากหลายในการพัฒนาและประเมินค่าตัวชี้วัดตามความแตกต่างของวัตถุประสงค์ในการใช้งาน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าได้มีงานวิจัยที่เริ่มศึกษาการวัดประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม 4.0 ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพสำหรับการเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับรายอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศ ซึ่งมีความแตกต่างกันของลักษณะสินค้า กลยุทธ์ทางธุรกิจ ระดับความพร้อมของพนักงาน รูปแบบและเทคโนโลยีในการผลิตตลอดจนอุปสงค์ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีรูปแบบการผลิตและเทคโนโลยีที่แตกต่างกับ

อุตสาหกรรมอื่นๆ (Kasikorn Research Center, 2017; Kiatsaksri, 2018) ซึ่งมีการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีสมัยใหม่มากขึ้น และมีแนวโน้มความต้องการสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของตลาดโลก ทำให้การผลิตยานยนต์แบบเดิมๆ ไม่สามารถตอบรับกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว (Berger, 2016) นอกจากนี้ อุตสาหกรรมยานยนต์ไทยจำเป็นต้องรองรับการพัฒนายานยนต์สมัยใหม่ที่ต้องการการออกแบบและคิดค้นโดยใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีขั้นสูง ส่งผลให้ผู้ประกอบการไทยต้องมีการปรับตัว โดยเฉพาะการเร่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สามารถตอบรับกับการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมยานยนต์ในยุค 4.0 (National Science and Technology Development Agency, 2018) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่มีความเฉพาะตัว เหมาะสมต่อบริบทของอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier สำหรับการเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรม 4.0 โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ถูกพัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีรวม (Composite Index) เพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการดำเนินงานของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทย และเป็นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมได้อย่างครอบคลุมมากขึ้นต่อไป

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้การพัฒนาตัวชี้วัดโดยอาศัยนิยามเชิงทฤษฎี ซึ่งเป็นการใช้ทฤษฎีพื้นฐานในการตัดสินใจร่วมกับความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในการสร้างตัวชี้วัด โดยใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Method) ประกอบด้วย การวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม โดยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) และทำการตีความหาข้อสรุปเชิงอุปนัย (Inductive Analysis) เพื่อรวบรวมตัวชี้วัดประสิทธิภาพ แล้วจึงประยุกต์ใช้วิธีเดลฟาย (Delphi) ผ่านการสัมภาษณ์แบบเชิงลึก (In-depth Interview) จากกลุ่มผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informant Interview) ที่สุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อคัดกรองตัวชี้วัดประสิทธิภาพสำหรับใช้ในการประเมินความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier ร่วมกับการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ที่ใช้วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ซึ่งถือเป็นวิธีการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับความสำคัญของตัวชี้วัด เพื่อทำการหาค่าดัชนีรวม (Composite Index) ของอุตสาหกรรม โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

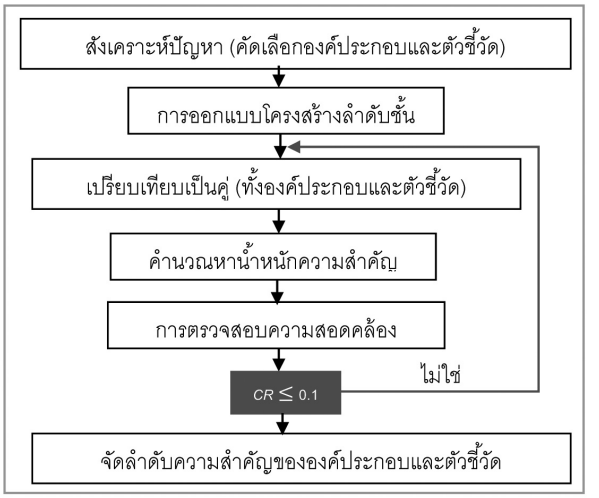
ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาชุดตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier โดยวิธีการทบทวนวรรณกรรมจากการสืบค้นข้อมูล งานวิจัย เอกสารเชิงวิชาการของ สถาบันวิจัยพัฒนาและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรม (สวน.) สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย รวมถึงบทความวิจัยจากฐานข้อมูล Science Direct และ Emerald Insight เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลัง 3 ปี โดยใช้คำสำคัญ คือ 1. Effectiveness Indicators 2. Industry 4.0 และ 3. KPI ในการสืบค้นข้อมูล ร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีเดลฟาย ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่ต้องใช้ผู้ตัดสินใจหลายคน โดยมุ่งที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบเชิงลบที่เกิดจากการเผชิญหน้ากันของผู้ตัดสินใจ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องและถูกต้องมากที่สุด (Okoli & Pawlowski, 2004) สำหรับการศึกษานี้ใช้การสัมภาษณ์ร่วมกับแบบสอบถามความคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละท่าน เพื่อช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ และขจัดปัญหาอคติที่เกิดจากการตัดสินใจจากการเผชิญหน้ากัน โดยคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (Bogner & Menz, 2009; Brockhoff, 1975) จำนวน 5 ท่าน โดยคำนึงถึงคุณสมบัติของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับการพัฒนาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และอุตสาหกรรม 4.0 ได้แก่ กรรมการผู้จัดการ ของสถานประกอบการอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ระดับ First Tier ชั้นนำของประเทศไทยที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียอาคเนย์ และมีฐานการผลิตที่ครอบคลุมพื้นที่อุตสาหกรรมหลักที่สำคัญ ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการออกแบบ ขึ้นรูป และสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้กับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งอยู่ในสถาบันที่สนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมหุ่นยนต์ของประเทศไทย ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการวิจัยอุตสาหกรรม ซึ่งอยู่ภายใต้องค์กรที่ให้การสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์ นักวิชาการที่มีความเชี่ยวชาญด้านการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยีการบริหารจัดการการผลิตของภาคอุตสาหกรรม และผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการผลิตหุ่นยนต์และเครื่องจักรอัตโนมัติ (Robotic and Motion) เพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งมาจากองค์กรที่สนับสนุนโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าและระบบอัตโนมัติของภาครัฐและเอกชน โดยมีกระบวนการวิจัยเชิงคุณภาพ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพกระบวนการวิจัยเชิงคุณภาพ เพื่อรวบรวมและคัดกรองตัวชี้วัด

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ระดับความสำคัญขององค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ โดยวิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น เพื่อนำตัวชี้วัดประสิทธิภาพมาสร้างดัชนีรวม

วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเข้ามาช่วยประกอบการตัดสินใจ โดยจำแนกขั้นตอนออกเป็น (1) การระบุปัญหาเพื่อสังเคราะห์องค์ประกอบ (2) การพิจารณาเปรียบเทียบเป็นคู่ (ทั้งองค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ) (Pairwise Comparison) (3) คำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญ และ (4) จัดลำดับความสำคัญขององค์ประกอบและตัวชี้วัด (สถาพร โอภาสานนท์, 2559) โดยมีรายละเอียดของกระบวนการวิเคราะห์ดังนี้



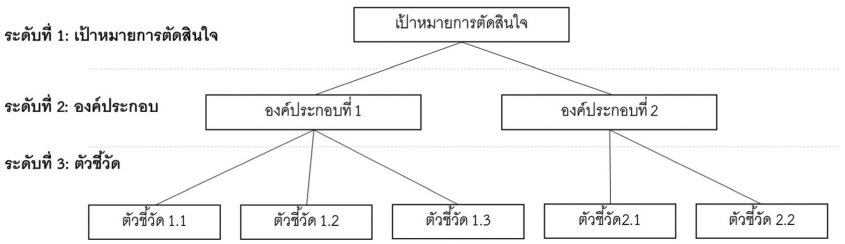
ภาพที่ 2 แผนภาพกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

1. การสังเคราะห์องค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

ดำเนินการทบทวนวรรณกรรม ร่วมกับการใช้วิธีเดลฟายกับกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน (จากการวิจัยในขั้นตอนที่ 1) เพื่อนำมาสรุปเป็นองค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

2. การออกแบบโครงสร้างลำดับชั้น

นำข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องจากผู้ทรงคุณวุฒิ มาออกแบบโครงสร้างลำดับชั้น เพื่อแสดงให้เห็นถึงตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแต่ละองค์ประกอบ โดยแบ่งโครงสร้างออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 เป้าหมายการตัดสินใจ ระดับที่ 2 องค์ประกอบ ระดับที่ 3 ตัวชี้วัด ดังนี้



ภาพที่ 3 โครงสร้างลำดับชั้นของกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

