

การปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเสียจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม ร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0

ศรัทธาชัย แก้วกนกพาน¹ และ ปณัฏพร เรืองเชิงชุม²

Received: May 18, 2022

Revised: September 17, 2022

Accepted: September 22, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม และเพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเสียจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม จำนวน 140 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ข้อมูลโดยโมเดลสมการโครงสร้าง ผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยด้านความสูญเสีย และปัจจัยด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเสียจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 คือ 1. ปรับใช้เรียลไทม์เซนเซอร์เทคโนโลยีในเครื่องจักร เพื่อควบคุมการผลิตจากส่วนกลาง 2. ติดตั้งเซนเซอร์เทคโนโลยีจำแนกสินค้าอัตโนมัติร่วมกับการปรับปรุงแผนผังการผลิตและแผนผังคลังสินค้า 3. ติดตั้งระบบ 5 จี เพื่อรองรับการส่งข้อมูลผ่านทางระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ และ 4. การปรับใช้ระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์กับส่วนกลางการผลิตเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและวางแผนการผลิต ผลจากการปรับปรุง พบว่า ปริมาณการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 1,400 ชุดต่อวัน ทำให้สามารถเพิ่มอัตรากำไรถึง ร้อยละ 25

คำสำคัญ : การปรับปรุงการดำเนินงาน, การผลิต, ความสูญเสีย, เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0, หน้าต่างอลูมิเนียม

¹ นักศึกษาปริญญาโท, หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Email: k.sattachai@kku.ac.th)

² รองศาสตราจารย์, วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
(ผู้รับผิดชอบบทความ, Email: rpanut@kku.ac.th)

Operational performance improvement by reducing waste in aluminum window production with industry 4.0 technologies

Sathachai Kaewkongphan¹ and Panutporn Ruangchoengchum²

Received: May 18, 2022

Revised: September 17, 2022

Accepted: September 22, 2022

Abstract

This research aimed to study factors that affect operational performance of aluminum window production and introduce guidelines for improving operation by reducing waste in the aluminum window production with industry 4.0 technologies. A set of questionnaires is a research instrument for collecting data from the sample comprises 140 parcels the aluminum window production worker, and the data were analyzed by a Structural Equation Model (SEM). The study found that factors of waste and industry 4.0 technology are factors that influence on operational performance. Hence, the guidelines for improving operation by reducing waste in the aluminum window production with industry 4.0 technologies are 1. Applying real-time sensor technology into machine to control production from head office 2. Installing automatic sensor technology to identify products with re-layout of production and stock area 3. Installing 5G to assist transferring data via cloud computing, as well as 4. Applying cloud computing with head office for analysis data and production plan. As a result, production can increase quantity of finished goods to 1,400 units per day that also increase profit margin to 25%.

Keywords : Aluminum window, Industry 4.0 Technology, Operational performance improvement, Production, Waste

¹ Master student, Master of Business Administration program, College of Graduate Study in Management, Khon Kaen University (Email: k.sathachai@kkumail.com)

² Associate Professor, College of Graduate Study in Management, Khon Kaen University
(Corresponding author, Email: rpanut@kku.ac.th)

บทนำ

ธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมเป็นธุรกิจที่ดำเนินการผลิตและจำหน่ายหน้าต่างอลูมิเนียมสำเร็จรูปซึ่งเป็นสินค้าที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งมักใช้เป็นวัสดุสำหรับโครงสร้างอาคารต่าง ๆ เนื่องจากหน้าต่างอลูมิเนียมมีคุณสมบัติทนทานและเบา รวมถึงการติดตั้งใช้ระยะเวลาสั้นทำให้สามารถนำมาทดแทนหน้าต่างที่ผลิตจากไม้และเหล็กได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมเติบโตอย่างต่อเนื่องตามอุตสาหกรรมก่อสร้าง ดังจะเห็นได้จากรายงานวิจัยกรุงศรีอ้างว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างมีการเติบโตเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 13.5 ส่งผลให้มูลค่าการลงทุนจากปี 2564 ถึง ปี 2566 ขยายตัวเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 5.2 (พุมิชาติ ลันคำ, 2564) ทำให้ผู้ประกอบการธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณการผลิต เพื่อสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมแห่งหนึ่ง ในจังหวัดขอนแก่นกลับได้เผชิญปัญหาการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด สามารถผลิตได้เพียง 700 ชุดต่อวัน (มาตรฐานการผลิต 1,200 ชุดต่อวัน) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลการดำเนินงาน ซึ่งจะเห็นได้จากกำไรขั้นต้นจาก ร้อยละ 20 ในไตรมาส 4 ปี 2564 ลดลงเป็น ร้อยละ 14 ในไตรมาส 1 ปี 2565 ซึ่งลดลงถึงร้อยละ 6 (ฝ่ายบัญชี ธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม, 2565) จึงเป็นเหตุผลว่าผู้ประกอบการธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมต้องเร่งปรับปรุงการดำเนินงานให้เร็วที่สุดเพื่อเพิ่มผลกำไรขั้นต้นให้สูงขึ้น

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ส่วนใหญ่ได้ศึกษาการดำเนินงานจากความสูญเสียในกระบวนการผลิต และศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการดำเนินงานตั้งแต่ประเด็นการปรับใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรมร่วมกับระบบการผลิตแบบลีน (Khanchanapong et al., 2014; Riezebos et al., 2009) ความสัมพันธ์ระหว่าง

การผลิตแบบลีน และผลการดำเนินงาน (Taj & Morosan, 2011; Tortorella et al., 2018) ผลกระทบของอุตสาหกรรม 4.0 กับการผลิตแบบลีน (Dombrowski et al., 2017; Mrugalska & Wyrwicka, 2017; Sanders et al., 2016) อุตสาหกรรม 4.0 (Thoben et al., 2017) และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 (Fatorachian & Kazemi, 2018; Fettermann et al., 2018; Xu et al., 2018) แม้ว่าจะมีการศึกษาการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ร่วมกับการผลิตแบบลีนที่มีผลต่อผลการดำเนินงาน (Tortorella et al., 2019) แต่ส่วนน้อยยังไม่ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงการดำเนินงานและการลดความสูญเสีย โดยเฉพาะการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม ร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ทั้งที่แนวคิดการปรับปรุงการดำเนินงานเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน ขณะที่การลดความสูญเสียเป็นการปรับปรุงการปฏิบัติงานด้วยการลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า เมื่อนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เช่นการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆหรือคลาวด์คอมพิวติง (Cloud computing) ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรืออินเทอร์เน็ตออฟติงส์ (Internet of Things) การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data) และระบบเซนเซอร์ควบคุมระยะไกล เป็นต้น โดยนำมาใช้ครอบคลุมทุกส่วนของกระบวนการผลิต ตั้งแต่กำหนดการผลิตรายวันจนถึงบรรจุหีบห่อ จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมได้มากขึ้น ส่งผลต่อการดำเนินงานที่ดีขึ้นและกำไรขั้นต้นสูงตามไปด้วย

