



## รูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อพัฒนาสู่โรงงานอัจฉริยะ Pattern of Big Data Application for Development to Smart Factory

ชินภัทร อิงคะประดิษฐ์\* และสิริชัย ดีเลิศ

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เลขที่ 80 ถนนป๊อปปูล่า ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด นนทบุรี 11120

Chinnaphat Ingkapatit and Sirichai Deelters

Faculty of Management Science, Silpakorn University

80 Popular Road, Banmai, Pakkret, Nonthaburi 11120

Email : chinnaphat@ms.su.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการประยุกต์ ผลลัพธ์ และปัจจัยความสำเร็จของการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่จากโรงงานที่ดำเนินการพัฒนาเป็นโรงงานอัจฉริยะในประเทศไทย เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพใช้วิธีวิทยาแบบกรณีศึกษา ผู้ให้ข้อมูลหลักคือโรงงานที่มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่จำนวน 4 แห่ง ผลการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในโรงงานผลิตมี 7 รูปแบบ ได้แก่ การติดตามกระบวนการ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ การปรับปรุงคุณภาพ การบำรุงรักษาเชิงทรัพยากร การติดตามวัตถุดิบ การจัดการพลังงาน และการจัดการการตอบรับลูกค้า ผลการประยุกต์ข้อมูลขนาดใหญ่นำไปสู่การปรับปรุงตัวชี้วัดประสิทธิภาพโรงงาน 3 ด้าน ด้านต้นทุน ได้แก่ ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร การลดความสูญเสีย ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ด้านคุณภาพ ได้แก่ อัตราของเสียในกระบวนการ และข้อร้องเรียนของลูกค้า ด้านเวลา คือ อัตราการส่งมอบตรงเวลา ปัจจัยที่สนับสนุนความสำเร็จการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ ได้แก่ ปัจจัยมุ่งเน้นด้านองค์กร ด้านระบบ ด้านทรัพยากร และด้านข้อมูล ซึ่งเน้นการพัฒนาข้อมูลขนาดใหญ่กับกระบวนการคอกวดที่มีความจำเป็นต้องปรับปรุงความสามารถการผลิต

**คำสำคัญ :** ข้อมูลขนาดใหญ่ โรงงานอัจฉริยะ อุตสาหกรรม 4.0 การพัฒนา ปัจจัยความสำเร็จ

### Abstract

An objective of this research is to study big data applications, results and success factors from manufacturers that being developed to smart factory in Thailand. This is qualitative research with case study research method. The key informants are 4-manufacturers

14 กันยายน 2563/ 23 ธันวาคม 2563/ 7 พฤษภาคม 2564

14 September 2020/ 23 December 2020/ 7 May 2021



that applied big data. The finding reveals 7 categories of big data application such as process monitoring, parameter optimization, quality improvement, predictive maintenance, material tracking, energy management and employee tracking. Big data results in improvement of performance matrix in 3-categories: cost such as overall equipment efficiency, loss reduction and energy efficiency, quality such as defect rate and customer complaint and time for on-time delivery rate. Success factors of big data are organization-oriented factor, system-oriented factor, resource-oriented factor and data-oriented factor which big data development is focused on bottleneck processes that required to improve their performance.

**Keywords :** Big Data, Smart Factory, Industrial 4.0, Development, Success Factor

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจโดยอุตสาหกรรมหนักและการส่งออกเป็นหลัก ส่งผลให้รายได้ของประเทศไทยในภาวะกับดักประเทศรายได้ปานกลาง (Middle Income Trap) จึงต้องเร่งพัฒนาเศรษฐกิจเพื่อไปสู่ประเทศที่มีรายได้สูง โดยใช้นโยบายประเทศไทย 4.0 (Thailand 4.0) ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม (Value-based Economy) (สุรัชพงศ์ สิกขบัณฑิต, 2560) เน้นการใช้เทคโนโลยี นวัตกรรมและความคิดสร้างสรรค์เข้ามาช่วยพัฒนา เช่น การสร้างเกษตรกรปราดเปรื่อง (Smart Farmer) โดยการเปลี่ยนภาคการเกษตรดั้งเดิมไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ การเปลี่ยนวิสาหกิจขนาดย่อมขนาดกลาง (Small Medium Enterprise) เป็นวิสาหกิจอัจฉริยะ (Smart Enterprise) การเปลี่ยนบริการแบบดั้งเดิมไปเป็นบริการที่มีคุณค่าสูง (High Value Service) (วิชาญ ทราญอ่อน, 2559)

ด้านอุตสาหกรรมไทยมีขนาดหนึ่งในสามของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ มีการจ้างงานหนึ่งในสี่ของจำนวนแรงงาน และมูลค่าการส่งออกมากกว่าร้อยละ 80 ของการส่งออกรวม อย่างไรก็ตามการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมไทยตั้งแต่ปี 2554 อยู่ที่ร้อยละ 1 ต่อปี น้อยกว่าประเทศอื่นในภูมิภาค จึงต้องการอุตสาหกรรมใหม่เพื่อเพิ่มศักยภาพ (ชุดิภา เกียรติเรืองไกร และคณะ, 2563) สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยได้คัดเลือก 6 กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีศักยภาพ สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาประเทศ ได้แก่ ชิ้นส่วนยานยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องจักรกลการเกษตร อาหารแปรรูป เครื่องจักรกล และปิโตรเคมี มีความจำเป็นในการยกระดับอุตสาหกรรมสู่ยุค 4.0 เพื่อต่อยอดสู่อุตสาหกรรมเป้าหมายใหม่ (S-Curve) ด้วยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยบริหารการผลิต (คณะกรรมการอุตสาหกรรม 4.0, 2559)

ตั้งแต่เริ่มการปฏิวัติอุตสาหกรรม สามารถแบ่งยุคอุตสาหกรรมได้ดังนี้ อุตสาหกรรมยุค 1.0 คือ ยุคการผลิตด้วยเครื่องจักรกลไอน้ำทุนแรงงานคนและสัตว์ อุตสาหกรรมยุค 2.0 คือ ยุคการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและ



พลังงานไฟฟ้าทดแทนเครื่องจักรกลไอน้ำเพื่อผลิตสินค้าเร็วขึ้น เกิดการผลิตแบบเน้นปริมาณ (Mass Production) อุตสาหกรรมยุค 3.0 คือ ยุคการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์ในกระบวนการผลิตที่ทำงานซ้ำกัน ทดแทนแรงงานมนุษย์ อุตสาหกรรมยุค 4.0 คือ การนำเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ามาเชื่อมโยงข้อมูลการผลิตจากเครื่องจักร และใช้เทคโนโลยีดิจิทัลควบคุมการ ทำให้สามารถสื่อสารข้อมูลกันระหว่างเครื่องจักร (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2558) มีเป้าหมายในการสร้างเครือข่ายสินค้าและบริการ ตั้งแต่การผลิต ร้านค้า ระบบการขนส่งไว้ด้วยกัน เพื่อผลิตสินค้าตามความต้องการของผู้บริโภคในปริมาณมาก (Customized Mass Production) (สำนักงานที่ปรึกษาด้านอุตสาหกรรม, 2558)

การพัฒนาสู่อุตสาหกรรม 4.0 อาศัยเทคโนโลยีในการทำงานได้แก่ ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data), อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) ระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-Physical System) การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud Computing) และการทำงานร่วมกัน (Interoperability) (Haseeb และคณะ, 2019) โรงงานผลิตในยุคอุตสาหกรรม 4.0 เรียกว่า โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) คือ โรงงานที่มีการพัฒนาทางข้อมูลแบบใหม่ เรียกว่า ข้อมูลอัจฉริยะ (Smart Data) อุปกรณ์และเครื่องจักรการผลิตเชื่อมต่อสู่ระบบเครือข่าย เน้นการผลิตตามความต้องการของลูกค้าเฉพาะราย สินค้าเป็นผลิตภัณฑ์อัจฉริยะ (Smart Product) ใช้พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายอัจฉริยะ (Smart Grid) ดังนั้นข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) จึงเป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ถูกนำมาใช้ในการจัดการข้อมูล (Stock และ Seliger, 2016) ช่วยการติดตามและปรับปรุงกระบวนการ การลดต้นทุน และการวิเคราะห์กระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางธุรกิจ (Gunasekaran, 2017)