3. การเปรียบเทียบความสำคัญขององค์ประกอบแบบเป็นคู่

นำข้อมูลองค์ประกอบที่ได้จากการจัดโครงสร้างลำดับชั้นไปสอบถามความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ โดยให้ทำการเปรียบเทียบความสำคัญขององค์ประกอบทีละคู่เป็นจำนวนทั้งสิ้น k(k-1)/2 คู่ (k หมายถึง จำนวนองค์ประกอบ) ซึ่งสามารถแสดงออกมาในรูปความสำคัญแบบสัมพันธ์กันระหว่างองค์ประกอบที่หนึ่งกับองค์ประกอบที่สอง (องค์ประกอบใดมีความสำคัญมากหรือน้อยกว่ากัน) โดยใช้หลักการให้คะแนน ด้วยตัวเลข 1 ถึง 9 ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักการให้คะแนนระดับความสำคัญเชิงเปรียบเทียบในการเปรียบเทียบเป็นคู่

ระดับความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	มีระดับความสำคัญเท่ากัน	ทั้งสององค์ประกอบมีความสำคัญเท่ากัน
3	มีความสำคัญมากกว่าเล็กน้อย	ใช้ประสบการณ์และการพิจารณาแสดงความพอใจในองค์ประกอบหนึ่งมากกว่าองค์ประกอบหนึ่งเล็กน้อย
5	มีความสำคัญมากกว่าปานกลาง	ใช้ประสบการณ์และการพิจารณาแสดงความพอใจในองค์ประกอบหนึ่งมากกว่าองค์ประกอบหนึ่งปานกลาง
7	มีความสำคัญมากกว่าค่อนข้างมาก	ในทางปฏิบัติเห็นได้ชัดว่าองค์ประกอบหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกองค์ประกอบหนึ่ง
9	มีความสำคัญมากกว่าในระดับสูงสุด	มีหลักฐานยืนยันชัดเจนว่าองค์ประกอบหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกองค์ประกอบหนึ่ง
2,4,6,8	ค่ากลางระหว่างระดับความสำคัญตามที่กล่าวมาข้างต้น	ในกรณีผู้ตัดสินใจมีการพิจารณาในลักษณะที่ก้ำกึ่งกันระหว่างระดับความสำคัญสองระดับ

ที่มา: สถาพร โอภาสานนท์ (2559)

โดยเก็บข้อมูลการเปรียบเทียบความสำคัญขององค์ประกอบแบบเป็นคู่จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่ผ่านการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Propulsive Sampling) ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญจากกลุ่มบริษัทชั้นนำ ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ระดับ First Tier ของประเทศไทยที่ใหญ่ที่สุดในเอเชียอาคเนย์ และมีฐานการผลิตที่ครอบคลุมพื้นที่อุตสาหกรรมหลักที่สำคัญ โดยมีการใช้คำถามเพื่อคัดกรองผู้เชี่ยวชาญเบื้องต้นเกี่ยวกับความรู้ ความเข้าใจในอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อให้ได้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความเหมาะสมในการตอบแบบสอบถามที่แท้จริง จำนวน 13 ท่าน มาทำการให้คะแนนแบบเปรียบเทียบความสำคัญของตัวชี้วัดในรูปของเมตริกซ์การตัดสินใจ ในที่นี้เรียกว่า เมตริกซ์ A

โดยให้เมตริกซ์ $A=[a_{ij}]$ แสดงผลการเปรียบเทียบทีละคู่ของผู้เชี่ยวชาญ

โดยที่ a_{ij} = คะแนนระดับความสำคัญเชิงเปรียบเทียบในการเปรียบเทียบเป็นคู่ขององค์ประกอบ i และ j

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

แล้วจึงหาเมตริกซ์เฉลี่ย $\overline{A}$ โดยการนำค่าในเมตริกซ์ A ของผู้เชี่ยวชาญทุกท่านมาหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean)

$$\overline{A} = \begin{bmatrix} 1 & \overline{a_{12}} & \cdots & \overline{a_{1n}} \\ \overline{a_{21}} & 1 & \cdots & \overline{a_{2n}} \\ \vdots & \vdots & 1 & \vdots \\ \overline{a_{n1}} & \overline{a_{n2}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

โดยที่ $\overline{a_{ij}}$ = ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของเซต $\{a_{ij}^1, a_{ij}^2, \ldots, a_{ij}^K\}$ ดังสมการ

$$\overline{a_{ij}} = \left(\prod_{d=1}^{K} a_{ij}^d\right)^{\frac{1}{K}} = \sqrt[K]{a_{ij}^1 * a_{ij}^2 * \ldots * a_{ij}^K}$$

โดยที่ a_{ij}^d = ค่า a_{ij} ของผู้เชี่ยวชาญ d

K = จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

4. การคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนัก

ค่าถ่วงน้ำหนักเป็นตัวเลขที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญขององค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักมากจะมีความสำคัญมาก และสำหรับองค์ประกอบและตัวชี้วัดที่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักน้อยจะมีความสำคัญน้อย

จากเมตริกซ์ $\overline{A}$ สามารถคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบได้ดังนี้

สร้างเมตริกซ์ $\overline{A}_{norm}$ ที่ปรับค่าในแต่ละหลักของเมตริกซ์ A ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยใช้ L_p norm ที่ p = 1

$$\overline{A}_{norm} = \begin{bmatrix} \overline{r}_{11} & \overline{r}_{12} & \cdots & \overline{r}_{1n} \\ \overline{r}_{21} & \overline{r}_{22} & \cdots & \overline{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{r}_{n1} & \overline{r}_{n2} & \cdots & \overline{r}_{nn} \end{bmatrix}$$

โดยที่ $\overline{r}_{ij} = \frac{\overline{a}_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} \overline{a}_{kj}}$, สำหรับ j =1, 2,...,n

หาเวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักเฉลี่ย $\overline{W}$ สามารถคำนวณได้โดย

$$\overline{W} = \begin{bmatrix} (\overline{r}_{11} + \overline{r}_{12} + \cdots + \overline{r}_{1n})/n \\ (\overline{r}_{21} + \overline{r}_{22} + \cdots + \overline{r}_{2n})/n \\ \vdots \\ (\overline{r}_{n1} + \overline{r}_{n2} + \cdots + \overline{r}_{nn})/n \end{bmatrix}$$

5. การตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency Check)

การเปรียบเทียบความสำคัญขององค์ประกอบตัวชี้วัดแบบเป็นคู่ และให้คะแนนเชิงเปรียบเทียบอาจเกิดความผิดพลาดหรือความไม่สอดคล้องกันระหว่างการตัดสินใจ ดังนั้น จึงต้องทำการตรวจสอบความสอดคล้องกัน (Consistency Check) ของเมตริกซ์ A โดยคำนวณค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ในแต่ละเมตริกซ์ โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. คำนวณหาค่าไอเก้น (Eigen Value), λ_{max}

โดยหาผลคูณระหว่างเมตริกซ์ *A* และเวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบ (W) ซึ่งผลที่ได้จากการคูณกันของเมตริกซ์ จะได้เมตริกซ์ *AW* หลังจากนั้นนำมาคำนวณค่า λ_{max} เพื่อคำนวณดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index) ดังสมการ

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

โดยที่ $\lambda_{max} = \frac{1}{n}\left(\frac{AW}{W}\right)$

เมื่อ n คือ ขนาดของเมตริก A

2. คำนวณค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: *CR*)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

เมื่อ *CR* คือ ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio)

CI คือ ดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index)

RI คือ ดัชนีค่าสุ่ม (Random Inconsistency Index)

โดยกำหนด ค่า Random Inconsistency Index (RI) ดังตารางที่ 2

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

ที่มา: Saaty และ Tran (2007)

เมตริกซ์ *A* จะมีความสอดคล้องเพียงพอก็ต่อเมื่อค่า *CR* เป็นไปตามเงื่อนไข โดย *CR* < 0.1 หากไม่มีการสอดคล้องเพียงพอจะต้องทำการเปรียบเทียบและให้คะแนนความสำคัญใหม่ จึงสามารถทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้

6. เปรียบเทียบตัวชี้วัดประสิทธิภาพเป็นคู่ๆ

หลังจากหาเวกเตอร์ค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบ G_i และตรวจสอบค่าสัดส่วนความสอดคล้อง *(CR)* ผ่านเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การสร้างเมตริกซ์ให้คะแนนเชิงเปรียบเทียบตัวชี้วัดประสิทธิภาพเป็นคู่ๆ โดยพิจารณาทีละตัวชี้วัด เพื่อหาน้ำหนักของตัวชี้วัดต่างๆ ภายใต้แต่ละองค์ประกอบ โดยใช้วิธีการเดียวกันกับการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักความสำคัญขององค์ประกอบ ซึ่งในที่นี้จะทำการเปรียบเทียบภายใต้องค์ประกอบต่างๆ ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ ด้านกลยุทธ์และองค์กร ด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ ด้านเทคโนโลยี ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ และด้านพนักงาน โดยเรียกเมตริกซ์ของตัวชี้วัดต่างๆ ภายใต้องค์ประกอบว่า เมตริกซ์ $A_{i\ (nxn)}$ โดยที่ *i* = 1,2,3,..,k (k = จำนวนองค์ประกอบ และ n = จำนวนตัวชี้วัด) หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุและผลของตัวชี้วัดต่างๆ ภายใต้แต่ละองค์ประกอบนั้นๆ