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเสียจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 โดยศึกษาจากธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม ในจังหวัดขอนแก่น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม
2. เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเปล่าจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0

ทบทวนวรรณกรรม

1. ผลการดำเนินงาน (Operational performance)

การปรับปรุงการดำเนินงาน (Operational performance improvement) ของธุรกิจเป็นผลมาจากผลการดำเนินงาน โดย Chiarini and Kumar (2021); Meredith and Shafer (2013); Totorella et al. (2019) กล่าวว่า ผลการดำเนินงานเป็นส่วนหนึ่งของการบริหาร หรือการปฏิบัติการที่ไม่เพียงแต่ต้องปรับปรุงกระบวนการผลิต แต่ยังต้องปรับปรุงการดำเนินงาน เพื่อให้กระบวนการผลิตตั้งแต่การนำเข้าวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และผลผลิต เป็นไปตามเป้าหมายของธุรกิจ การปรับปรุงการดำเนินงานจึงเกิดขึ้นเมื่อมีความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีการผลิต โดยกำหนดปัญหาและรูปแบบการปรับปรุงตามวิธีการที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ จึงนำแนวคิดของ Meredith and Shafer (2013) ที่กล่าวถึง ผลการดำเนินงานที่สามารถนำไปปรับปรุงการดำเนินงาน ตั้งแต่ระยะเวลาในการผลิต (Cycle time) ผลิตภาพ (Productivity) สินค้าคงคลัง (Inventory) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Quality) และแรงงาน (Workforce) มาศึกษาเป็นตัวแปรในการประเมินผลการดำเนินงาน ดังนี้

1. ระยะเวลาในการผลิต มุ่งเน้นการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยวิธีการออกแบบขั้นตอนการผลิตให้มีความต่อเนื่องและมีมาตรฐาน เพื่อลดความสูญเปล่า

ในการผลิต ทำให้ลดระยะเวลาในการผลิต หรือลดความเสียหายของชิ้นงาน

2. ผลิตภาพ มุ่งเน้นการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยวิธีการลดขั้นตอนการผลิต เพื่อเพิ่มผลิตภาพการผลิต โดยใช้ทรัพยากรการผลิตเท่าเดิม ทำให้หลีกเลี่ยงการเกิดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต รวมถึงการผลิตล่วงเวลา และการมีชิ้นงานในกระบวนการผลิตมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลต่อต้นทุนที่สูงขึ้น

3. สินค้าคงคลัง มุ่งเน้นการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการจัดการสินค้าคงคลัง โดยปรับใช้เทคโนโลยี เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทำให้การจัดการสินค้าคงคลังมีความเหมาะสมและมีจำนวนน้อยที่สุด

4. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ มุ่งเน้นการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการนำเทคโนโลยีเข้ามาปรับใช้กับเครื่องจักร เพื่อตรวจสอบคุณภาพ ทำให้การผลิตมีคุณภาพและได้มาตรฐานมากขึ้น

5. แรงงาน มุ่งเน้นการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการคำนึงถึงคุณภาพชีวิตและความปลอดภัยของแรงงาน เพื่อปฏิบัติหน้าที่ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง

จากแนวคิดข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้กำหนดผลการดำเนินงานที่ต้องการปรับปรุง ตั้งแต่ ระยะเวลา การส่งมอบสินค้า ผลิตภาพ สินค้าคงคลัง คุณภาพของผลิตภัณฑ์และความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงการดำเนินงานจำเป็นต้องทราบถึงความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงต้องศึกษาถึงความสูญเปล่าจากการผลิตต่อไป

2. ความสูญเปล่าจากการผลิต (Waste from production)

ความสูญเปล่าจากการผลิต เป็นสาเหตุลำดับต้น ๆ ที่จำกัดขีดความสามารถของธุรกิจ ในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า รวมถึงการพัฒนาคุณภาพของสินค้าและบริการ เพื่อเพิ่มกำไรจากการลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดขึ้นคุณค่า

ในกระบวนการผลิต ดังนั้น องค์การธุรกิจจึงมุ่งเน้นที่จะลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการผลิตโดย Chiarini et al. (2018) กล่าวว่าความสูญเสียจากการผลิต ครอบคลุมตั้งแต่ กระบวนการผลิตที่ซ้ำซ้อน การจัดเก็บวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น การรอคอยหรือความล่าช้า การขนส่งหรือขนย้ายที่ไม่จำเป็น และการผลิตของเสีย ดังนี้

1. กระบวนการผลิตที่ซ้ำซ้อน เป็นความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตที่ซ้ำซ้อน หรือขั้นตอนที่ไม่จำเป็น จึงส่งผลต่อระยะเวลาในการผลิต ทำให้เกิดความล่าช้าและผลการดำเนินงานไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพ

2. การจัดเก็บวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น เป็นความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการสั่งซื้อวัสดุคงคลังรวมถึงวัสดุที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตและสินค้าสำเร็จรูปที่จัดเก็บมากเกินไปจนความจำเป็น ส่งผลให้เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ หากจัดเก็บนานเกินไปหรือจัดเก็บผิดวิธีจะทำให้เกิดความเสียหายของวัสดุ

3. การรอคอยหรือความล่าช้า เป็นความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการรอคอยหรือความล่าช้าในกระบวนการผลิต เนื่องจากการหยุดการทำงานของพนักงานหรือเครื่องจักร ทำให้กระบวนการผลิตไม่ต่อเนื่อง ส่งผลต่อการส่งมอบสินค้าที่ล่าช้า และเกิดต้นทุนจมหรือต้นทุนการเสียโอกาส

4. การขนส่งหรือขนย้ายที่ไม่จำเป็น เป็นความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับการขนย้ายที่ไม่เกิดประโยชน์หรือมูลค่าต่อกระบวนการผลิต ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการผลิต ทำให้สูญเสียแรงงาน หรือค่าขนส่งโดยไม่จำเป็น

5. การผลิตของเสีย เป็นความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับสินค้าที่ไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพ ทำให้เกิดต้นทุนสูญเสียเนื่องจาก การตรวจสอบ และแก้ไข

จากแนวคิดข้างต้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสูญเสียจากการผลิต และเพื่อเสนอแนวทาง

การปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเสีย ขณะที่การวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มาประยุกต์ใช้เพื่อลดความสูญเสียต่อไป

3. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0 technologies)

เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เป็นการปรับใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ตในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ระบบไซเบอร์ฟิสิกส์ (Cyber physical system : CPS) เทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆหรือคลาวด์คอมพิวติง ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรืออินเทอร์เน็ตออฟติงส์ (IoT) ปัญญาประดิษฐ์ AI การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ และระบบเซนเซอร์ควบคุมระยะไกล เป็นต้น (Shahin et al., 2020) เพื่อมุ่งเน้นการผลิตแบบระบบอัตโนมัติหรือการสื่อสารระหว่างเครื่องจักร ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตด้วยการลดต้นทุนต่ำ (Low cost) และผลิตปริมาณมาก (Mass production) และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าอย่างรวดเร็ว (Quick response) โดย Tortorella et al. (2018) กล่าวถึงการปรับใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ (Tortorella et al., 2018) ขณะที่การปรับใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ยังขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น ๆ เช่น ขนาดของโรงงานอุตสาหกรรม (Brettel et al., 2014) และความพร้อมด้านการลงทุนหรือคุณภาพของกระบวนการผลิต (Khanchanapong et al., 2014) อย่างไรก็ตาม การวิจัยต่าง ๆ ที่มีในปัจจุบันยังไม่ได้ศึกษาการควบคุมตัวแปร และส่วนใหญ่ศึกษากลุ่มตัวอย่างโรงงานขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ผู้วิจัยจึงเห็นถึงโอกาสที่จะนำปัจจัยต่าง ๆ มาศึกษากับกลุ่มตัวอย่างเฉพาะเจาะจง

จากการทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศข้างต้น

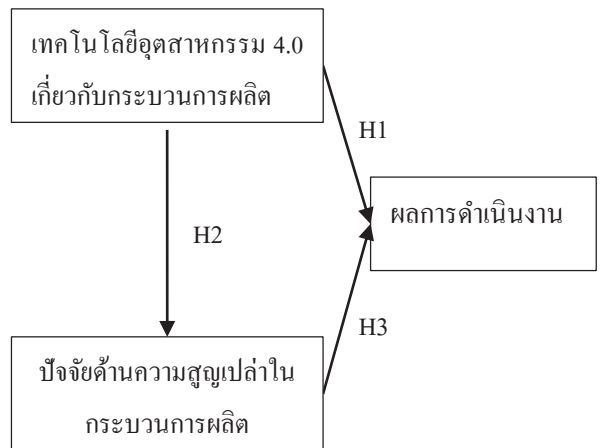
ผู้วิจัยจึงดำเนินการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงการดำเนินการ ความสูญเสียจากการผลิต และการปรับใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อกำหนดตัวแปรต่างๆ โดยการใช้ทฤษฎีของ Totorella et al. (2019) เป็นหลักในการกำหนดตัวแปร จึงแบ่งเป็นตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยตัวแปรต้น ได้แก่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน ครอบคลุมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตซึ่งมีตัวแปรสังเกต (X1 ถึง X5) ตั้งแต่ X1 กระบวนการผลิตอัตโนมัติระบบดิจิทัล X2 เซนเซอร์สำหรับระบบควบคุมและจัดการจากระยะไกล X3 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ X4 การปรับใช้คลาวด์คอมพิวติง และ X5 การสร้างต้นแบบด้วยเทคโนโลยี 3 มิติ โดยตัวแปรสังเกตเหล่านี้ได้จากการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ในการปรับปรุงการดำเนินงาน (Buer et al., 2018; Frank et al., 2019; Kolberg et al., 2017; Totorella et al., 2019) ขณะที่ ปัจจัยด้านความสูญเสียมีตัวแปรสังเกต (X6 ถึง X9) ตั้งแต่ X6 ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบคลังวัสดุหรือคลังสินค้าโดยไม่จำเป็น X7 ผู้ปฏิบัติงานเคลื่อนย้ายวัสดุหรือสินค้าโดยไม่จำเป็น X8 ผู้ปฏิบัติงานหาสินค้าเพื่อส่งลูกค้าโดยไม่จำเป็น และ X9 เกิดความเสียหายของสินค้าจากการผลิตโดยตัวแปรสังเกตที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ ได้จากการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านความสูญเสียจากการผลิต (Buer et al., 2018; Kolberg et al., 2017; Totorella et al., 2019) ส่วนตัวแปรตาม ได้แก่ ผลการดำเนินงาน ซึ่งมีตัวแปรสังเกต (Y1 ถึง Y5) ตั้งแต่ Y1 ระยะเวลาการส่งมอบสินค้า Y2 ผลิตภาพ Y3 ระดับปริมาณสินค้าคงคลัง Y4 คุณภาพ และ Y5 ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยตัวแปรสังเกตเหล่านี้ได้จากการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลการดำเนินงาน (Chiarini & Kumar, 2021; Rossini et al., 2019; Totorella et al., 2019)

และปัจจัยด้านความสูญเสีย จึงนำมาตั้งสมมติฐานและกรอบแนวคิดของงานวิจัย ดังนี้

สมมติฐาน H1 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน

สมมติฐาน H2 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อปัจจัยด้านความสูญเสียในกระบวนการผลิต

สมมติฐาน H3 ปัจจัยด้านความสูญเสียในกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีการดำเนินการศึกษา

การวิจัยนี้ใช้กรณีศึกษา การผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมของบริษัท ทรัพย์ทวีอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดขอนแก่น โดยสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) และใช้หน่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล (Unit of Analysis) เป็นระดับบุคคล ได้แก่ พนักงานที่ปฏิบัติงานในบริษัท ทรัพย์ทวีอิเล็กทรอนิกส์ จังหวัดขอนแก่น จำนวน 140 ชุด (Kline, 2015)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

จากการตั้งสมมติฐานและกรอบแนวคิดของงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงออกแบบข้อคำถามที่ใช้ในแบบสอบถามปลายปิด ซึ่งเป็นเครื่องมือ Cronbach (Cronbach, 2004) ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้และใช้ Likert scale (Taherdoost, 2019) เป็นมาตราวัดสำหรับแสดงความคิดเห็น เริ่มจากระดับที่ 1 คือ ไม่พึงพอใจอย่างยิ่ง จนถึงระดับที่ 5 คือ พึงพอใจอย่างยิ่ง โดยมีข้อคำถามในแบบสอบถามปลายปิด รวมทั้งหมด 14 ข้อ ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยตัวแปรต้นได้ตั้งข้อคำถาม 5 ข้อ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 รวมถึงกระบวนการผลิตที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน ครอบคลุมตัวแปรสังเกต ตั้งแต่กระบวนการผลิตอัตโนมัติระบบดิจิทัล เช่น เซอร์สำหรับระบบควบคุมและจัดการจากระยะไกล กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ การปรับใช้คลาวด์คอมพิวเตอร์ และการสร้างต้นแบบด้วยเทคโนโลยี 3 มิติ เป็นต้น