จากการประเมินศักยภาพอุตสาหกรรมภาคการผลิต จำนวน 1,500 โรงงาน การค้าและบริการ โดยสถาบันวิจัย พัฒนาและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมยุค 1.0 ถึง 3.0 มีสัดส่วนร้อยละ 98 และโรงงานอัจฉริยะในอุตสาหกรรมยุค 4.0 มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 2 อุปสรรคในการขับเคลื่อนสู่โรงงานอัจฉริยะที่สำคัญ คือ การขาดตัวอย่างด้านการประยุกต์ใช้ขององค์กรที่ประสบความสำเร็จ (สุพันธุ์ มงคลสุธี, 2561) ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาประเด็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญ เพื่อเป็นแนวทางในการขับเคลื่อนโรงงานอัจฉริยะ ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษารูปแบบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่ขององค์กรที่ประสบความสำเร็จในประเทศไทย เพื่อหาโมเดลปัจจัยสู่ความสำเร็จการพัฒนาข้อมูลขนาดใหญ่ เป็นต้นแบบในการพัฒนาสู่โรงงานอัจฉริยะต่อไป

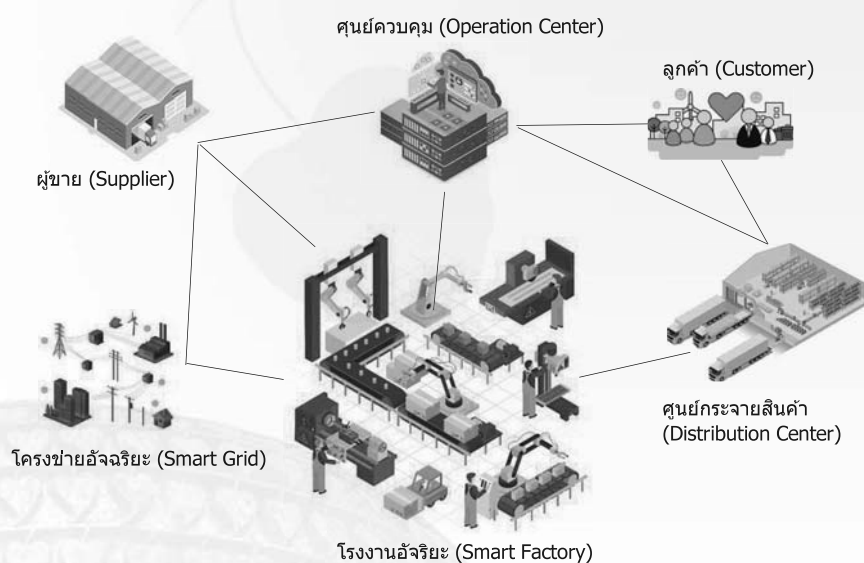
#### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ของโรงงานอัจฉริยะในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาผลการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ต่อประสิทธิภาพโรงงานอัจฉริยะ
3. เพื่อศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ของโรงงานอัจฉริยะ

## ทบทวนวรรณกรรม

### โรงงานอัจฉริยะ

โรงงานอัจฉริยะเป็นวิวัฒนาการด้านข้อมูลของโรงงานที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเข้ากับระบบเครือข่ายเพื่อปฏิบัติงาน ข้อมูลการสั่งซื้อสามารถส่งตรงมายังโรงงาน ณ เวลาจริง (Real Time) ส่งผลให้สามารถส่งวัตถุดิบจากผู้ขายและเริ่มการผลิตทันที เครื่องจักรสามารถปรับเปลี่ยนอย่างรวดเร็วตามลักษณะสินค้าจากความต้องการของลูกค้าเฉพาะราย การพัฒนาระบบติดตามการผลิตและสถานะของเครื่องจักรผ่านศูนย์ควบคุมเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กระบวนการผลิต (สถาบันไทย-เยอรมัน, 2562)



ภาพที่ 1 โรงงานอัจฉริยะ

ที่มา : สถาบันไทย-เยอรมัน. (2562). คู่มือการพัฒนาโรงงานอุตสาหกรรมสู่ความเป็นโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory). กรุงเทพฯ: TGI Thai-German Institute : 1-3

เทคโนโลยีที่สำคัญในโรงงานอัจฉริยะ ได้แก่ การวิเคราะห์ขนาดใหญ่ (Big Data Analytics) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมหาศาลที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หุ่นยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Robots) ที่มีความฉลาดสามารถปรับสภาพการทำงานด้วยตนเอง การประมวลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud Computing) คือการใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ผ่านผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) คือการติดตั้งเซ็นเซอร์ให้กับอุปกรณ์เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านทางเครือข่าย (บัญชา ธนบุญสมบัติ, 2560)

### ตัวชี้วัดประสิทธิภาพโรงงานอุตสาหกรรม

ตัวชี้วัดการดำเนินงานทางธุรกิจนิยมใช้การวัดผลทางดุลยภาพ (Balance Scorecard) ได้แก่ มุมมองด้านการเงิน ด้านการเรียนรู้ ด้านลูกค้า และด้านกระบวนการภายใน อย่างไรก็ตามการวัดผลทางดุลยภาพเป็นผลรวมที่มีส่วนขึ้นกับปัจจัยภายนอก ทำให้ไม่สามารถประเมินความสามารถของโรงงานโดยตรง การวัด



ประสิทธิภาพโรงงานอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Performance Metric) ของโรงงานอุตสาหกรรม (Neely และคณะ, 2005) ที่กล่าวถึงขีดความสามารถของบริษัทด้านการผลิต 4 ด้าน ดังนี้

1. ด้านต้นทุน (Cost) ได้แก่ ต้นทุนการผลิต (Manufacturing Cost) คือ ค่าใช้จ่ายปัจจัยการผลิตที่ใช้ในกระบวนการผลิต ราคาขาย (Selling Price) คือ ราคาสินค้าที่จำหน่าย การสูญเสีย (Loss) หมายถึง การสูญเสียทรัพยากรในกระบวนการผลิต ผลผลิต (Yield) คือ จำนวนผลผลิตที่ได้ต่อร้อยละหน่วย ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Efficiency) คือ ประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรในการผลิต
2. ด้านคุณภาพ (Quality) ได้แก่ ประสิทธิภาพ (Performance) คือ สมรรถนะผลิตภัณฑ์ เช่น ความเร็ว การใช้พลังงาน ความเชื่อถือ (Reliability) คือ โอกาสที่สินค้าจะทำงานได้โดยไม่เสื่อมในระยะเวลาที่กำหนด อัตราของเสีย (Defect Rate) คือ อัตราที่ของเสียออกจากกระบวนการผลิตส่งถึงลูกค้า การร้องเรียนของลูกค้า (Customer Complaint) คือ จำนวนข้อร้องเรียนถึงความไม่พอใจของลูกค้าต่อสินค้าหรือบริการ
3. ด้านเวลา (Time) ได้แก่ ระยะเวลาการผลิต (Manufacturing Lead Time) คือ ระยะเวลาที่โรงงานใช้ในการผลิต ระยะเวลาการจัดส่ง (Delivery Lead Time) คือ ระยะเวลาในการขนส่งสินค้า อัตราการจัดส่งสินค้าตรงเวลา (On-time Delivery Rate) คือ ร้อยละสินค้าที่จัดส่งถึงลูกค้าตามเวลาที่นัดหมาย
4. ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product) คือ สินค้าแบบใหม่ที่ใช้รูปแบบการผลิตแตกต่างจากเดิม ผลิตภัณฑ์แก้ไข (Modify Product) คือ สินค้าที่พัฒนาเปลี่ยนแปลงมาจากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีขายในตลาด ปริมาณการผลิตผันแปร (Volume Variance) คือ ผลต่างปริมาณการผลิตจริงต่อแผนการผลิต ส่วนผสมผลิตภัณฑ์ (Product Mix) คือ จำนวนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของกิจการที่มีอยู่

ตารางที่ 1 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพโรงงานอุตสาหกรรม

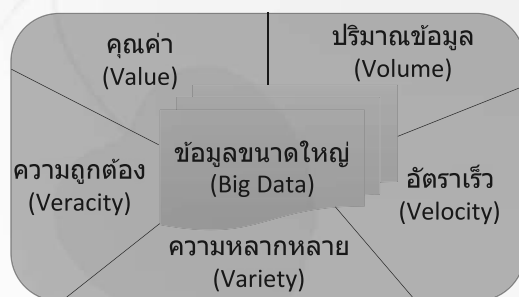
| ด้านต้นทุน (Cost) | ด้านคุณภาพ Quality)   | ด้านเวลา (Time)      | ความยืดหยุ่น (Flexibility) |
|-------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| ต้นทุนการผลิต     | ประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์  | ระยะเวลาการผลิต      | ผลิตภัณฑ์ใหม่              |
| ราคาขาย           | ความเชื่อถือ          | ระยะเวลาการจัดส่ง    | ผลิตภัณฑ์แก้ไข             |
| ผลผลิต            | ความทนทาน             | อัตราการจัดส่งสินค้า | ปริมาณการผลิตผันแปร        |
| ประสิทธิภาพโดยรวม | อัตราของเสีย          | ตรงเวลา              | ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์        |
| ของเครื่องจักร    | การร้องเรียนของลูกค้า |                      |                            |

ที่มา : Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (2005). Performance measurement system design. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12) : 1228-1263.

#### ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data)

เทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่หมายถึงเทคโนโลยีและสถาปัตยกรรมใหม่ที่ออกแบบให้ดึงคุณค่า (Value) จากข้อมูลที่หลากหลาย (Variety) และมีขนาดใหญ่ (Large volume) โดยค้นหาและวิเคราะห์ข้อมูลด้วย

ความเร็วสูง (High velocity) ลักษณะของข้อมูลขนาดใหญ่ 5 อย่าง ได้แก่ 1) ปริมาณข้อมูล (Volume) คือ ขนาดข้อมูลที่ตั้งแต่ขนาดเมกะไบต์ (Megabytes) จนถึงขนาดเอกซะไบต์ (Exabytes) 2) อัตราเร็ว (Velocity) คือ ความเร็วที่ข้อมูลเกิดขึ้นและส่งข้อมูลมาถึงผู้ใช้ เน้นการเข้าถึงข้อมูล ณ เวลาจริง (Real-time) 3) ความหลากหลาย (Variety) คือประเภทข้อมูลที่รูปแบบแตกต่างกันจากต้นกำเนิด (Source) ที่แตกต่างกัน 4) ความถูกต้อง (Veracity) คือ ความเชื่อมั่นของข้อมูล เมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นอาจเกิดความผิดพลาดที่มีผลต่อความเชื่อมั่น (Trustworthiness) ในข้อมูล 5) คุณค่า (Value) คือ การพิจารณาความจำเป็นของข้อมูลขนาดใหญ่ในการวิเคราะห์โดยอาศัยมุมมองด้านต้นทุน (Cost) เป็นหลัก (Narasimhan และ Bhuvaneshwari, 2014)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบข้อมูลขนาดใหญ่

ที่มา : Narasimhan, R., & Bhuvaneshwari, T. (2014). Big Data – A Brief Study. International Journal of Scientific & Engineering Research, 5 (90) : 1-2

#### การประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อมูลขนาดใหญ่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตในหลายด้านโดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยการวิเคราะห์ที่แม่นยำและสนับสนุนการตัดสินใจ รูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ ได้แก่

1. การติดตามกระบวนการ (Process Monitoring) กระบวนการผลิตประกอบด้วยหลายปัจจัย มีตัวแปร (Parameter) มากมายที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพผลิตภัณฑ์ ตัวแปรในกระบวนการผลิตจากเครื่องจักรจะถูกรวบรวมหรือติดตามผ่านเซ็นเซอร์และอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Mourtzis และคณะ, 2016) ณ เวลาจริง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อป้องกันความผิดปกติ (Yu-Chien และ Fujita, 2019)
2. การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ (Parameter Optimization) โดยนำค่าตัวแปรการผลิตที่เก็บรวบรวมไว้มาทำการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มผลิตผล (Yield) และลดของเสีย (Auschwitzky และคณะ, 2014) รวมถึงการลดรอบเวลา (Cycle time) การผลิตโดยการวิเคราะห์หาจุดที่เป็นคอขวด (Bottleneck) ของกระบวนการ (Dhawan และคณะ, 2014)
3. การติดตามวัตถุดิบ (Material Tracking) คือการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น อาร์เอฟไอดี (RFID) ในการติดตามวัตถุดิบ เพื่อตรวจสอบปริมาณวัตถุดิบว่ามีเพียงพอในการผลิต และการติดตามคุณภาพวัตถุดิบว่ามีปัญหาที่ส่งผลให้เกิดสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการผลิตเพื่อทำการแก้ไข (Tao และคณะ, 2018: 164)



4. การจัดการพลังงาน (Energy Management) คือการเก็บค่าการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และนำมาสร้างอนุกรมการใช้พลังงานเชิงเวลา (Time-consuming Series) เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน รายวัน รายเดือน หรือรายปีและสร้างโมเดลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Tao และคณะ, 2018: 167)

5. การวางแผนการดำเนินงาน (Operation Planning) โดยการสร้างโมเดลเพื่อคำนวณจำนวนการผลิต (Lot Size) และตัดสินใจในการคัดเลือกผู้ขาย (Supplier) ที่เหมาะสม (Lamba และคณะ, 2019) การรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำแบบจำลองการบริหารการผลิต ช่วยตัดสินใจการผลิตและตอบสนองความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน หลากหลายและไม่แน่นอนในยุคปัจจุบัน (Kozjek และคณะ, 2018)

6. การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement) ได้แก่ การรวบรวมข้อมูลข้อร้องเรียนจากลูกค้า และนำไปวิเคราะห์รูปแบบของปัญหาเพื่อหาทางแก้ไขกระบวนการผลิตหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อลดค่าเสียหายจากปัญหาของสินค้าในระยะเวลาที่รับประกัน (Alkahtani และคณะ, 2019)

7. การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) คือการทำนายหรือคาดการณ์อายุการใช้งานคงเหลือของเครื่องจักร อุปกรณ์ โดยการเก็บข้อมูลสถานะ (Health State) ของอุปกรณ์ และนำไปวิเคราะห์รูปแบบที่จะเกิดปัญหาและหาอายุการใช้งานเครื่องจักรจากข้อมูลที่ได้ ทั้งนี้เพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ และลดต้นทุนการผลิตทางอ้อม (Kumar และคณะ, 2019)

ตารางที่ 2 รูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากการวิจัย

| รูปแบบการประยุกต์  | การประยุกต์ใช้ในงานวิจัย  |                          |                        |                   |                      |                     | ความถี่                 |                     |                     |                        |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
|                    | การติดตามกระบวนการ        | ✓                        | ✓                      |                   |                      | ✓                   | 3                       |                     |                     |                        |
|                    | การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ | ✓                        | ✓                      |                   |                      |                     | 2                       |                     |                     |                        |
|                    | การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์   |                          |                        | ✓                 |                      | ✓                   | 3                       |                     |                     |                        |
|                    | การติดตามวัตถุดิบ         |                          |                        | ✓                 |                      |                     | 1                       |                     |                     |                        |
|                    | การจัดการพลังงาน          |                          |                        | ✓                 |                      |                     | 1                       |                     |                     |                        |
|                    | การวางแผนการดำเนินงาน     |                          |                        | ✓                 | ✓                    |                     | 2                       |                     |                     |                        |
|                    | การปรับปรุงคุณภาพ         |                          |                        |                   |                      | ✓                   | 1                       |                     |                     |                        |
| ผู้วิจัย (Authors) | Dhawan และคณะ (2014)      | Auschitzky และคณะ (2014) | Mourtzis และคณะ (2016) | Tao และคณะ (2018) | Kozjek และคณะ (2018) | Lamba และคณะ (2019) | Alkahtani และคณะ (2019) | Kumar และคณะ (2019) | Yu-Chien และ Fujita | ความถี่รวม (Frequency) |



### ผลลัพธ์การประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลและการตัดสินใจมีความถูกต้อง รวดเร็ว กระบวนการผลิตจึงมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพได้รับการปรับปรุงใน 4 ด้าน ได้แก่