7. การหาค่าดัชนีรวม (Composite Index)

ดำเนินการหาค่าดัชนีรวมด้านความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier โดยคำนวณแบบถ่วงน้ำหนัก และพิจารณาทีละตัวชี้วัดดังต่อไปนี้ (U.S. Chamber of Commerce, 2010; สถาพร โอภาสานนท์, 2559)

$$\text{Composite Index} = \sum_{i=1}^{k} G_i \left[\sum_{j=1}^{n} N_{ij} * W_{ij}\right]$$

โดยที่ G_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบ *i*
N_{ij} คือ คะแนนความสำคัญของตัวชี้วัด *j* ในองค์ประกอบ *i*
W_{ij} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัด *j* ในองค์ประกอบ *i*
n คือ จำนวนตัวชี้วัดที่พิจารณา
k คือ จำนวนองค์ประกอบทั้งหมดที่พิจารณา

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ในการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First tier มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการรวบรวมองค์ประกอบของตัวชี้วัดจากการทบทวนวรรณกรรม

ตารางที่ 2 การสังเคราะห์องค์ประกอบของตัวชี้วัดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม

องค์ประกอบของตัวชี้วัด	VDMA's Impuls-Stiftung (2015)	Schumacher และคณะ (2016)	McKinsey (2016)	Leyh Schäffer Bley และ Forstenhäusler	Pricewaterhousecoopers (2016)	สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (2559)	Confederation of Indian Industry (2017)	ความถี่รวม (Frequency)
Strategy and Organization	◆	◆			◆		◆	4
Smart Product & Service	◆	◆	◆	◆	◆		◆	6
Technology		◆		◆	◆	◆		4
Smart Operation	◆	◆	◆				◆	4
People/Employee	◆	◆	◆		◆		◆	5
Data- Driven Services	◆				◆		◆	3
Smart Factory	◆						◆	2
Leadership		◆						1
Customers		◆						1
Culture		◆			◆			2
Governance		◆			◆			2
Asset Utilization			◆					1
Inventory			◆					1
Quality			◆					1
Supply- Demand Match			◆					1
Time to Market			◆					1
Vertical				◆	◆	◆		3
Horizontal				◆	◆	◆		3
Through- Engineering						◆		1
ผู้วิจัย (Authors)								

ผลการสังเคราะห์ประเด็นที่ใช้ในการพิจารณาองค์ประกอบของตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 พบว่า มีองค์ประกอบของตัวชี้วัดจำนวน 19 ด้าน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สังเคราะห์องค์ประกอบของตัวชี้วัด เพื่อเป็นกรอบแนวคิดเพื่อการวิจัย (Conceptual Framework) โดยใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาจากองค์ประกอบที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยทำการคัดเลือกองค์ประกอบที่มีความถี่ในระดับสูง 5 อันดับแรก ได้แก่ ด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization) ด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ (Smart Products & Service) ด้านเทคโนโลยี (Technology) ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation) ด้านพนักงาน (Employee) โดยสามารถจัดกลุ่มตัวชี้วัดย่อยในแต่ละองค์ประกอบได้ดังภาพที่ 4

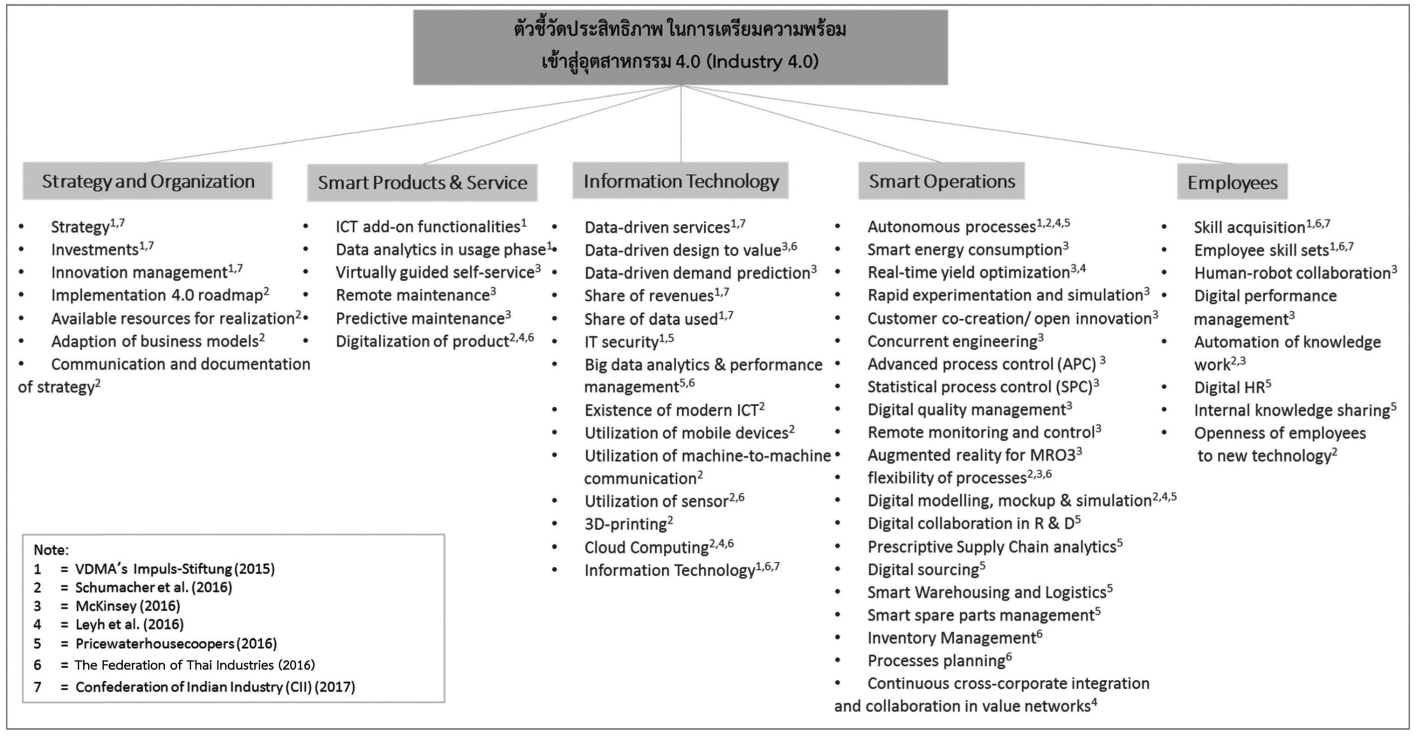
2. ผลการคัดเลือกองค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมและคัดกรองตัวชี้วัดจากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ร่วมกับการใช้วิธีเดลฟาย (Delphi) เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ที่คัดเลือกโดยคำนึงถึงคุณสมบัติที่ต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับอุตสาหกรรม 4.0 รวมถึงมีส่วนในการพัฒนาสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทย ด้วยวิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (In-depth Interview) เพื่อให้ได้ชุดตัวชี้วัดประสิทธิภาพสำหรับพัฒนาสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ดังแสดงในตารางที่ 3

3. ผลการจัดลำดับความสำคัญและวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัด โดยวิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

ผลการสังเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier สามารถแสดงเป็นโครงสร้างลำดับชั้นได้ดังนี้

การวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ใช้วิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) ด้วยการสำรวจความคิดเห็นจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่มีความเข้าใจในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์และอุตสาหกรรม 4.0 จำนวน 13 ท่าน ประกอบด้วยผู้บริหารในระดับผู้จัดการทั่วไป (General Manager) ที่มีความเชี่ยวชาญและความชำนาญการด้านต่างๆ มีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 10 ปีขึ้นไป และมีส่วนสำคัญในการกำหนดทิศทางขององค์กร เพื่อให้แน่ใจว่าการพัฒนาตัวชี้วัดมีความสอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมมากที่สุด



ภาพที่ 4 ภาพรวมขององค์ประกอบและตัวชี้วัดที่เป็นไปได้จากการทบทวนวรรณกรรม

ตารางที่ 3 องค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

องค์ประกอบ	ตัวชี้วัด
1. ด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization)	1. นวัตกรรมองค์กร (Organizational Innovation) 2. กลยุทธ์ (Strategy) 3. วัฒนธรรมองค์กร (Organizational Culture)
2. ด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ (Smart Products & Service)	1. การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design) 2. คุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการ (Product & Service Quality) 3. การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)
3. ด้านเทคโนโลยี (Technology)	1. เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) 2. เทคโนโลยีการผลิต (Manufacturing Technology) 3. ระบบการผลิต (Production System)
4. ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation)	1. การวิเคราะห์กระบวนการ (Processes Analysis) 2. การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) 3. การใช้ระบบแสดงผลและควบคุมแบบเรียลไทม์ (Real-time Monitoring and Control) 4. การประเมินสถานการณ์จำลอง (Digital Modelling Simulation)
5. ด้านพนักงาน (Employees)	1. การใช้ระบบการทำงานของความรู้แบบอัตโนมัติ (Automation of Knowledge Work) 2. การพัฒนาทักษะพนักงาน (Skill Acquisition) 3. การแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ (Knowledge Sharing)