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังตั้งข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต้น ซึ่งเป็นปัจจัยด้านความสูญเสียจากการผลิต โดยตั้งข้อคำถาม 4 ข้อ ครอบคลุมตัวแปรสังเกต ตั้งแต่ ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบคลังวัสดุหรือคลังสินค้าโดยไม่จำเป็น ผู้ปฏิบัติงานเคลื่อนย้ายวัสดุหรือสินค้าโดยไม่จำเป็น ผู้ปฏิบัติงานหาสินค้าเพื่อส่งลูกค้าโดยไม่จำเป็น และเกิดความเสียหายของสินค้าจากการผลิต เป็นต้น

ส่วนข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรตาม ซึ่งเป็นผลการดำเนินงาน ประกอบด้วยข้อคำถาม 5 ข้อ ครอบคลุมตัวแปรสังเกต ตั้งแต่ ระยะเวลาการส่งมอบสินค้า ผลิตภาพ ระดับปริมาณสินค้าคงคลังคุณภาพ และ ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น

การทดสอบคุณภาพของเครื่องมือ

แบบสอบถามที่ใช้วัดผลได้ผ่านการหาค่าสัมประสิทธิ์ครอนบาคอัลฟา (α) เพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเอสพีเอสเอส SPSS เวอร์ชัน 28 (ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น) ในการคำนวณค่าครอนบาคอัลฟา (Cronbach, 2004) ตามสูตรดังนี้

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{\sum S_t^2} \right]$$

โดย α คือค่า สัมประสิทธิ์แอลฟา

k คือค่า จำนวนข้อคำถาม

S_i^2 คือค่า ความแปรปรวนของคะแนนข้อที่ i

S_t^2 คือค่า ความแปรปรวนของคะแนนรวม t

ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ครอนบาคอัลฟาของตัวแปร

1. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน 2. ปัจจัยด้านความสูญเสียจากการผลิต และ 3. ผลการดำเนินงาน เท่ากับ 0.818, 0.833 และ 0.797 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ยอมรับสามารถนำไปใช้ได้

ส่วนการทดสอบ Validity Test ของตัวแปรสังเกต มีค่า KMO เท่ากับ 0.705 โดยค่าเข้าใกล้ 1.0 แปลว่ากลุ่มตัวอย่างเหมาะสม โดย Bartlett's Test มีค่า Chi-square เท่ากับ 1536.460 ค่า p -value < 0.001 แสดงว่า เมตริกสหสัมพันธ์ไม่เป็นเมตริกเอกลักษณ์ (Kline, 2015) ทำให้ตัวแปรสังเกตได้ทั้ง 14 ตัวแปร (X_1 ถึง X_9 และ Y_1 ถึง Y_5) มีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม จึงสามารถนำไปวิเคราะห์ในโมเดลแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างได้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ ดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามปลายปิด ทั้งหมด 14 ข้อคำถาม กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 140 ชุด โดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ ผู้ปฏิบัติหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหน้าตาอูมิเนียม ตั้งแต่ขั้นตอนกำหนดการผลิตรายวัน จนถึงขั้นตอนบรรจุหีบห่อ โดยเก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึง หนังสือ ตำราที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการกระบวนการผลิต และบทความทางวิชาการ งานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ โดยสืบค้นผ่านฐานข้อมูลและทางอินเทอร์เน็ต

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และทดสอบสมมติฐานการวิจัย ดังนี้

1. สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ใช้ในการสรุปการศึกษาข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐาน โดยวิเคราะห์ความแข็งแกร่งของข้อมูลตาม Kline (2015) และทดสอบองค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) เพื่อยืนยันความเที่ยงตรงเหมือน (Convergent Validity) และความเที่ยงตรงเชิงการจำแนก (Discriminate Validity) ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม (Fornell & Larcker, 1981; Sigauw & Diamantopoulos, 2000) และวิเคราะห์ เส้นทาง (Path Analysis) จากค่า Standardize Direct Effects โดยค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติมีค่าเท่ากับ 0.05 ตามหลักการของโมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) จึงวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) และวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis)

2. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)

ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายหรืออธิบายลักษณะของตัวแปร งานวิจัยครั้งนี้จึงใช้สถิติเชิงพรรณนาในการอธิบายค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลของตัวแปรที่ได้จากการเก็บข้อมูล

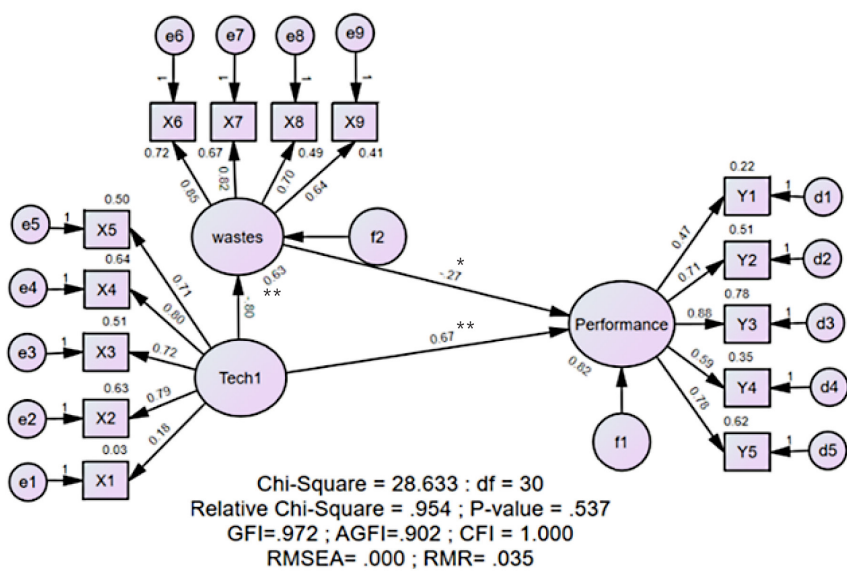
ผลการวิจัย

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าตาอูมิเนียม

จากการวิเคราะห์ความแข็งแกร่งของข้อมูลพบว่า ค่าความเบ้ -0.67 ถึง 0.83 มีค่าความโด่ง -0.98 ถึง 0.90 ซึ่งให้เห็นว่าข้อมูลมีความแข็งแกร่งเป็นเส้นโค้งปกติ (Kline, 2015) จึงสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์องค์ประกอบต่อไปได้