1. ผลลัพธ์ด้านต้นทุน (Cost) การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่วิเคราะห์เชิงสถิติขั้นสูงเพื่อพิจารณาตัวแปรการผลิตที่มีผลต่อผลผลิต (Yield) และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิต (Auschitzky และคณะ, 2014) และการวิเคราะห์ข้อมูลราคาวัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพเศรษฐกิจ เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบโดยการจัดซื้อในช่วงเวลาที่เหมาะสม (Dhawan และคณะ, 2014)
2. ผลลัพธ์ด้านคุณภาพ (Quality) การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่เก็บข้อมูลกระบวนการและสร้างโมเดลหาข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ เพื่อแก้ไขได้ทันเวลาที่ (Yu-Chien และ Fujita, 2019) นอกจากนี้มีการเก็บข้อมูลข้อร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหาของผลิตภัณฑ์จากลูกค้า เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแก้ไขปัญหา นำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการและลดข้อร้องเรียน (Alkahtani และคณะ, 2019)
3. ผลลัพธ์ด้านเวลา (Time) การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ร่วมกับหลักการบริหารจัดการแบบลีน (Lean) เพื่อหาจุดคอขวดในกระบวนการ และนำมาปรับปรุงเพื่อลดเวลาการผลิต (Dhawan และคณะ, 2014) รวมถึงการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่วิเคราะห์ความต้องการลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไป และจัดสรรกำลังการผลิตเมื่อความต้องการเพิ่มขึ้น เพื่อลดเวลาในการตอบสนองคำสั่งซื้อ (Wantao และคณะ, 2018)
4. ผลลัพธ์ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่เป็นเครื่องมือจัดการกระบวนการผลิตที่ต้องการความคล่องตัวสูง (Agile) ใช้การวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานทั้งด้านผู้ซื้อ ผู้ขาย และลูกค้า เพื่อให้เกิดการผลิตแบบอัตโนมัติที่มีความฉลาด (Intelligent Automation) สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดและลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว (Gunasekaran และคณะ, 2017)

### ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากการวิจัย

| ผลลัพธ์ข้อมูลขนาดใหญ่ | ผลลัพธ์ในงานวิจัย    |                          |                           |                      |                            |                         | ความถี่                |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| ด้านต้นทุน            | ✓                    | ✓                        |                           |                      |                            |                         | 2                      |
| ด้านเวลา              | ✓                    |                          |                           | ✓                    |                            |                         | 2                      |
| ด้านคุณภาพ            |                      |                          |                           |                      | ✓                          | ✓                       | 2                      |
| ความยืดหยุ่น          |                      |                          | ✓                         |                      |                            |                         | 1                      |
| ผู้วิจัย (Authors)    | Dhawan และคณะ (2014) | Auschitzky และคณะ (2014) | Gunasekaran และคณะ (2017) | Wantao และคณะ (2018) | Yu-Chien และ Fujita (2019) | Alkahtani และคณะ (2019) | ความถี่รวม (Frequency) |

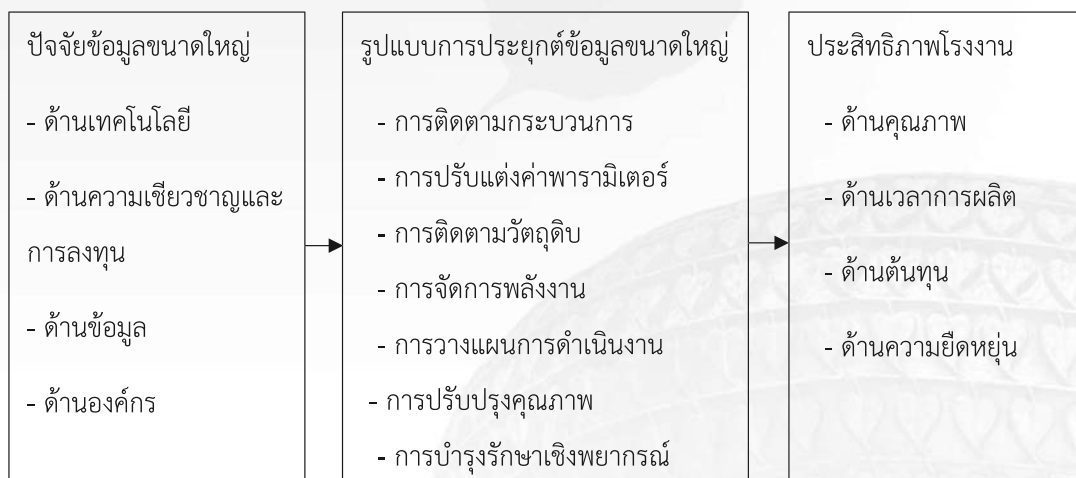


### ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาโครงการข้อมูลขนาดใหญ่

จากการศึกษา พบอุปสรรคของการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ ดังนี้ (Moktadira และคณะ, 2019)

1. อุปสรรคด้านเทคโนโลยี (Technology-related barrier) ได้แก่ การขาดโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยี (Technology Infrastructure) การขาดเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูล (Big Data Analytic Tool)
2. อุปสรรคด้านความเชี่ยวชาญและการลงทุน (Expertise- and Investment-related barrier) ได้แก่ การขาดบุคลากรทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ความต้องการงบประมาณที่สูง การขาดแหล่งเงินทุน
3. อุปสรรคด้านข้อมูล (Data-related barrier) ได้แก่ ความซับซ้อนในการเชื่อมโยงข้อมูล คุณภาพของข้อมูล ความปลอดภัยของข้อมูล
4. อุปสรรคด้านองค์กร (Organization-related barrier) ได้แก่ การขาดการแบ่งปันข้อมูลระหว่างองค์กร การมีทรัพยากรบุคคลและเวลาในการทำงานไม่เพียงพอ และการขาดเครื่องมือในการฝึกอบรม

### กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดการวิจัย

### วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการกรณีศึกษา (Case Study) ศึกษาแบบการประยุกต์ข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการคัดเลือกโรงงานแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 4 แห่ง ในกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมาย ได้แก่ อาหารแปรรูป ชิ้นส่วนยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ และปิโตรเคมี เป็นบริษัทสัญชาติไทยชั้นนำที่มีรายได้ 5 อันดับแรกของอุตสาหกรรมในประเทศ จำนวน 2 แห่ง และบริษัทข้ามชาติชั้นนำที่มีรายได้ 10 อันดับแรกของอุตสาหกรรมโลก จำนวน 2 แห่ง โรงงานมีประสบการณ์การผลิตมากกว่า 10 ปี มีนโยบายพัฒนาโรงงานอัจฉริยะ และดำเนินโครงการข้อมูลขนาดใหญ่