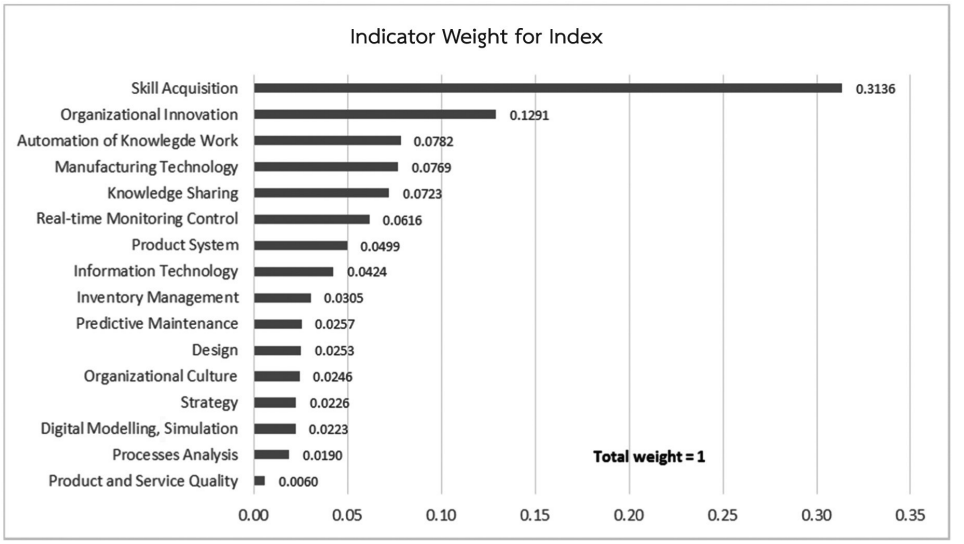
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

องค์ประกอบหลัก	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ลำดับความสำคัญ
1. ด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization)	0.1763	2
2. ด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ (Smart Products & Service)	0.0571	5
3. ด้านเทคโนโลยี (Technology)	0.1692	3
4. ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation)	0.1334	4
5. ด้านพนักงาน (Employees)	0.4640	1
รวม	**1.0000**	

จากผลการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่พิจารณาตามมุมมองของผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ทั้ง 13 ท่าน ดังตารางที่ 4 พบว่า การพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านพนักงาน (Employees) ถือเป็นประเด็นที่สถานประกอบการให้ความสำคัญมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization) ด้านเทคโนโลยี (Technology) ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation) และด้านผลิตภัณฑ์และบริการ (Smart Products & Service) มีค่าถ่วงน้ำหนักน้อยที่สุด ตามลำดับ

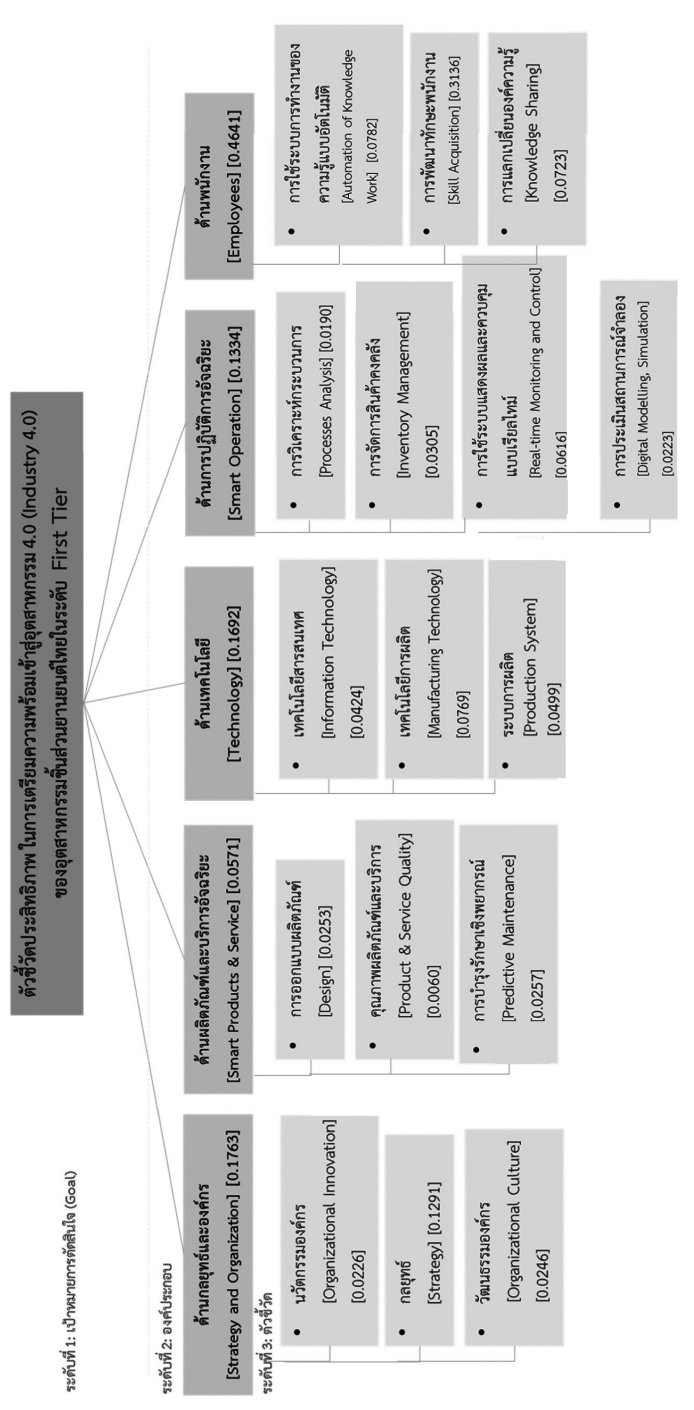
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัด เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

องค์ประกอบ	ตัวชี้วัด	ค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละตัวชี้วัด	ค่าถ่วงน้ำหนักรวม
1. ด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization)	1.1 นวัตกรรมองค์กร (Organizational Innovation)	0.1279	0.0226
	1.2 กลยุทธ์ (Strategy)	0.7323	0.1291
	1.3 วัฒนธรรมองค์กร (Organizational Culture)	0.1398	0.0246
รวมองค์ประกอบที่ 1 กลยุทธ์และองค์กร		1.0000	0.1763
2. ด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ (Smart Products & Service)	2.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design)	0.4440	0.0253
	2.2 คุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการ (Product & Service Quality)	0.1049	0.0060
	2.3 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)	0.4511	0.0257
รวมองค์ประกอบที่ 2 ด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ		1.0000	0.0571
3. ด้านเทคโนโลยี (Technology)	3.1 เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology)	0.2507	0.0424
	3.2 เทคโนโลยีการผลิต (Manufacturing Technology)	0.4544	0.0769
	3.3 ระบบการผลิต (Production System)	0.2949	0.0499
รวมองค์ประกอบที่ 3 ด้านเทคโนโลยี		1.0000	0.1692
4. ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation)	4.1 การวิเคราะห์กระบวนการ (Processes Analysis)	0.1426	0.0190
	4.2 การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management)	0.2285	0.0305
	4.3 การใช้ระบบแสดงผลและควบคุมแบบเรียลไทม์ (Real-time Monitoring and Control)	0.4617	0.0616
	4.4 การประเมินสถานการณ์จำลอง (Digital Modelling Simulation)	0.1672	0.0223
รวมองค์ประกอบที่ 4 ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ		1.0000	0.1334
5. ด้านพนักงาน (Employees)	5.1 การใช้ระบบการทำงานของความรู้แบบอัตโนมัติ (Automation of Knowledge Work)	0.1685	0.0782
	5.2 การพัฒนาทักษะพนักงาน (Skill Acquisition)	0.6758	0.3136
	5.3 การแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ (Knowledge Sharing)	0.1557	0.0722
			0.0223
รวมองค์ประกอบที่ 5 ด้านพนักงาน		1.0000	0.4640
รวมทั้ง 5 องค์ประกอบ			1.0000



ภาพที่ 5 สรุปภาพรวมผลการลำดับความสำคัญของตัวชี้วัด ในการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