ผลการทดสอบองค์ประกอบเชิงยืนยัน (CFA) พบว่า มีน้ำหนักค่าสัมประสิทธิ์ (Factor Loadings) ตั้งแต่ 0.70 ถึง 0.88 ซึ่งมากกว่า 0.5 และค่าเฉลี่ยความแปรปรวนที่ถูกสกัดได้ (AVE) 0.54 ถึง 0.58 ซึ่งมีค่าไม่น้อยกว่า 0.50 จึงสรุปได้ว่า โมเดลการวัดมีความตรงเชิงลู่เข้าที่ดี (Fornell & Larcker, 1981) ถือว่าตัวแปรมีความเป็นเอกภาพและมีค่าความเที่ยงรวม (CR) ระหว่าง 0.757 ถึง 0.798 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.60 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรมีความเที่ยงตรงเชิงจำแนก (Sigauw & Diamantopoulos, 2000) จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรมีความเที่ยงตรงเชิงจำแนกสูง มีความเป็นเอกภาพตัวแปรแฝงตามเกณฑ์ สามารถนำเข้าโมเดลแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างได้

ดังนั้น โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) ของโมเดลแบบจำลองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าตาอูมิเนียม จึงได้วิเคราะห์และปรับโมเดลให้มีความเหมาะสม และสมบูรณ์ เพื่อให้ค่าสถิติเป็นที่ยอมรับ โดยวิธีเชื่อมตัวแปร Modification Indices และทำการตรวจสอบค่าดัชนีความกลมกลืนของโมเดลสมการโครงสร้าง เพื่อตรวจสอบความผันแปรร่วมของตัวบ่งชี้ สรุปผลดังภาพที่ 2 และ ตารางที่ 1



ภาพที่ 2 สมการเชิงโครงสร้างแบบจำลองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม
หมายเหตุ : * มีนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และ ** มีนัยสำคัญเท่ากับ 0.001

ตารางที่ 1 ค่าสถิติประเมินความกลมกลืนของสมการเชิงโครงสร้างแบบจำลองปัจจัยที่มีอิทธิพล
ต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม

ดัชนีที่ใช้ประเมินความกลมกลืนของโมเดล	เกณฑ์	ผลลัพธ์	ผลสรุป	อ้างอิง
p-value	> 0.05	0.675	ผ่าน	(Hair et al., 2006)
Relative Chi-square: χ^2/df	< 2.00	0.906	ผ่าน	(Tabachninck & Fidell, 2007)
Goodness of Fit Index: GFI	> 0.95	0.951	ผ่าน	(Schumacker & Lomax, 2004)
Adjusted Goodness of Fit Index: AGFI	> 0.9	0.909	ผ่าน	(Hair et al., 2006)
Comparative Fit Index: CFI	> 0.9	1.000	ผ่าน	(Hu & Bentler, 1999)
Mean Square Error of Approximation: RMSEA	< 0.05	0.000	ผ่าน	(Schumacker & Lomax, 2004)
Root Mean Square Residual: RMR	< 0.05	0.044	ผ่าน	(Hu & Bentler, 1999)

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างแบบจำลองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมพบว่า หลังจากได้มีการปรับโมเดลด้วยวิธีเชื่อมตัวแปร Modification Indices ระหว่างตัวแปร Tech1 หรือ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิต Wastes หรือ ปัจจัยด้านความสูญเสีย และ Performance หรือผลการดำเนินงานพบว่า

มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์อยู่ในค่าที่ผ่านเกณฑ์ที่มี p-value = 0.675 > 0.05 Relative Chi-square = 0.906 GFI = 0.951 AGFI = 0.909 CFI = 1.000 RMSEA = 0.000 RMR = 0.044 ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Hair et al. (2006); Hu and Bentler (1999); Schumacker and Lomax (2004); Tabachninck and Fidell (2007)

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลของตัวแปร (Path Analysis) ในโมเดลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม พบว่า ตัวแปร Tech1 หรือ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิต มีค่า

สัมประสิทธิ์อิทธิพลโดยรวมต่อตัวแปรตาม Wastes หรือ ปัจจัยด้านความสูญเสียเป็นลบ เท่ากับ -0.795 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลทางตรงทั้งหมด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลของปัจจัยต่อผลการดำเนินงานที่เกิดจากความสูญเสีย
ในการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม

ตัวแปรตาม				Waste			Performance		
ตัวแปรต้น	TE	DE	IE	TE	DE	IE	TE	DE	IE
Tech	-0.795 **	-0.795	-	0.893 **	0.675	0.218			
Waste	-	-	-	-0.274 *	-0.274				
R-SQUARE		0.633			0.824				

หมายเหตุ : * มีนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และ ** มีนัยสำคัญเท่ากับ 0.001

ขณะที่ Tech1 มีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลโดยรวมต่อตัวแปรตาม Performance หรือผลการดำเนินงาน มีค่าเป็นบวกเท่ากับ 0.893 ซึ่งแบ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลทางตรงเท่ากับ 0.675 และทางอ้อม 0.218 ในขณะที่ ตัวแปร Wastes มีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลโดยรวมต่อตัวแปรตาม Performance มีค่าเป็นลบเท่ากับ -0.274 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลโดยรวมเท่านั้น (ตารางที่ 2)

ผลการวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลของปัจจัยต่อผลการดำเนินงานที่เกิดจากความสูญเสียในการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมจากตารางที่ 2 ข้างต้นสามารถนำมาสรุปผลการทดสอบสมมติฐานได้ ดังนี้

สมมติฐาน H1 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานในทิศทางเดียวกัน มีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลเท่ากับ 0.839 โดยอธิบายอิทธิพลได้ร้อยละ 63 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

สมมติฐาน H2 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อความสูญเสียในกระบวนการผลิต

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อความสูญเสียในกระบวนการผลิตในทิศทางตรงกันข้าม มีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลเท่ากับ -0.795 โดยอธิบายอิทธิพลได้ร้อยละ 82 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.001 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

สมมติฐาน H3 ความสูญเสียในกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน

ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ความสูญเสียในกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานในทิศทางตรงกันข้าม มีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลเท่ากับ -0.274 โดยอธิบายอิทธิพลได้ร้อยละ 82 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

2. แนวทางการปรับปรุงการดำเนินงาน ด้วยการลดความสูญเสียจากการผลิตหน้าต่าง อลูมิเนียมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีสถิติที่เป็นดัชนีวัดความกลมกลืน (Goodness of fit measures) หลังการปรับแก้โมเดล จากภาพที่ 2 ข้างต้น พบว่า ปัจจัยทั้งด้านความสูญเสีย และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิต มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงวิเคราะห์แยกส่วนเพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดสองลำดับแรกในกระบวนการผลิต จึงได้ผลดังนี้