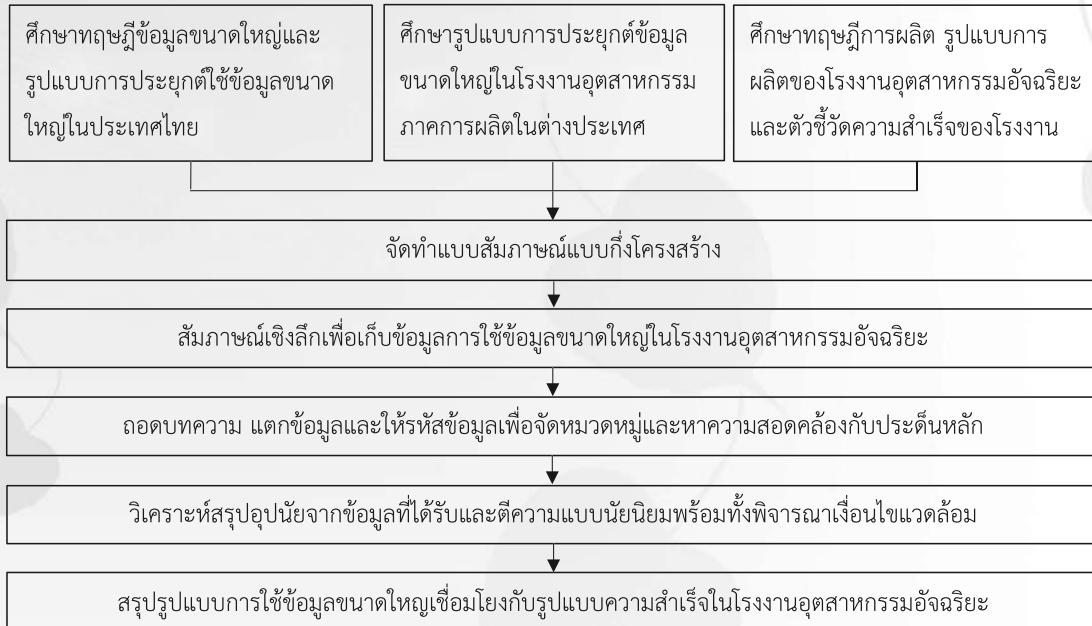


#### ตารางที่ 4 ข้อมูลบริษัทที่ใช้ในการวิจัย

| กลุ่มอุตสาหกรรม        | อาหาร<br>แปรรูป | ชิ้นส่วน<br>ยานยนต์ | ไฟฟ้าและ<br>อิเล็กทรอนิกส์ | ปิโตรเคมี    |
|------------------------|-----------------|---------------------|----------------------------|--------------|
| บริษัท                 | อาหารและ        | ชิ้นส่วน            | วงจรรวม                    | น้ำมัน       |
| สัญชาติ                | ไทย             | ไทย                 | เยอรมัน                    | สหรัฐอเมริกา |
| อันดับในอุตสาหกรรม     | 3 (ไทย)         | 4 (ไทย)             | 8 (โลก)                    | 2 (โลก)      |
| รายได้ (พันล้านบาท)    | 120             | 8                   | 281                        | 8,478        |
| กำไรสุทธิ (พันล้านบาท) | 4               | 0.9                 | 46                         | 472          |
| ที่ตั้งโรงงาน          | นครปฐม          | สมุทรปราการ         | นนทบุรี                    | ชลบุรี       |
| ปีที่ก่อตั้งโรงงาน     | 2550            | 2505                | 2532                       | 2510         |
| จำนวนพนักงานผลิต       | 770             | 900                 | 810                        | 440          |

ที่มา : Infineon Technologies AG. (2020), *Annual Report*. Parsdorf: G Peschke Druckerei GmbH : 3-5

แนวทางการวิจัยเริ่มจากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีการนำมาใช้ในประเทศไทย ศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานอัจฉริยะและตัวชี้วัดความสำเร็จของโรงงาน และศึกษารูปแบบการประยุกต์ข้อมูลขนาดใหญ่ของโรงงานอุตสาหกรรมในต่างประเทศ จากนั้นจัดทำแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง เป็นคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้ให้ข้อมูลที่มีแนวคิดและประสบการณ์แสดงความคิดเห็นในประเด็นที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งเปิดโอกาสให้อธิบายรายละเอียดโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ตามมุมมองของผู้ให้ข้อมูล การเก็บข้อมูลใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) จากผู้บริหารโครงการข้อมูลขนาดใหญ่และผู้บริหารด้านการผลิตที่เกี่ยวข้อง ระดับผู้จัดการขึ้นไป จำนวน 8 ท่าน พร้อมทั้งทำการบันทึกเสียง จากนั้นทำการถอดบทความ และการแตกข้อมูล (Segmenting) เพื่อแบ่งข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลเป็นหน่วยย่อย ร่วมกับการให้รหัสข้อมูล (Coding) เพื่อระบุเนื้อหาที่สอดคล้องกับประเด็นงานวิจัย และใช้การตีความแบบนัยนิยม (Interpretivism) เพื่อพิจารณาเหตุผลและแนวทางในการจัดทำโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ของผู้ให้ข้อมูลแต่ละคนโดยเปรียบเทียบกับเงื่อนไขแวดล้อม จากนั้นนำทำการสรุปข้อมูลโดยเปรียบเทียบความสอดคล้องของข้อมูล ระหว่างผู้ให้ข้อมูลแต่ละท่าน เพื่อกำหนดเป็นแบบจำลอง พร้อมทั้งหาประเด็นใหม่ยังที่ไม่มีการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้ จากนั้นตอนในแผนภาพดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยโครงการข้อมูลขนาดใหญ่

#### ผลการวิจัย

ผลการศึกษาโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บริหารจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 4 แห่งในประเทศไทย เป็นบริษัทสัญชาติไทยจำนวน 2 บริษัท สัญชาติเยอรมันจำนวน 1 บริษัท และสัญชาติสหรัฐอเมริกาจำนวน 1 บริษัท สามารถนำมาสรุปประเด็นได้ดังนี้

##### 1. รูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ผลการสังเคราะห์ประเด็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถสรุปรูปแบบตามตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 รูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ตามกลุ่มอุตสาหกรรมในประเทศไทย

| รูปแบบการประยุกต์          | การประยุกต์ใช้ในโรงงานผลิต |                 |                |           | ความถี่                |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|-----------|------------------------|
| การติดตามกระบวนการ         | ✓                          | ✓               | ✓              | ✓         | 4                      |
| การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์  | ✓                          | ✓               | ✓              | ✓         | 4                      |
| การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์    | ✓                          | ✓               |                | ✓         | 3                      |
| การปรับปรุงคุณภาพ          | ✓                          | ✓               | ✓              |           | 3                      |
| การติดตามวัตถุดิบ          | ✓                          |                 | ✓              |           | 2                      |
| การจัดการพลังงาน           | ✓                          | ✓               |                |           | 2                      |
| การจัดการการตอบรับลูกค้า   |                            |                 |                | ✓         | 1                      |
| กลุ่มอุตสาหกรรม (Industry) | อาหารแปรรูป                | ชิ้นส่วนยานยนต์ | อิเล็กทรอนิกส์ | ปิโตรเคมี | ความถี่รวม (Frequency) |



### 1.1 การติดตามกระบวนการ (Process Monitoring)

การพัฒนากระบวนการขนาดใหญ่เริ่มจากการติดตามกระบวนการ ใช้การดึงข้อมูลจากอุปกรณ์พีแอลซี (PLC) ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือสกาตา (SCADA) ที่ใช้ติดตามและตรวจสอบกระบวนการผลิตเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล หากมีปัญหาระบบสามารถแจ้งเตือนและระบุสาเหตุของปัญหาเพื่อการแก้ไขที่รวดเร็ว

### 1.2 การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ (Parameter Optimization)

พบว่าการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์การผลิตเพื่อนำไปวิเคราะห์และปรับปรุง เช่น การเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรเกิดจากการใช้งานในระยะเวลายาวนาน นอกจากนี้มีการใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์เครื่องจักร หลังจากตรวจพบปัญหาด้านคุณภาพชิ้นงาน

### 1.3 การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

พบการเก็บข้อมูลของเครื่องจักรเพื่อซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์ มีการทำนายการเสียของเครื่องจักรจากข้อมูลในอดีตและการวัด เน้นการบำรุงรักษาในกระบวนการที่มีผลกระทบการผลิต เช่น การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของมอเตอร์หลักในกระบวนการผลิต เพื่อพิจารณาความน่าจะเป็นถึงการเสื่อมอันเป็นผลให้ต้องหยุดกระบวนการ

### 1.4 การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement)

พบว่าการเก็บข้อมูลจากจุดตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการเพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เช่น การเก็บข้อมูลขวดแก้วในกระบวนการบรรจุขวดว่ามีรอยแตกร้าวหรือมีคราบที่ขวดเพื่อนำไปวิเคราะห์ การใช้กล้องตรวจสอบชิ้นงานและตัดสินใจด้านคุณภาพผ่านเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

### 1.5 การจัดการพลังงาน (Energy Management)

พบว่าการเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรในการผลิตและนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อลดการใช้พลังงาน เช่น การเก็บข้อมูลการจ่ายไฟฟ้าในการต้มน้ำในการผลิตเบียร์เพื่อหาเวลาการเริ่มต้มที่เหมาะสม พบว่าบางโรงงานมีการร่วมมือกับผู้จำหน่ายไฟฟ้าเพื่อติดตั้งระบบจ่ายไฟและนำข้อมูลไปปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