จากภาพที่ 6 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ทั้ง 16 ตัว พบว่า ค่าระดับความสำคัญของการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เรื่อง การพัฒนาทักษะพนักงาน (Skill Acquisition) มีค่าถ่วงน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือ ตัวชี้วัดเรื่อง นวัตกรรมองค์กร (Organizational Innovation) ระบบการทำงานของความรู้แบบอัตโนมัติ (Automation of Knowledge Work) เทคโนโลยีการผลิต (Manufacturing Technology) การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ (Knowledge Sharing) โดยที่คุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการ (Product & Service Quality) มีค่าถ่วงน้ำหนักน้อยที่สุด



ภาพที่ 6 สรุปภาพรวมค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier

จากผลการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักขององค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพพบว่า การพัฒนาประสิทธิภาพด้านพนักงาน (Employee) มีความสำคัญมากที่สุดในการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ระดับ First Tier รองลงมาคือ ด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization) ด้านเทคโนโลยี (Technology) ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation) และสุดท้ายด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ (Smart Products & Service) ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของตัวชี้วัดประสิทธิภาพภายใต้องค์ประกอบทั้ง 5 ด้าน และระดับความสำคัญดังแสดงในภาพที่ 6

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบด้านพนักงานเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทย โดยตัวชี้วัดในด้านการพัฒนาทักษะพนักงาน (Skill Acquisition) เป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรก ซึ่งมีความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไทยด้าน Supply Side ในการส่งเสริมและพัฒนาด้านต่างๆ ให้ครอบคลุม โดยเฉพาะการเพิ่มทักษะ ความรู้ให้กับพนักงาน ที่จะช่วยให้พนักงานมีทักษะที่สูงขึ้นในการรองรับการเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 พร้อมทั้งขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมเข้าสู่เวทีระดับโลก (The Federation of Thai Industries, 2016) รวมถึงตัวชี้วัดด้านการพัฒนาระบบการทำงานของความรู้แบบอัตโนมัติ (Automation of Knowledge Work) ที่ภาคอุตสาหกรรมไทยได้ให้การสนับสนุนโปรแกรมในการทำงานร่วมกับหุ่นยนต์อัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถช่วยทดแทนแรงงานและกระบวนการทำงานที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น (Thai-German Institute, 2016) และสอดคล้องกับแนวคิดของ Buckenhüskes (2015) ที่กล่าวว่า ระบบการทำงานของความรู้แบบอัตโนมัติมีส่วนช่วยในการเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตและควบคุมโดยอัตโนมัติผ่านอุปกรณ์เทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยให้การทำงานของมนุษย์ได้แบบอัตโนมัติ

การพัฒนาประสิทธิภาพด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization) เป็นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และกระบวนการให้มีประสิทธิภาพจากการใช้เทคโนโลยี โดยผลการศึกษาพบว่า การจัดการกลยุทธ์ การวางแผน การกำหนดแนวทางการพัฒนา อาทิ แนวทางการลงทุน การใช้เทคโนโลยี เป็นต้น เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรก และมีความเชื่อมโยงกับยุทธศาสตร์ภาคอุตสาหกรรมของไทยที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมให้เข้าถึงแหล่งเงินทุนมากขึ้น (The Federation of Thai Industries, 2016) และมีความสอดคล้องกับแนวทางการประเมินความพร้อมของอุตสาหกรรมเยอรมัน (VDMA's IMPULS-Stiftung, 2015; Confederation of Indian Industry (CII), 2017) และการพัฒนาด้านวัฒนธรรมองค์กร (Organizational Culture) จากการสำรวจของ Pricewaterhousecoopers (2016) พบว่า วัฒนธรรมองค์กรเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนองค์กรที่ส่งผลกระทบต่อสถานประกอบการ อาทิ ด้านการเปลี่ยนวิธีคิด การสูญเสียความสามารถทางการแข่งขัน เป็นต้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schumacher และคณะ (2016) ที่กล่าวถึงแนวปฏิบัติ ความเชื่อ ค่านิยม ที่เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดการองค์กร

ให้มีเป้าหมายในการพัฒนาไปในทิศทางเดียวกัน รวมถึงตัวชี้วัดเรื่องนวัตกรรมองค์กร (Organizational Innovation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการประยุกต์ใช้รูปแบบการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตและดำเนินงานทั้งภายในและภายนอกองค์กรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น (McKeown, 2008) สอดคล้องกับแนวคิดของ Porter (1990) ที่กล่าวว่า นวัตกรรมองค์กรเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการสร้างให้เกิดผลการดำเนินงานขององค์กร โดยเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์ของอุตสาหกรรมไทยที่มีการการส่งเสริมในด้านการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ในอนาคต (The Federation of Thai Industries, 2016)

การพัฒนาประสิทธิภาพด้านเทคโนโลยี (Technology) เป็นหนึ่งในเป้าหมายการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไทยด้วยการนำนวัตกรรมที่มีเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ เป็นการช่วยเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดียิ่งขึ้น (Ministry of Industry, 2016) โดยตัวชี้วัดเรื่องเทคโนโลยีการผลิต (Manufacturing Technology) เช่น หุ่นยนต์ (Robot) รถขนส่งเคลื่อนที่อัตโนมัติหรือเอจีวี (AGV) เป็นปัจจัยที่สำคัญอันดับแรก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในขณะที่ระบบการผลิต (Production System) เป็นอีกหนึ่งตัวชี้วัดที่ช่วยบูรณาการการดำเนินงานด้วยระบบอัตโนมัติ ให้เกิดการเชื่อมโยงกับทุกฝ่ายในการควบคุมการผลิตภายในโรงงาน เพื่อก้าวสู่ความเป็นโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) ที่จะลดความสูญเสียจากความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์มากขึ้น (Monostori, 2014) ซึ่งยุทธศาสตร์ของภาคอุตสาหกรรมไทยได้ส่งเสริมและสนับสนุนสถานประกอบการให้เข้าถึงและสามารถใช้ระบบการผลิตแบบอัตโนมัติ (Manufacturing Automation System) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (The Federation of Thai Industries, 2016) สุดท้าย ตัวชี้วัดด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) อาทิ เทคโนโลยี RFID และ ระบบเซนเซอร์ (Sensor) จะเข้ามาช่วยลดความยุ่งยากในการบริหารจัดการ ทำให้เกิดประสิทธิภาพ และคุณภาพในระบบการผลิตที่มีความยืดหยุ่นสูง (Roblek et.al, 2016) สอดคล้องกับแนวคิดของ Wang Wan และ Zhang (2016) ที่นำเทคโนโลยีสารสนเทศที่เกิดขึ้นใหม่ อาทิเช่น Internet of Thing, Big Data Cloud Computing และการรักษาความปลอดภัย เข้ามาช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบโรงงานอัจฉริยะให้เกิดรูปแบบการผลิตอย่างยั่งยืนนำไปสู่รูปแบบธุรกิจใหม่ๆ ในอนาคต

สำหรับการพัฒนาประสิทธิภาพด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation) จากการวิจัยพบว่า การพัฒนาตัวชี้วัดด้านระบบแสดงผลและควบคุมแบบเรียลไทม์ (Real-time Monitoring and Control) มีความสำคัญในการเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 เป็นอันดับแรก ซึ่งเป็นการช่วยให้สามารถนำฐานข้อมูลการผลิตไปปรับปรุงได้ทันท่วงที สอดคล้องกับแนวคิดของ Lee และคณะ (2014) ที่กล่าวถึงการนำไปใช้เป็นเครื่องมือตรวจจับสัญญาณเครื่องจักรที่ใช้ในการสื่อสาร และการรับ-ส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านระบบเซนเซอร์ สามารถลดความสูญเสียจากการผลิตได้เป็นอย่างดี กอปรกับผลการสำรวจของ McKinsey และ Company (2016) พบว่า การใช้ฐานข้อมูลการผลิตใน

การควบคุมการทำงานระบบอัตโนมัติ สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 45-55% ในขณะที่ตัวชี้วัดการจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ได้รับการส่งเสริมจากอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยในการช่วยจัดการสินค้าคงคลังให้มีประสิทธิภาพ โดยพัฒนาให้มีการเชื่อมโยงกับเทคโนโลยีสารสนเทศ (สภาสถาบันวิจัยพัฒนาและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรม, 2560) สำหรับตัวชี้วัดเรื่องการประเมินสถานการณ์จำลอง (Digital Modelling, Simulation) เป็นการผลิตผ่านโปรแกรมจำลองสถานการณ์ เช่น การขึ้นรูปชิ้นงาน ที่สามารถลดและป้องกันความสูญเสียก่อนลงมือทำจริง เช่น เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติ เสมือนจริง (3D Printing) ตามแนวคิดของ The Boston Consulting Group (2015) โดยสามารถลดต้นทุนด้านคุณภาพได้ 10 - 20% (McKinsey & Company, 2016) และสุดท้ายตัวชี้วัดเรื่องการวิเคราะห์กระบวนการ (Processes Analysis) เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนการผลิต จากงานวิจัย Berger (2016) พบว่า การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตจะช่วยเพิ่มผลผลิต (Productivity) โดยสามารถลดต้นทุนด้านต่างๆ ให้กับสถานประกอบการได้ 10-70%