ตัวแปรด้านความสูญเสีย วัดได้จากตัวแปรสังเกต 4 ตัวแปร โดยตัวแปรสังเกตที่มีค่าอิทธิพลมากที่สุดสองอันดับแรกได้แก่ พนักงานเสียเวลาในการรอคอยส่วนประกอบจากแผนกก่อนหน้า และ พนักงานเสียเวลากับการเคลื่อนย้ายสินค้าโดยไม่จำเป็น (ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.85 และ 0.82 ตามลำดับ) โดยการที่พนักงานมีการรอคอยและการเดินที่ไม่จำเป็นเนื่องจากมีการวางแผนผังการผลิตและลำดับขั้นตอนที่ไม่เหมาะสมแก่การผลิตและการผลิตไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้ปริมาณการผลิตไม่ตรงตามเป้าหมาย และส่งผลกระทบต่อผลการดำเนินงาน ดังจะเห็นได้จากผลกำไรที่ลดลง

ตัวแปรด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิต โดยมีตัวแปรสังเกต 5 ตัวแปร พบว่า ตัวแปรสังเกตที่มีค่าอิทธิพลมากที่สุดสองอันดับแรก ได้แก่ การปรับใช้คลาวด์คอมพิวเตอร์ และ เซนเซอร์สำหรับระบบควบคุมและจัดการจากระยะไกล (ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.80 และ 0.79 ตามลำดับ) การนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เข้ามาช่วยในการรับส่งข้อมูลและควบคุมการผลิตจากระยะทางไกล โดยเฉพาะ คลาวด์คอมพิวเตอร์ และเซนเซอร์ ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถมากขึ้น จึงส่งผลต่อกำไรที่เพิ่มขึ้นตาม

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเสียจากการผลิตหน้าต่างอลูมิเนียมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ดังนี้

1. ปรับใช้เรียลไทม์เซนเซอร์เทคโนโลยีในเครื่องจักร เพื่อสามารถส่งข้อมูลและควบคุมการผลิตจากส่วนกลาง ทำให้ลดการเดินหรือเคลื่อนย้ายโดยไม่จำเป็นรวมถึงลดการรอคอยของพนักงาน จึงส่งผลดีต่อพนักงานที่สามารถผลิตสินค้าได้เยอะขึ้น แต่ทำงานน้อยลง และยังช่วยให้พนักงานลดความเมื่อยล้า เนื่องจากระยะทางในการเดินลดลง นอกจากนี้ ได้ปรับการใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ควบคุมปริมาณการผลิตในเครื่องจักรและทุกขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่ขั้นตอนการกำหนดการผลิตรายวัน จนถึงขั้นตอนการบรรจุหีบห่อ

2. ติดตั้งเซนเซอร์เทคโนโลยีจำแนกสินค้าอัตโนมัติ ร่วมกับการปรับปรุงแผนผังการผลิตและแผนผังคลังสินค้า โดยการปรับใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ช่วยให้พนักงานมีข้อมูลปริมาณสินค้าโดยไม่จำเป็นต้องเสียเวลาเดินไปตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้าอีกรอบ จึงลดระยะทางลง นอกจากนี้ การเก็บข้อมูลปริมาณสินค้าแบบ Real Time ทำให้ง่ายต่อผู้ประกอบการธุรกิจในการกำหนดการผลิตรายวัน ขณะที่การปรับปรุงแผนผังการผลิตจะช่วยลดระยะทางในการเดินของพนักงาน และช่วยให้กระบวนการผลิตมีการไหลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ลดการรอคอยลงและรองรับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในอนาคต นอกจากนี้ การปรับปรุงแผนผังคลังสินค้า โดยปรับใช้เซนเซอร์ในแผนกบรรจุหีบห่อเป็นหลัก จะทำให้สามารถรองรับปริมาณสินค้าจากการผลิตที่มากขึ้น

3. ติดตั้งระบบ 5 จี (5G) เพื่อรองรับการส่งข้อมูลที่รวดเร็วของระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ โดยระบบ 5 จี จะช่วยให้การส่งข้อมูลมีความเสถียรมากขึ้นและมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากเป็นระบบ 5 จี แบบปิด ที่ใช้เพื่อสนับสนุนระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์โดยเฉพาะ

4. ปรับใช้ระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์กับส่วนกลางการผลิต เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและวางแผนการผลิต โดยระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ทำให้องค์กรธุรกิจสามารถลดค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ เช่น คอมพิวเตอร์ และช่วยในเรื่องระบบความปลอดภัย ทำให้ผู้ประกอบการธุรกิจสามารถวิเคราะห์ความต้องการของตลาดและลดต้นทุนในการผลิตลง โดยเฉพาะการจัดซื้อวัตถุดิบที่ตรงตามความต้องการใช้จริงหรือตอบสนองตรงตามความต้องการของตลาด ทำให้เพิ่มโอกาสในการขาย ขณะที่เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 สามารถรองรับการผลิตแบบยืดหยุ่น ทำให้ผู้ประกอบการธุรกิจสามารถสั่งการผลิตได้แบบ เร็วใหม่ตามความต้องการของลูกค้า

ผลจากการเสนอแนวทางข้างต้น สามารถนำมาปรับปรุงการดำเนินงานผลิตหน้าต่างออลูมิเนียม โดย พบว่า ผลการดำเนินงานดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลกำไรขั้นต้นในไตรมาสที่ 2 ปี 2565 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 25 และสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้มากถึง 1,400 ชุดต่อวัน (ฝ่ายบัญชี ธุรกิจผลิตหน้าต่างออลูมิเนียม, 2565)

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การนำโมเดลสมการโครงสร้างมาประยุกต์เพื่อปรับปรุงผลการดำเนินงานสอดคล้องกับ Agus and Hajinoor (2012) ที่ได้กล่าวถึง โมเดลสมการโครงสร้างสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานที่เกิดจากความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตได้ โดยพิจารณาจากโมเดลสมการโครงสร้างแบบจำลองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด โดยปัจจัยด้านความสูญเปล่ามีอิทธิพลในทิศทางตรงกันข้ามกับผลการดำเนินงาน หากมีความสูญเปล่ามากขึ้น ผลการดำเนินงานจะลดลง ขณะที่ปัจจัยด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน

ในทิศทางเดียวกัน หากมีการปรับใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรมมากขึ้น ผลการดำเนินงานจะเพิ่มสูงขึ้นตาม