### 1.6 การติดตามวัตถุดิบ (Material Tracking)

พบการเก็บข้อมูลวัตถุดิบในคลังสินค้า (Warehouse) ทั้งด้านปริมาณว่าเพียงพอกับแผนการผลิต และด้านคุณภาพเพื่อนำไปแก้ไขปัญหากับผู้จำหน่ายวัตถุดิบ เช่น การประกอบวงจรรวม (Integrated Circuit) นำข้อมูลของเสียจากชิปซิลิกอน (Silicon Chip) ตรวจสอบไปยังโรงงานผลิตแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Fabrication)

### 1.7 การจัดการการตอบรับลูกค้า (Customer Feedback Management)

พบการติดตามความเห็นที่สะท้อนจากลูกค้า (Customer Feedback) เช่น ความพอใจ ชื่นชม ไม่พึงพอใจ หรือคำร้องเรียนของลูกค้า ตลอดการเดินทางของลูกค้า (Customer Journey) ผ่านช่องทางการสื่อสารต่างๆ ได้แก่ข้อความตัวอักษรผ่านอีเมล หรือข้อความเสียงผ่านโทรศัพท์ การตอบรับจากลูกค้าถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อให้เห็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างใกล้ชิดและนำข้อมูลมาปรับปรุงกระบวนการ



## 2. ผลการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ต่อประสิทธิภาพโรงงานอัจฉริยะในประเทศไทย

ผลการสังเคราะห์ประเด็นในการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ต่อตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับการปรับปรุงจากการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่

| ประสิทธิภาพโรงงาน | ตัวชี้วัด                                                                                                                 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ด้านต้นทุน        | ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Efficiency)<br>ความสูญเสีย (Loss)<br>การใช้พลังงาน (Energy Efficiency) |
| ด้านคุณภาพ        | อัตราของเสีย (Defect Rate)<br>การร้องเรียนของลูกค้า (Customer Complaint)                                                  |
| ด้านเวลา          | อัตราการส่งมอบตรงเวลา (On-time Delivery Rate)                                                                             |

### 2.1 การปรับปรุงตัวชี้วัดด้านต้นทุน

จากการเก็บข้อมูลพบว่าผู้บริหารให้ความสำคัญกับการเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักรในกระบวนการที่เป็นคอขวดแทนการขยายกำลังการผลิตซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง

1. การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Efficiency) ติดตามการทำงานของเครื่องจักร เมื่อมีปัญหาระบบจะแจ้งเตือนและเสนอแนวทางแก้ไข ส่งผลให้ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุง (Mean Time to Repair) คือ ระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เกิดการเสียหายจนใช้งานได้ลดลง นอกจากนี้การติดตามผ่านระบบเครือข่ายมีความแม่นยำกว่าการใช้คนบันทึกเวลา การจัดการจึงมีประสิทธิภาพกว่า

2. การลดความสูญเสีย (Loss) คือ การเก็บข้อมูลกระบวนการและวิเคราะห์เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น เช่น กระบวนการทดสอบทางอิเล็กทรอนิกส์เกิดความสูญเสียจากการทดสอบซ้ำ (Retest) เนื่องจากปัญหาของเครื่องจักรหรือโปรแกรมทดสอบ จึงวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อลดการทดสอบซ้ำ หรือในกระบวนการขนส่งน้ำมันใช้เซ็นเซอร์ตรวจเช็คปริมาณน้ำมันเป็นระยะ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาการรั่วไหลเพื่อลดความสูญเสีย

3. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency) กระบวนการผลิตอาจไม่ได้ผลิตตลอดเวลาแต่เครื่องจักรทำงานอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงาน จึงมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องจักรวิเคราะห์ และทำการหยุดเครื่องจักรเมื่อไม่มีการใช้งาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

### 2.2 การปรับปรุงตัวชี้วัดด้านคุณภาพ

จากการเก็บข้อมูลการวิจัยพบว่า ตัวชี้วัดด้านคุณภาพ เป็นอีกด้านที่ผู้บริหารการผลิตให้ความสำคัญ และพบว่ามีการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดังนี้

1. การลดอัตราของเสียในกระบวนการ (Defect Rate) กระบวนการผลิตจะมีจุดตรวจสอบของเสีย (Defect) ในกระบวนการเป็นระยะ การเก็บข้อมูลจากจุดตรวจสอบในกระบวนการส่งผลให้ตรวจพบข้อบกพร่องและสาเหตุของปัญหา และนำไปการปรับปรุงคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องจึงมีจำนวนลดลง



2. การปรับปรุงคุณภาพจากข้อร้องเรียนของลูกค้า (Customer Complaint) มีการติดตามผลิตภัณฑ์และความผิดปกติในกระบวนการ เมื่อลูกค้าร้องเรียนผู้ผลิตสามารถนำข้อมูลผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบความผิดปกติในกระบวนการผลิตเพื่อแก้ไข ส่งผลให้จำนวนของเสียและข้อร้องเรียนจากลูกค้าลดลง

### 2.3 การปรับปรุงตัวชี้วัดด้านเวลา

กระบวนการผลิตมีการกำหนดระยะเวลาการผลิตและเป้าหมายการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าภายในระยะเวลาที่กำหนด บางกรณีการจัดส่งมีความล่าช้าเนื่องจากมีปัญหาด้านคุณภาพของวัตถุดิบ จึงมีการติดตามและสร้างแบบจำลองทำนายความผิดปกติของวัตถุดิบ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้วัตถุดิบที่มีความเสี่ยงจะเกิดปัญหา ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความต่อเนื่อง และมีอัตราการส่งมอบตรงเวลา (On-time Delivery) สูงขึ้น

## 3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่

ผลการสังเคราะห์ประเด็นและตีความการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ จากการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้บริหารทั้ง 4 โรงงาน สามารถสรุปปัจจัยความสำเร็จการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ของโรงงานอัจฉริยะ ดังนี้

### 3.1 ปัจจัยมุ่งเน้นด้านองค์กร (Organizational Oriented Factor)

องค์กรมีส่วนสำคัญมากในการพัฒนาข้อมูลขนาดใหญ่เพราะการดำเนินโครงการต้องอาศัยบุคลากรในองค์กร จากการสัมภาษณ์และตีความหมายสามารถสรุปปัจจัยด้านองค์กร ดังนี้

1. การสนับสนุนจากผู้นำ (Leader Support) การริเริ่มโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ที่แนวคิดใหม่ต้องอาศัยฝ่ายบริหารผลักดัน พบว่าโครงการทั้ง 4 โรงงานได้รับการสนับสนุนจากฝ่ายบริหาร โรงงานบริษัทไทยได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานใหญ่ในขณะที่บริษัทข้ามชาติได้รับการสนับสนุนจากบริษัทแม่ในต่างประเทศ
2. การมีส่วนร่วมของพนักงาน (Employee Coordination) บุคลากรที่ดำเนินโครงการมีส่วนสำคัญ ต้องมีความสนใจในโครงการและมีประสบการณ์ที่เหมาะสม การริเริ่มโครงการข้อมูลขนาดใหญ่มีอุปสรรคเชิงเทคนิคอย่างมาก พนักงานที่ดำเนินโครงการจึงต้องมีความพยายาม และไม่ท้อถอยกับปัญหา
3. การให้ความสำคัญกับโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Project Prioritization) ต้องให้ลำดับความสำคัญ (Priority) โครงการข้อมูลขนาดใหญ่อย่างเหมาะสม พบว่าในบางหน่วยงานให้ความสำคัญกับงานประจำมากกว่าโครงการใหม่ทำให้โครงการติดขัด จึงต้องกำหนดบทบาทของบุคลากรอย่างชัดเจน

### 3.2 ปัจจัยที่มุ่งเน้นด้านระบบ (System Oriented Factor)

การจัดทำข้อมูลขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีปัจจัยด้านระบบรองรับ เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อและดึงข้อมูลไปยังฐานข้อมูล ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถสรุปปัจจัยด้านระบบได้ดังนี้

1. เครื่องจักรอุปกรณ์มีความพร้อมในการเชื่อมต่อ (Connected Machine Readiness) เครื่องจักรต้องมีความสามารถในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายเพื่อดึงข้อมูลไปจัดเก็บในระบบข้อมูล จึงนิยมนำโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ในกระบวนการที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ สามารถดึงข้อมูลจากพีแอลซีไปเก็บในระบบข้อมูลได้