การพัฒนาประสิทธิภาพด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ (Smart Products & Service) พบว่า ตัวชี้วัดเรื่องการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) มีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร สอดคล้องกับ McKinsey และ Company (2016) ที่พบว่าการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สามารถช่วยลดเวลาการหยุดทำงานของเครื่องลงได้ 30-50% และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาได้ 10-40% ในขณะที่ตัวชี้วัดด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการ (Product & Service Quality) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนดและตรงตามความต้องการของลูกค้า และยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการให้มีศักยภาพสูงขึ้นสู่ความเป็นอัจฉริยะ (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schumacher และคณะ (2016) ที่กล่าวว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นส่วนหนึ่งในการรองรับการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน

4. กรณีศึกษา: การนำชุดตัวชี้วัดไปใช้กับสถานประกอบการจริง

ชุดตัวชี้วัดที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปทดลองใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier จำนวน 2 แห่ง เพื่อประเมินความเหมาะสมของการนำชุดตัวชี้วัดไปใช้งานจริง โดยผู้ประเมินให้คะแนนการดำเนินกิจกรรมในสถานประกอบการตนเองตามการให้คะแนนในรูปแบบของ Likert Scale 1-5 โดยมีระดับคะแนนการดำเนินกิจกรรมในแต่ละตัวชี้วัดดังนี้

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier จำนวน 2 แห่ง

องค์ประกอบ/ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ	ค่าถ่วงน้ำหนัก	สถานประกอบการ I			สถานประกอบการ II		
		คะแนน	รวม	ร้อยละ	คะแนน	รวม	ร้อยละ
1. ด้านกลยุทธ์และองค์กร (Strategy and Organization)	0.1763						
1.1 องค์กรมีการกำหนดกลยุทธ์ วางแผน และสร้างแนวทางการพัฒนาในการดำเนินการปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ	0.1279	4	0.5116		4	0.5116	
1.2 องค์กรมีการปรับปรุงและจัดทำแผนการพัฒนาธุรกิจล่วงหน้าทุกปี	0.7323	4	2.9292		5	3.6615	
1.3 มีแนวทางการปฏิบัติ ความเชื่อ ค่านิยม ที่เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดการองค์กร ซึ่งคนในองค์กรจะมีเป้าหมายไปในทิศทางเดียวกัน	0.1398	4	0.5592		4	0.5592	
ดัชนีรวมขององค์ประกอบที่ 1			4.0000	80%		4.7323	94.65%
2. ด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ (Smart Products & Service)	0.0571						
2.1 มีการใช้โปรแกรมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการใหม่	0.4440	3	1.3320		4	1.776	
2.2 มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า	0.1049	3	0.3147		5	0.5245	
2.3 มีการใช้ระบบเซ็นเซอร์ (Sensor) ช่วยในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร	0.4511	2	0.9022		4	1.8044	
ดัชนีรวมขององค์ประกอบที่ 2			2.5489	50.98%		4.1049	82.10%
3. ด้านเทคโนโลยี (Technology)	0.1692						
3.1 มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่ทันสมัย เช่น การใช้บาร์โค้ด (Bar coding) ในการระบุชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ การใช้ระบบป้ายส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ (RFID) การเก็บรวมรวมข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เป็นต้น	0.2507	2	0.5014		5	1.2535	
3.2 มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการผลิตสม่ำเสมอ เช่น รถขนส่งเคลื่อนที่อัตโนมัติ (Automated Wire Guided Vehicles: AGV) หุ่นยนต์ (Robot) เป็นต้น	0.4544	3	1.3632		4	1.8176	
3.3 สถานประกอบการของท่านมีความพร้อมทางด้านโครงสร้างพื้นฐานและระบบการผลิตที่ทันสมัย ให้เชื่อมโยงกับทุกฝ่ายในรูปแบบของระบบอัตโนมัติ	0.2949	2	0.5898		4	1.1796	
ดัชนีรวมขององค์ประกอบที่ 3			2.4544	49.09%		4.2507	85.01%
4. ด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ (Smart Operation)	0.1334						
4.1 มีการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาทำการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้มาซึ่งมาตรฐานและชิ้นส่วนที่มีคุณภาพ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพขั้นตอนการผลิต	0.1426	3	0.4278		4	0.5704	
4.2 มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศ มาประยุกต์ใช้ได้การบริหารจัดการสินค้าคงคลังและการขนส่ง เช่น การรับ การจัดเก็บ การจ่าย การตรวจนับสินค้า	0.2285	3	0.6855		4	0.914	
4.3 มีการใช้ฐานข้อมูลการผลิตและการควบคุม นำไปปรับปรุงกระบวนการได้ทันท่วงที	0.4617	2	0.9234		4	1.8468	
4.4 มีการใช้ประเมินสถานการณ์จำลองด้วยระบบการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	0.1672	3	0.5016		4	0.6688	
ดัชนีรวมขององค์ประกอบที่ 4			2.5383	50.77%		4	80%
5. ด้านพนักงาน (Employees)	0.4640						
5.1 มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี อุปกรณ์ที่ทันสมัยให้พนักงานเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับมนุษย์	0.1685	5	0.8425		3	0.5055	
5.2 สถานประกอบการของท่านมีการพัฒนาทักษะพนักงาน เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรม 4.0	0.6758	4	2.7032		4	2.7032	
5.3 พนักงานได้รับความรู้โดยการเรียนรู้จากประสบการณ์ของบุคคลที่เคยประสบความสำเร็จ และจัดให้พนักงานมีการอบรมสม่ำเสมอ	0.1557	4	0.6228		3	0.4671	
ดัชนีรวมขององค์ประกอบที่ 5			4.1685	83.37%		3.6758	73.52%
ดัชนีรวม			3.5388	70.78%		4.0271	80.54%

ระดับ 5 หมายถึง มีการดำเนินกิจกรรมดังกล่าวในสถานประกอบการมากที่สุด
ระดับ 4 หมายถึง มีการดำเนินกิจกรรมดังกล่าวในสถานประกอบการมาก
ระดับ 3 หมายถึง มีการดำเนินกิจกรรมดังกล่าวในสถานประกอบการปานกลาง
ระดับ 2 หมายถึง มีการดำเนินกิจกรรมดังกล่าวในสถานประกอบการน้อย
ระดับ 1 หมายถึง มีการดำเนินกิจกรรมดังกล่าวในสถานประกอบการน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย

ผลการประเมินตัวชี้วัดประสิทธิภาพของทั้ง 2 สถานประกอบการ (ตารางที่ 6) พบว่า แต่ละสถานประกอบการมีข้อเด่นข้อด้อยแตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบและตัวชี้วัดที่นำมาพิจารณา สถานประกอบการ I มุ่งเน้นการพัฒนาด้านพนักงานเป็นหลัก โดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาทักษะความรู้ให้กับพนักงาน รวมถึงการอบรม เพื่อให้พนักงานมีทักษะความรู้ที่สูงขึ้น รองรับการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรม 4.0 ในทางกลับกัน สถานประกอบการ II มีความพร้อมในหลายด้าน ทั้งการพัฒนาด้านเทคโนโลยีที่มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่ทันสมัย การมุ่งเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพและตรงตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งสอดคล้องกับกลยุทธ์และโครงสร้างองค์กรที่ให้ความสำคัญกับการปรับปรุงและจัดทำแผนการพัฒนาธุรกิจล่วงหน้าทุกปี จากความพร้อมในด้านต่างๆ ดังที่กล่าวมาส่งผลให้ สถานประกอบการ II ได้ค่าดัชนีรวมเท่ากับ 4.0271 หรือคิดเป็นร้อยละ 80.54 ของคะแนนรวม ซึ่งมีค่ามากกว่าสถานประกอบการ I ที่มีค่าเท่ากับ 3.5388 หรือคิดเป็นร้อยละ 70.78 ของคะแนนรวม สะท้อนให้เห็นว่า ในภาพรวมนั้น สถานประกอบการ II มีการพัฒนาเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรม 4.0 ดีกว่าสถานประกอบการ I โดยหากพิจารณาในระดับขององค์ประกอบแล้ว จะพบว่าสถานประกอบการ I มีความพร้อมเหนือกว่าสถานประกอบการ II ในด้านพนักงานเพียงองค์ประกอบเดียว โดยมีความพร้อมในด้านเทคโนโลยีต่ำที่สุด ซึ่งสมควรได้รับการปรับปรุงเป็นลำดับต้น