นอกจากนี้ ผลการวิจัยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานจากปัจจัยด้านความสูญเปล่า และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เกี่ยวกับกระบวนการผลิตหน้าต่างออลูมิเนียม โดยวิเคราะห์ด้วยโมเดลสมการโครงสร้าง พบว่า ปัจจัยด้านความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรกฤษ ยั่งยืน และ ปณัฑพร เรืองเชิงชุม (2559) และ Arunagiri and Gnanavelbabu (2014) ที่กล่าวว่า ความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตส่งผลต่อผลการดำเนินงานเนื่องจากการรอคอยในกระบวนการผลิต โดยงานวิจัยครั้งนี้พบว่าพนักงานเสียเวลาในการรอคอยส่วนประกอบจากแผนกก่อนหน้า ทั้งนี้ ตัวแปรสังเกตที่มีอิทธิพลมากที่สุดสองอันดับแรก จากการสังเกตพบว่าสาเหตุมาจากพนักงานสถานีประกอบต้องรอชิ้นส่วนจากสถานีตัด ขณะที่สถานีตัดจำเป็นต้องส่งต่อชิ้นส่วนให้แก่สถานีประกอบหลายสถานีในช่วงเวลาเดียวกัน จึงไม่สามารถส่งชิ้นส่วนได้ทันเวลา ขณะที่การออกแบบแผนผังการผลิตไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการรอคอยขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อผลการดำเนินงานที่ต่ำ ดังจะเห็นจากผลกำไรที่ลดลง ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการปรับใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์เพื่อตรวจสอบปริมาณสินค้าอัตโนมัติ ร่วมกับการปรับปรุงแผนผังการผลิตและแผนผังคลังสินค้า เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากขึ้นโดยลดการรอคอยในการปฏิบัติงานของพนักงาน

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังพบว่า ความสูญเปล่ามีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุวรรณ พลภักดี (2564) ได้กล่าวว่า ความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ขึ้นอยู่กับวิธีการและขั้นตอนการผลิต โดยจะเกิดขึ้นเป็น

ลักษณะเฉพาะในแต่ละขั้นตอน งานวิจัยครั้งนี้ยังพบความสูญเสียจากพนักงานเสียเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้าโดยไม่จำเป็น จากการสังเกตพบว่าสาเหตุของการเคลื่อนย้ายโดยไม่จำเป็น เนื่องจากการวางแผนผังการผลิต และลำดับขั้นตอนที่ไม่เหมาะสมแก่การผลิต ทำให้การผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมาย จึงส่งผลกระทบต่อผลการดำเนินงานที่ลดลง ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการปรับใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ควบคุมปริมาณการผลิตในเครื่องจักร เพื่อสามารถส่งข้อมูลและควบคุมการผลิตจากส่วนกลาง จึงทำให้พนักงานไม่ต้องเคลื่อนย้ายสินค้าโดยไม่จำเป็น

ขณะที่ ผลการวิจัยนี้ยังพบว่า ปัจจัยด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมีอิทธิพลต่อผลดำเนินงานในกระบวนการผลิต สอดคล้องกับ อีริชาตี คงสมัย และ จุฑามาศ ทวีไพบูลย์วงศ์ (2564); Tortorella et al. (2019) ที่กล่าวถึง เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เป็นปัจจัยที่ใช้สำหรับปรับปรุงผลการดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรมให้เป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้นำเทคโนโลยี เช่น ระบบเซนเซอร์และระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ เข้ามาช่วยในการปรับปรุงการดำเนินงาน จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการลดความสูญเสียจากการผลิตหน้าต่าออลูมิเนียมรวมกับการใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 เพื่อให้มีผลการดำเนินงานที่ดีขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตและสามารถตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น โดย 1) ปรับใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ควบคุมปริมาณการผลิตในเครื่องจักรเพื่อสามารถส่งข้อมูลและควบคุมการผลิตจากส่วนกลาง 2) ปรับใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์เพื่อตรวจสอบปริมาณสินค้าอัตโนมัติร่วมกับ การปรับปรุงแผนผังการผลิตและแผนผังคลังสินค้า 3) ติดตั้งระบบ 5 จี (5G) เพื่อรองรับการส่งข้อมูลของระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ 4) ปรับใช้ระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์กับส่วนกลางการผลิต เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

และวางแผนการผลิต จากแนวทางการปรับปรุงที่ได้เสนอมา ทำให้ปริมาณการผลิตเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 1,400 ชิ้นต่อวัน ส่งผลต่อผลการดำเนินงานเพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลกำไรขั้นต้นเพิ่มจากร้อยละ 16 ในไตรมาสที่ 1 ปี 2565 เป็น ร้อยละ 25 ในไตรมาสที่ 2 ปี 2565 ดังนั้นการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตด้วยการปรับใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ส่งผลให้การดำเนินงานเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของผลกำไร (Mourtzis, 2022; Müller et al., 2018; Schütze et al., 2018)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ผู้ปฏิบัติงานฝ่ายบริหาร ควรกำหนดนโยบายในการปรับปรุงการดำเนินงานที่ชัดเจน เช่น ระบุหน้าที่ของผู้รับผิดชอบให้ชัดเจน หรือกำหนดตำแหน่งหน้าที่สำหรับศึกษาความสูญเสียจากการผลิตโดยเฉพาะ เพื่อให้การศึกษาความสูญเสียและการปรับปรุงการดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังเช่น การจ้างบุคคลภายนอกเข้ามาศึกษาและปรับปรุงโดยเฉพาะ
2. วิศวกรผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกำหนดแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานในครั้งนี้ ควรติดตามผลและขยายผลต่อไป เพื่อให้แผนปฏิบัติงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
3. ผู้ปฏิบัติงานฝ่ายบริหาร ควรวางแผนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตให้เป็นอุตสาหกรรม 4.0 มากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาด แต่อาจจะคำนึงถึงความเหมาะสมของการเปลี่ยนแปลงประกอบการพิจารณา
4. ผู้ปฏิบัติงานฝ่ายบริหาร ควรวางแผนลดความสูญเสียจากการผลิตร่วมกับการให้ผู้ปฏิบัติงานในแผนกต่าง ๆ มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น เพื่อมุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายการทำงานเป็นทีม และช่วยให้สภาพแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น

5. การนำแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงาน ด้วยการลดความสูญเปล่าไปปรับใช้กับกระบวนการอื่น ควรคำนึงถึงความเหมาะสมของกระบวนการ ก่อนที่จะทำการปรับปรุงต่อไป

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

1. การจัดเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม ควรพิจารณาวิธีการเก็บข้อมูลให้เหมาะสมกับสถานการณ์ และกลุ่มตัวอย่าง ดังเช่น หากกลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลที่ใช้สมาร์ตโฟน สามารถเลือกใช้วิธีการเก็บข้อมูลออนไลน์แทน เพื่อความสะดวกและรวดเร็วของผู้ให้ข้อมูล