2. การมีโครงสร้างพื้นฐานรองรับ (Infrastructure Support) ระบบข้อมูลขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม ได้แก่ เครือข่าย (Network) อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Storage) และระบบความปลอดภัย (Security) มีการประเมินโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นก่อนพัฒนาระบบข้อมูลขนาดใหญ่

3. การจัดทำระบบให้มีความเป็นมิตรต่อผู้ใช้งาน (User-friendly) ซอฟต์แวร์ที่จัดทำขึ้นควรใช้งานง่าย ผู้ใช้สามารถใช้ระบบได้โดยไม่ต้องมีความรู้เทคโนโลยีสารสนเทศขั้นสูง พบว่าในบางกรณีเกิดปัญหาในการย้าย (Migration) ไปสู่ระบบข้อมูลขนาดใหญ่ เนื่องจากผู้ใช้ไม่ต้องการใช้ระบบที่มีความยุ่งยากกว่าเดิม

### 3.3 ปัจจัยที่มุ่งเน้นด้านข้อมูล (Data Oriented Factor)

ข้อมูลมีความสำคัญในระบบข้อมูลขนาดใหญ่ ข้อมูลที่มีคุณภาพส่งผลให้การวิเคราะห์เป็นไปด้วยความสะดวกรวดเร็ว พบว่าปัจจัยด้านข้อมูลที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ ดังนี้

1. คุณภาพข้อมูล (Data Quality) ข้อมูลที่จะนำไปสู่ระบบข้อมูลขนาดใหญ่ต้องเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม ควรมีการวางรูปแบบการดึงข้อมูลตั้งแต่เริ่มแรก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้ เพื่อลดการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing) ซึ่งมีความยุ่งยาก

2. การวางมาตรฐานข้อมูล (Data Standardization) การมีแหล่งข้อมูลที่มีความหลากหลาย (Data Source Variety) จำนวนมากส่งผลให้เกิดความยุ่งยากในการดึงข้อมูลที่ต้องใช้วิธีและรูปแบบที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน เพื่อลดความยุ่งยากที่ส่งผลให้สิ้นเปลืองทรัพยากร

3. ความปลอดภัยของข้อมูล (Data Security) การรั่วไหลของข้อมูลส่งผลเสียให้กับธุรกิจ บริษัทจึงต้องการระบบที่มีความปลอดภัย พบว่าในโรงงานที่มีสูตรการผลิตของตนเองมีความกังวลเรื่องความปลอดภัยข้อมูล จึงไม่นิยมใช้การเก็บข้อมูลบนกลุ่มเมฆสาธารณะ (Public Cloud) ที่ข้อมูลอยู่กับผู้ให้บริการนอกองค์กร

### 3.4 ปัจจัยที่มุ่งเน้นด้านทรัพยากร (Resource Oriented Factor)

การจัดทำโครงการข้อมูลขนาดใหญ่จำเป็นต้องอาศัยทรัพยากรในการดำเนินโครงการ ทั้งด้านกำลังคน ด้านงบประมาณและด้านความเชี่ยวชาญโดยมีปัจจัยดังนี้

1. การจัดสรรงบประมาณที่เพียงพอ (Sufficient Budget) โครงการขนาดใหญ่ต้องใช้งบประมาณในการดำเนินโครงการทั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ ซอฟต์แวร์ แรงงาน พบว่าการริเริ่มโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ในกระบวนการที่มีกำลังการผลิตสูงสามารถจัดสรรงบประมาณได้มากกว่า เนื่องจากผลตอบแทนการลงทุนสูงกว่า

2. การจัดสรรด้านกำลังคนที่เหมาะสม (Proper Human Resource) โครงการข้อมูลขนาดใหญ่ต้องมีการจัดการในการดำเนินโครงการ มีการคิดชั่วโมง-แรงงาน (Man-Hour) เพื่อการวางแผนกำลังคน พบว่าบางกรณีพนักงานได้รับมอบหมายงานหลายโครงการ ทำให้ไม่มีเวลาทำงานโครงการข้อมูลขนาดใหญ่อย่างพอเพียง

3. การสนับสนุนด้านความเชี่ยวชาญ (Expertise Support) การพัฒนาโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ต้องมีการจัดการที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญ ในบางโรงงานที่ขาดแคลนบุคลากรอาจใช้การจัดจ้างภายนอก (Outsource) เช่น การจัดจ้างบริษัทวิทยาศาสตร์ข้อมูลมาพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ในกระบวนการผลิต



## สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ที่พบในประเทศไทยมี 7 ประเภทได้แก่การติดตามกระบวนการ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ การปรับปรุงคุณภาพ การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ การติดตามวัตถุดิบการจัด การพลังงาน และการจัดการการตอบรับลูกค้า โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุง ประสิทธิภาพโรงงาน 3 ด้านคือ ด้านต้นทุน ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของการใช้เครื่องจักร การลด ความสูญเสียและการลดการใช้พลังงาน ด้านคุณภาพ ได้แก่ การลดของเสียในกระบวนการและการปรับปรุง คุณภาพจากข้อร้องเรียนของลูกค้า ด้านเวลา คือ การจัดส่งสินค้าตามเวลาที่กำหนด

การพัฒนาระบบข้อมูลขนาดใหญ่ให้ประสบความสำเร็จต้องเริ่มจากองค์กรที่ผู้บริหารให้การสนับสนุน และบุคลากรให้ความใส่ใจในโครงการ ทรัพยากรที่ใช้พัฒนาโครงการต้องมีย่างเพียงพอทั้งด้านการเงิน ด้าน กำลังคนและด้านความเชี่ยวชาญ โรงงานที่มีโครงสร้างพื้นฐานเหมาะสมและเครื่องจักรมีความพร้อมในการ เชื่อมต่อ มีความต้องการในการลงทุนที่น้อยกว่า จึงพร้อมในการใช้พัฒนาระบบข้อมูลขนาดใหญ่ได้มากกว่า โรงงานแบบดั้งเดิม ระบบข้อมูลขนาดใหญ่ที่จัดทำขึ้นควรเป็นระบบที่ใช้งานง่าย เพื่อสนับสนุนผู้ใช้งานให้เข้า มาใช้ระบบ นอกจากนี้ข้อมูลที่นำเข้ามาในระบบข้อมูลขนาดใหญ่ควรได้รับการวางแผนให้มีความสะอาดพร้อม นำไปวิเคราะห์ และควรคำนึงในความปลอดภัยของข้อมูลควบคู่กัน

## อภิปรายผล

จากการศึกษารูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในโรงงานอัจฉริยะ พบว่าการประยุกต์ใช้ข้อมูล ขนาดใหญ่มีลักษณะสอดคล้องกับงานวิจัยในต่างประเทศ ด้านการติดตามกระบวนการที่สอดคล้องกับงานวิจัย ของ Mourtzis (2016) ด้านการปรับแต่งพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Auschitzky (2014) ด้าน การติดตามวัตถุดิบ การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์ และการจัดการพลังงานที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tao (2018) และด้านการปรับปรุงคุณภาพสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alkahtani (2019) อย่างไรก็ตามพบการ ประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ที่แตกต่างจากงานวิจัย ได้แก่ การจัดการการตอบรับลูกค้า ที่ติดตามเสียงสะท้อน ของลูกค้าถึงสินค้าและบริการผ่านโทรศัพท์ อีเมลและเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อนำไปปรับปรุงการดำเนินงาน และไม่พบการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการวางแผนการดำเนินงานตามงานวิจัยของ Kozjek (2018) ที่ใช้ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ รวมถึงกระบวนการที่มีความซับซ้อน ทำให้มีความจำเป็นต้องวางแผนการผลิตโดย การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่