จากการสัมภาษณ์ผู้บริหารของสถานประกอบการทั้ง 2 แห่ง พบว่าชุดตัวชี้วัดมีประโยชน์ต่อสถานประกอบการอย่างมากในการนำองค์กรไปสู่เป้าหมายทางธุรกิจ และถือเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยผลักดันการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการควบคุมแนวทางการพัฒนาให้ไปในทิศทางเดียวกับการพัฒนาของภาคอุตสาหกรรมไทย ทั้งนี้การประเมินตัวชี้วัดของแต่ละสถานประกอบการจะทำให้สามารถเปรียบเทียบความก้าวหน้า ความพร้อมในด้านต่างๆ ของสถานประกอบการแต่ละแห่ง ตลอดจนทราบถึงด้านที่ยังต้องได้รับการพัฒนาปรับปรุงต่อไป อย่างไรก็ตาม ชุดตัวชี้วัดในปัจจุบันอาจยังไม่ครอบคลุม หรือไม่สามารถวัดประสิทธิภาพการทำงานที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามพลวัตรทางธุรกิจในอนาคตได้ชัดเจนเท่าที่ควร องค์กรควรทำการปรับเปลี่ยนตัวชี้วัดให้มีความทันสมัยและสอดรับกับสถานการณ์ทางธุรกิจและเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วอยู่เสมอ อาทิ มิติด้านเทคโนโลยีดิจิทัล ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในอุตสาหกรรม (Industrial Internet Applications) เช่น Big Data Sensors

IoT และ Cloud เป็นต้น ทั้งนี้ การพัฒนาในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย ณ ปัจจุบัน ยังอยู่ในช่วงของการเริ่มเปลี่ยนแปลงในหลายๆ ด้าน ซึ่งต้องใช้เวลากว่า 5-10 ปี ที่จะพัฒนาเทคโนโลยีให้เห็นผลอย่างแท้จริง โดยอาศัยการใช้นวัตกรรมในการปฏิรูปอุตสาหกรรม ผ่านมิติการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในการวิจัยและพัฒนาเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต (Office of Science and Technology, 2016) ซึ่งในอนาคตมิติต่างๆ เหล่านี้ควรเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการประเมินประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญต่อการเสริมสร้างศักยภาพทางการแข่งขันภายใต้การเปลี่ยนแปลงของภาคอุตสาหกรรม สำหรับประเมินความพร้อมของแต่ละสถานประกอบการในการรองรับการเปลี่ยนแปลงจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 โดยศึกษาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier ซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย โดยอาศัยนิยามเชิงทฤษฎีมาเป็นพื้นฐานในการคัดเลือกตัวชี้วัด ประมวลผลโดยการวิจัยเชิงคุณภาพที่ใช้การทบทวนวรรณกรรมและการประยุกต์ใช้วิธีเดลฟายกับผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อคัดกรองตัวชี้วัดประสิทธิภาพร่วมกับการวิจัยเชิงปริมาณ ด้วยวิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นในการระบุระดับความสำคัญขององค์ประกอบและตัวชี้วัดประสิทธิภาพตามมุมมองของผู้เชี่ยวชาญ ชุดตัวชี้วัดที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำมาจัดทำเป็นดัชนีรวม เพื่อใช้ประเมินภาพรวมด้านความพร้อมต่อการมาถึงของอุตสาหกรรม 4.0 ของผู้ประกอบการแต่ละราย

ผลการศึกษาพบตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญจำนวน 16 ตัวชี้วัด จาก 5 องค์ประกอบ โดยมิติด้านพนักงาน มีความสำคัญต่อความพร้อมในการเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทยมากที่สุด ตามด้วยมิติด้านกลยุทธ์และองค์กร มิติด้านเทคโนโลยี มิติด้านการปฏิบัติการอัจฉริยะ และมิติด้านผลิตภัณฑ์และบริการอัจฉริยะ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไทยที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาด้านบุคลากร (The Federation of Thai Industries, 2016)

คุณค่าของงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ คุณค่าเชิงวิชาการ คือ การรวบรวมและคัดกรองตัวชี้วัดประสิทธิภาพสำหรับใช้ในการประเมินความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ที่มีความสอดคล้องกับบริบทของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทย พร้อมจัดกลุ่มและวิเคราะห์ระดับความสำคัญของตัวชี้วัด เพื่อทำการหาค่าดัชนีรวม (Composite Index) ของอุตสาหกรรม ซึ่งยังไม่มีการศึกษามาก่อน สำหรับคุณค่าของงานวิจัยในเชิงธุรกิจ คือ การพัฒนาตัวชี้วัดที่สถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยสามารถนำไปใช้ประเมินความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 เบื้องต้นได้อย่างเหมาะสม

รวมถึงการนำดัชนีรวมไปใช้ในการประเมินภาพรวมและเปรียบเทียบ กับผู้ประกอบการรายอื่นๆ ในอุตสาหกรรมได้ (Benchmark) โดยชุดตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier จะช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถประเมินและเปรียบเทียบความพร้อมของแต่ละสถานประกอบการในการปรับตัวรองรับการเปลี่ยนแปลงจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 ที่มีการนำนวัตกรรม เทคโนโลยีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ต เข้ามาเชื่อมต่อกับกระบวนการผลิต ให้สามารถเชื่อมโยงความต้องการของลูกค้าในแต่ละรายเข้ากับกระบวนการผลิตสินค้าได้โดยตรงเพื่อไปสู่ความเป็นโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory)

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต ได้แก่ การเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการประเมินความพร้อมสู่อุตสาหกรรม 4.0 โดยเปรียบเทียบสมรรถนะของสถานประกอบการทั้งภาคอุตสาหกรรม เพื่อนำผลมาวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของแต่ละสถานประกอบการสำหรับนำมาจัดทำเป็นแนวทางการปรับปรุงต่อไป ตลอดจนค้นหาแนวปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practices) ที่ทำให้สถานประกอบการมุ่งสู่ความเป็นเลิศทางธุรกิจ (Best-in-Class) นอกจากนี้ รูปแบบการประเมินที่ใช้ Likert Scale เป็นการประเมินโดยใช้ดุลยพินิจของผู้ประเมินในการระบุระดับการดำเนินกิจกรรมในสถานประกอบการไม่ได้เป็นการวัดผลที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตจึงควรพัฒนามาตรวัดที่สามารถวัดระดับการดำเนินกิจกรรมได้โดยตรงและอย่างแม่นยำ เพื่อให้สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างสถานประกอบการได้อย่างแท้จริง ท้ายที่สุด เนื่องจากพลวัตรทางธุรกิจที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนทำให้เกิดความป่วน (Disruption) ทางธุรกิจและเทคโนโลยีตลอดเวลา จึงควรมีการทบทวนชุดตัวชี้วัดและปรับปรุงให้ตัวชี้วัดมีความทันสมัยอยู่เสมอ เพื่อให้สามารถใช้วัดประสิทธิภาพการดำเนินงานที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้ครอบคลุมและชัดเจนมากที่สุด

References

Assavavipapan, K. & Opasanon, S. (2016). Thailand transportation infrastructure performance and the economics. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, 28* (5), 923-938. DOI: 10.1108/APJML-09-2015-0145

Banwet, D. K. & Deshmukh, S. G. (2008). Evaluating performance of national R&D organizations using integrated DEA-AHP technique. *International Journal of Productivity and Performance Management, 57*(5), 370–388. DOI: 10.1108/17410400810881836

Berger, R. (2016). Digital Factories: *The Renaissance of the U.S. automotive Industry.* Retrieved from https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_digital_factories_20160217.pdf.

Bogner, A. & Menz, M. (2009). *The Theory-Generating Expert Interview: Epistemological Interest, Forms of Knowledge, Interaction.* London: Palgrave Macmillan.

Boon-itt S., Wong, C. Y. & Wong, C. W. Y. (2017). Service supply chain management process capabilities: Measurement development. International Journal of Production Economics, 193, 1-11. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.06.024

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *International Journal of Information and Communication Engineering, 8*(1), 37-44.

Brockhoff, K. (1975). The performance of forecasting groups in computer dialogue and face-to-face discussion. In Turoff M. and Linstone H.A. (Eds.), *The Delphi Method: Techniques and Applications.* London: Addison-Wesley.