2. การจัดทำแบบสอบถาม ควรพิจารณาถึงข้อคำถามที่เข้าใจได้ง่ายที่สุด และควรมีคำอธิบายหรือความหมายสำหรับคำศัพท์เฉพาะ เพื่อไม่ให้เกิดข้อสงสัยหรือความคลุมเครือในการตอบแบบสอบถาม

3. ควรศึกษาการลดความสูญเปล่าจากการผลิตอื่น ๆ ในประเด็นเดียวกับการผลิตประตูลูมิเนียม และควรเพิ่มประเด็นการลดความสูญเปล่าที่เกิดจากความล่าช้า โดยเฉพาะการรอจัดส่งสินค้า เพื่อให้ครอบคลุมกระบวนการทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการเผยแพร่ผลงาน จากวิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น ประจำปี 2565

เอกสารอ้างอิง

จักรกฤษ ยั่งยืน และปณัฏพร เรืองเชิงชุม. (2559). การลดความสูญเปล่าในกระบวนการเชื่อม ประกอบรถเข็นด้วยแนวคิดลีนของบริษัท ดี-พัฒนะมงคล จำกัด จังหวัดระยอง. *วารสารเกษตรศาสตร์ธุรกิจประยุกต์*, 10(12), 1-18.
ธีรชาติ คงสมัย และ จุฑามาศ ทวีไพบูลย์วงศ์. (2564). มุมมองของพนักงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เขตเศรษฐกิจพิเศษ ภาคตะวันออก

ด้านความพร้อมของบริษัทในการเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0. *วารสารบริหารศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 10(1), 1-22.

ฝ่ายบัญชี ธุรกิจผลิตหน้าต่างอลูมิเนียม. (2565).

ข้อมูลการผลิตและรายงานงบกำไรขาดทุน.

ขอนแก่น:บริษัท ทรัพย์ทวีอิเล็กทรอนิกส์.

พุฒิชัย ล้นคำ. (2564, 25 มิถุนายน). *แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: ธุรกิจก่อสร้าง*.
<https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Construction-Construction-Materials/Construction-Materials/IO/io-construction-materials-21>

สุวรรณา พลภักดี. (2564). การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด. *Ladkrabang Engineering Journal*, 38(3), 77-90.

Agus, A., & Hajinoor, M. S. (2012). Lean production supply chain management as driver towards enhancing product quality and business performance: Case study of manufacturing companies in Malaysia. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29(1), 92-121.

Arunagiri, P., & Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of major lean production waste in automobile industries using weighted average method. *Procedia Engineering*, 97, 2167-2175.

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.

- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924-2940.
- Chiarini, A., & Kumar, M. (2021). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: Evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 32(13), 1084-1101.
- Chiarini, A., Baccarani, C., & Mascherpa, V. (2018). Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *The TQM Journal*, 30(4), 425-438.
- Cronbach, L. J. (2004). My current thoughts on coefficient alpha and successor procedures. *Educational and Psychological Measurement*, 64(3), 391-418.
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & lean production systems: A use cases analysis. *Procedia Manufacturing*, 11, 1061-1068.
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [industry forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56-58.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633-644.
- Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D. D., & Tortorella, G. L. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management?. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(4), 255-268.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
- Frank, A. G., Mendes, G. H. S., Ayala, N. F., & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 Convergence in the Digital Transformation of Product Firms: A Business Model Innovation Perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341-351.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The industrial internet of things*. Springer: Heidelberg.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. (2006). *Multivariate data analysis (6th ed.)*. Uppersaddle River, NewJersey: Pearson Education International, Inc.
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1-55.
- Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Özdemir, D., & Eschert, T. (2017). *Industrial internet of things and cyber manufacturing*

- systems*, in Jeschke, S., Brecher, C., Song, H. and Rawat, D. B. (Eds), *Industrial Internet of Things*. Springer: Heidelberg (pp. 3-19).
- Khanchanapong, T., Prajogo, D., Sohal, A. S., Cooper, B. K., Yeung, A. C., & Cheng, T. C. E. (2014). The unique and complementary effects of manufacturing technologies and lean practices on manufacturing operational performance. *International Journal of Production Economics*, 153, 191-203.
- Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling* (4thed.). New York: Guilford Press.
- Kolberg, D., Knobloch, J., & Zühlke, D. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845-2856.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Meredith, J. R., & Shafer, S. M. (2013). *Operation management*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Mourtzis, D. (2022). Introduction to cloud technology and Industry 4.0. In *Design and Operation of Production Networks for Mass Personalization in the Era of Cloud Technology* (pp. 1-12). Elsevier: Amsterdam, Netherlands.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards lean production in industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, 466-473.
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 2-17.
- Riezebos, J., Klingenberg, W., & Hicks, C. (2009). Lean production and information technology: Connection or contradiction?. *Computers in Industry*, 60(4), 237-247.
- Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. L., & Portioli-Staudacher, A. (2019). The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9), 3963-3976.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811-833.

- Schumacker, R. E., & Lomax, R. G. (2004). *A beginner's guide to structural equation modeling*. New York: Psychology Press.
- Schütze, A., Helwig, N., & Schneider, T. (2018). Sensors 4.0—smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. *Journal of Sensors and Sensor systems*, 7(1), 359-371.
- Shahin, M., Chen, F. F., Bouzary, H., & Krishnaiyer, K. (2020). Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(5), 2927-2936.
- Siguaw, J. A., & Diamantopoulos, A. (2000). Introducing Lisrel: A guide for the uninitiated. *Introducing LISREL*, 1-192.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Experimental designs using ANOVA* (pp. 724). Belmont, CA: Duxbury Press.
- Taherdoost, H. (2019). What is the best response scale for survey and questionnaire design; review of different lengths of rating scale/attitude scale/Likert scale. *International Journal of Academic Research in Management*, 8(1), 1-10.
- Taj, S., & Morosan, C. (2011). The impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(2), 223-240.
- Thoben, K. D., Wiesner, S., & Wuest, T. (2017). “Industrie 4.0” and smart manufacturing—a review of research issues and application examples. *International Journal of Automation Technology*, 11(1), 4-16.
- Tortorella, G. L., Giglio, R., & Van Dun, D. H. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(6/7/8), 860-866.
- Tortorella, G. L., Miorando, R., Caiado, R., Nascimento, D., & Portioli Staudacher, A. (2018). “The mediating effect of employees’ involvement on the relationship between Industry 4.0 and operational performance improvement”, *Total Quality Management & Business Excellence*. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1532789>
- Wan, J., Cai, H., & Zhou, K. (2015, January). Industrie 4.0: enabling technologies. *In Proceedings of 2015 international conference on intelligent computing and internet of things* (pp.135-140). <https://doi.org/10.1109/ICAIOT.2015.7111555>
- 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), 1-10.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
- Zuehlke, D. (2010). SmartFactory—Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 34(1), 129-138.