Buckenhüskes H. J. (2015). *DLG-Expert report 5/2015: Industry 4.0–Summary report.* Retrieved from https://www.cenit.com/fileadmin/dam/Corporate/PDFs/2015_5_Expertenwissen_E.pdf

Callen, Y. F., Serrano-Cinca, C., & Molinero, C. M. (2005). Measuring DEA efficiency in Internet companies. *Decision Support Systems, 38*(4), 557-573. DOI: 10.1016/j.dss.2003.08.004

CGI. (2016). *Industrie 4.0 Making your business more competitive.* Retrieved from https://www.cgi.com/sites/default/files/.../manufacturing_industry-4_white-paper.pdf

Confederation of Indian Industry (CII), Grant Thornton India LLP (2017). *India's readiness for Industry 4.0-A Focus on Automotive Sector.* Retrieved from https://www.gita.org.in/Attachments/Reports/India%E2%80%99s%20Readiness%20for%20Industry%204.0.pdf

Deutscher Bundestag. (2016). *Aktueller Begriff Industrie 4.0.* Retrieved from https://cdn.fbsbx.com/v/t59.2708-21/39353529_1683609188434403_3449827627475402752_n.pdf/industrie-4-0-data.pdf?_nc_cat=0&_nc_eui2=AeHlEufGd8yP-33WBiVYc4p-

pUmjpRZM6qUM0DfFRvjv3k5YXzmdSHKdp2viW6XYC3Mefi_f89tbohkKDjCI-60HLDBmm_drUrTroup3KIZU0qlA&oh=967b023a942fe63c21884c3c8b04aca6&oe=5B883CF3&dl=1

Eleren, A. & Yilmaz, C. (2011) Selection of suppliers by Fuzzy Topsis model, sample study from Turkey. *International Journal of Business and Social Science, 2*(22), 189-200. DOI: 10.30845/ijbss

Espíndola, D., Filho, N. D., Botelho, S. & Carvalho., J. (2012). *Internet of Things to provide scalability in Product-Service systems,* The 6th International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems. 214-221. ISBN: 978-1-61208-236-3

Ferràs-Hernández, X., Tarrats-Pons, E. & Arimany-Serrat, N. (2017). Disruption in the automotive industry: A Cambrian moment. *Business Horizons, 60(6), 855-863.*

Flanders, F. B. (1988). Determining curriculum content for nursery/landscape course work in vocational agriculture for the 21st century: A futures study utilizing the Delphi technique. (Doctoral dissertation). University of Georgia.

GTAI. (2014). *Industry 4.0 Smart Manufacturing for The Future.* Retrieved from GTAI - industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf

Johnstone, J. N. (1981). *Indicators of Education Systems.* The United Kingdom: The Anchor Press Tiptree Essex. International Institute for Educational Planning.

Kasikorn Research Center. (2017). Is Thai SMEs ready to change with automotive industry 4.0? Retrieved from http://www.kasikornbank.com/business/KSMEKnowledge/article/KSMEAnalysis/Documents/ThaiAutomotive4.pdf (in Thai)

Keyte, C. (2014). *How to Develop Meaningful Key Performance Indicators.* Retrieved from https://www.intrafocus.com/wp-content/uploads/2014/08/Developing-Meaningful-Key-Performance-Indicators-V5.pdf.

Kiatsaksri, P. (2018). The important of the automotive industry reformation. *Plastics Foresight,* 28-07, 37.

Kurakova, T. (2012). *Overview of the Internet of things.* (Master's thesis). University of Twente, Faculty of the Graduate School of Management and Governance Business Administration.

Lee, J., Kao, H. & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP 16,* 3-8. DOI: 10.1016/j.procir.2014.02.001

Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K., & Forstenhäusler, S. (2016). SIMMI 4.0-A maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on industry 4.0. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, 8,* 1297–1302. DOI: 10.15439/2016F478

Lebas, M. J. (1995). Performance measurement and performance management. *International Journal of Production Economics, 4,* 23-35. DOI: 10.1016/0925-5273(95)00081-X Wang, L. & Wang, G. (2016). Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0. I.J. Engineering and Manufacturing, 4, 1-8. DOI: 10.5815/ijem.2016.04.01

McKeown, M. (2008). *The truth about innovation.* London: Prentice Hall.

McKinsey & Company. (2016). *Industry 4.0 at McKinsey's model factories.* Retrieved from https://capability-center.mckinsey.com/files/mccn/2017-03/digital_4.0_model_factories_brochure_2.pdf

Ministry of Industry. (2016). The 20-Year Thailand industrial development strategy plan (2017-2036). Retrieved from http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry_plan/thailandindustrialdevelopmentstrategy4.0.pdf (in Thai)

Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP, 17,* 9–13. DOI: 10.1016/j.procir.2014.03.115

National Science and Technology Development Agency. (2018). Thailand's automotive industry outlook 2018. Retrieved from http://www.technology.in.th/industrial-data/doku.php?id=automotive-industry:newstart60-overview-up3 (in Thai)

Office of Science and Technology. (2016). The study of european policies for improving the policies of science, Technology and innovation in Thailand. Retrieved from http://www.thaiscience.eu/uploads/journal_20170130162702-pdf.pdf (in Thai)

Okoli, C. & Pawlowski, S. D. (2004). The delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management, 42*(1), 15-29. DOI: 10.1016/j.im.2003.11.002

Opasanon, S. (2016). Multiple Criteria decision making for business and logistics Management: Theory and applications. Bangkok: Thammasat University. (in Thai)

Parmenter, D. (2007). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs.* Canada: John Wiley & Sons.

Pricewaterhousecoopers. (2007). *Guide to Key Performance Indicators.* Retrieved from https://www.pwc.com/gx/en/audit-services/corporate-reporting/assets/pdfs/uk_kpi_guide.pdf

Pricewaterhousecoopers. (2016). *Industry 4.0: Building the Digital Enterprise.* Retrieved from https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf

Porter. (1990). *The Competitive Advantage of Nations.* Retrieved from http://www.economie.ens.fr/IMG/pdf/porter_1990_-_the_competitive_advantage_of_nations.pdf

Reddy, G.R.K., Singh, H. & Hariharan, S. (2016). Supply chain wide transformation of traditional industry to industry 4.0. *Journal of Engineering and Applied Sciences, 11*(8), 11089-11097. ISSN 1819-6608.

Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of Industry 4.0, *SAGE Open, 6*(2),1-11. DOI: 10.1177/2158244016653987

Saaty, T. L., & Tran, L.T. (2007). On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling 46*(7-8), 966. DOI: 10.1016/j.mcm.2007.03.022

Singh, I., Al-Mutawaly, N. & Wanyama, T. (2015). Teaching network technologies that support Industry 4.0. *Canadian Engineering Education Association (CEEA15) Conf. 5*(119). 1-5.

Scholer, M., & Müller R. (2017). Modular configuration and control concept for the implementation of human-robot-cooperation in the automotive assembly line. *IFAC-PapersOnLine, 50*(1), 5694-5699.

Schumacher, A., Erol, S. & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP 52,* 161-166. DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.040

Sirinumchai, J. (2015). Thai industries in 2025 and future industry. Industry focus, 050, 4-5.

Thai-German Institute. (2017). Evolving to the Industry 4.0. Retrieved from http://www.tgi.or.th/upload/files/การพัฒนาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสู่ยุค%204_0-คุณเจน.pdf. (in Thai)

Thai-German Institute. (2016). 20th Anniversary of Thai-German institute evolution to the industry 4.0. Thai-German Institute. (in Thai)

Thailand Automotive Institute. (2018). Current situation of Thai automotive industry. Retrieved from http://data.thaiauto.or.th/iu3/index.php?option=com_user-&view=login&return=YToyOntzOjI6ImlkIjtpOjc0OTtzOjM6ImNpZCI7aToxMDQ7fQ== (in Thai)

The Boston Consulting Group (2015). *Industry 4.0-The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.* Retrieved from https://www.zvw.de/media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf

The Federation of Thai Industries. (2016). The Improvement of Thai industries to Industry 4.0. Retrieved from http://www.nfcrbr.or.th/site/attachments/article/81/White%20paper.pdf (in Thai)

The Research Development and Innovation for Industry Institute. (2017). Self-assessment of Thai Industries. Retrieved from http://www.rdi.or.th/ (in Thai)

Tyagia, M., Kumar, P., Kumar, D. (2014). A hybrid approach using AHP-TOPSIS for analyzing e- SCM performance. *Procedia Engineering 97,* 2195 – 2203. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.463

U.S. Chamber of Commerce. (2010). *Transportation Performance Index: Summary report.* Retrieved from https://www.uschamber.com/sites/default/files/legacy/lra/files/LRA_TPI%20_Summary_Report%20Final%20092110.pdf

VDMA's IMPULS-Stiftung. (2015). *Industrie 4.0-readiness.* Retrieved from https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/5356229/Industrie%204.0%20Readiness%20Study%20English.pdf/f6de92c1-74ed-4790-b6a4-74b30b1e83f0

Vassiloglou, M. & Giokas, D. (1990). A study of the relative efficiency of bank branches: an application of data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society, 41*(7), 591-597. DOI: 10.2307/2583436

Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks, 12*(1), 6. DOI: 10.1155/2016/3159805

World Economic Forum. (2015). *Industrial Internet of Things: Unleashing The Potential of Connected Products and Services.* Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf

Yurdakul, M. & Ic, Y. T. (2005), Development of a performance measurement model for manufacturing companies using the AHP and TOPSIS approaches, *International Journal of Production Research, 43*(21), 4609–4641. DOI: 10.1080/00207540500161746