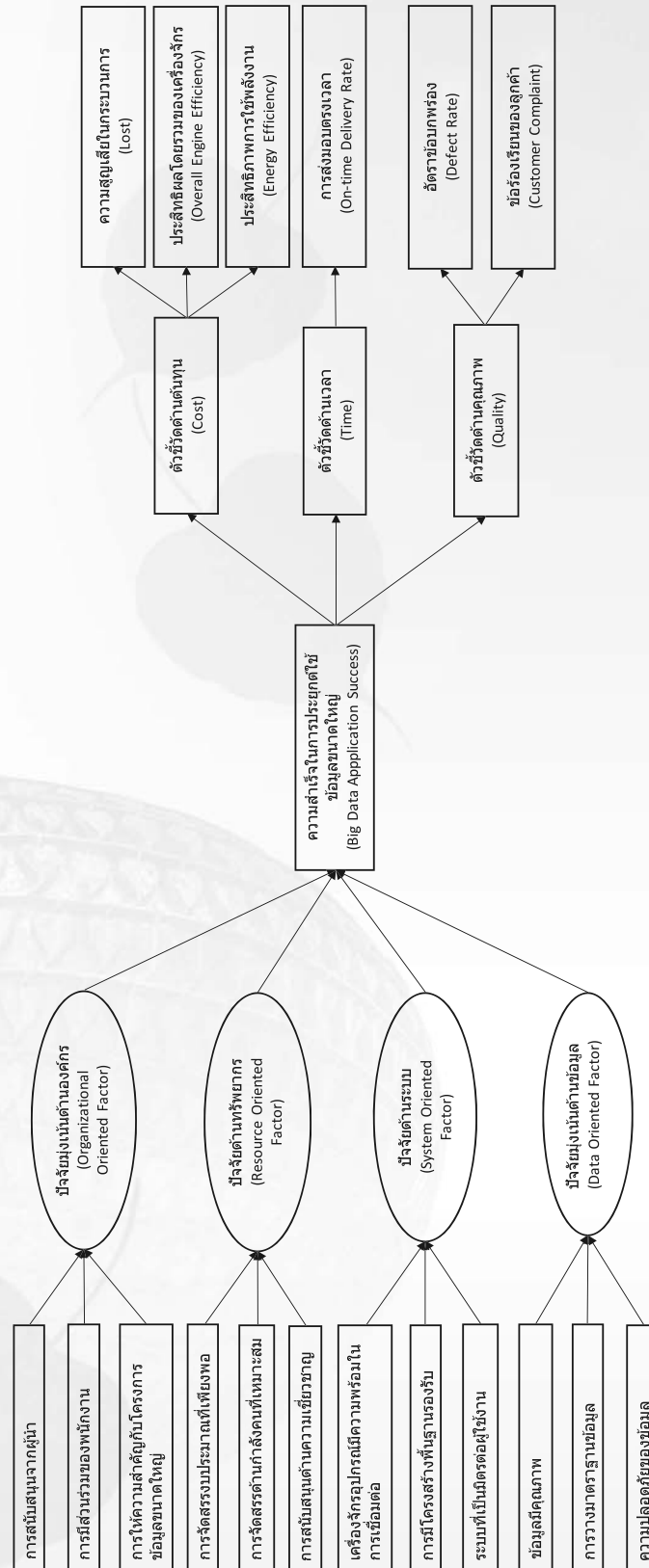
การศึกษามูลการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ปรับปรุงประสิทธิภาพโรงงานอัจฉริยะ พบว่ามีการเน้นการ ปรับปรุงด้านต้นทุนที่มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dhawan (2014) ที่มีการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการ แก้ไขปัญหาข้อขัดข้องในกระบวนการ โดยงานวิจัยนี้พบตัวชี้วัดที่มีผลกับการแก้ปัญหาข้อขัดข้อง ได้แก่ ประสิทธิภาพ โดยรวมของการใช้เครื่องจักร การปรับปรุงด้านคุณภาพตามงานวิจัยของ Alkahtani (2019) ที่พบ



ตัวชี้วัดจำนวนข้อร้องเรียนของลูกค้า การปรับปรุงด้านเวลาตามงานวิจัยของ Waller (2013) ที่พบตัวชี้วัดโดยใช้อัตราการส่งมอบตรงเวลา แต่ไม่มีการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ปรับปรุงตัวชี้วัดโรงงานด้านความยืดหยุ่นตามงานวิจัยของ Gunasekaran (2017) อันเป็นผลมาจากการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการวางแผนดำเนินงาน

ผลการศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการพัฒนาระบบข้อมูลขนาดใหญ่พบความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moktadira (2019) ของปัจจัยความสำเร็จมุ่งเน้นด้านองค์กร ด้านทรัพยากร และด้านข้อมูล แต่แตกต่างกันในด้านเทคโนโลยี ซึ่งโรงงานจากงานวิจัยในประเทศบังกลาเทศประสบปัญหาไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่ ขณะที่โรงงานในประเทศไทยสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่ได้ แต่การพัฒนา ระบบข้อมูลขนาดใหญ่ต้องทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้พบความแตกต่างกันในแนวทางโครงการข้อมูลขนาดใหญ่ระหว่างโรงงานบริษัทไทยกับบริษัทข้ามชาติ โรงงานบริษัทไทยเน้นการเก็บข้อมูลกระบวนการ โดยวางแผนการประยุกต์ข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ระบบอัตโนมัติ (Automation) ในขณะที่บริษัทข้ามชาติจะเน้นการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีรูปแบบเดิม

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการพัฒนาระบบข้อมูลขนาดใหญ่เชื่อมโยงกับรูปแบบการประยุกต์ใช้ข้อมูลและประสิทธิภาพโรงงานอัจฉริยะสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นรูปแบบความสำเร็จ ดังนี้



ภาพที่ 5 รูปแบบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมอัจฉริยะ



### ข้อเสนอแนะ

จากสรุปผลการศึกษาพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีความพร้อมและความสามารถในการพัฒนาระบบข้อมูลขนาดใหญ่ แต่ยังต้องการการผลักดันและการสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ข้อเสนอระดับหน่วยงานหรือองค์กร

1. องค์กรควรมีการติดตามและปรับปรุงตัวชี้วัดประสิทธิภาพ เพื่อเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าจากการลงทุน

2. องค์กรควรมีการแบ่งปันความรู้การพัฒนาข้อมูลขนาดใหญ่ระหว่างองค์กร เปิดโอกาสให้บุคลากรนอกหรือองค์กรที่มีความสนใจเข้าไปดูงานเพื่อเป็นตัวอย่างในการพัฒนาโรงงานอัจฉริยะ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและปฏิบัติ

1. ควรมีมาตรการสนับสนุนด้านความเชี่ยวชาญด้านข้อมูลขนาดใหญ่ให้กับภาคธุรกิจ มีการจัดทำแหล่งข้อมูลหรือให้คำปรึกษาด้านข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อสนับสนุนให้มีการพัฒนาโรงงานอัจฉริยะ

2. ควรมีการสนับสนุนทางภาษีหรือค่าใช้จ่ายจากอุปกรณ์ที่จำเป็นในการพัฒนาข้อมูลขนาดใหญ่หรือโรงงานอัจฉริยะ เช่น อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และเครื่องจักรสมัยใหม่ที่มีความสามารถในการเชื่อมต่อ เพื่อลดค่าใช้จ่าย และกระตุ้นให้ภาคธุรกิจสนใจการปรับปรุงระบบการผลิตด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาเชิงปริมาณถึงปัจจัย และความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพโรงงานอัจฉริยะ และเปรียบเทียบความแตกต่างของประเทศไทยกับบริษัทข้ามชาติ

### บรรณานุกรม

คณะกรรมการอุตสาหกรรม 4.0. (2559) *การยกระดับอุตสาหกรรมไทยสู่อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0)*.

สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2562, จาก สภาเกษตรกรแห่งชาติ เว็บไซต์: <http://www.nfcrbr.or.th>

ชุดิกา เกียรติเรืองไกร, พรชนก เทพขาม, & วัชรินทร์ ชินวรวัฒนา. (2563). 10 ปีอุตสาหกรรมไทย เรามาไกลแค่ไหน. *FOCUSED AND QUICK (FAQ)*, 13(165), 1-12.

ปัญญา ธนบุญสมบัติ. (2560). อุตสาหกรรม 4.0. *วารสารเทคโนโลยีวิสต์*, 23(84), 23-34

วิชาญ ทรายอ่อน. (2559). ประเทศไทย 4.0. *Academic Focus*, 3(37), 1-13.

สถาบันไทย-เยอรมัน. (2562). *คู่มือการพัฒนาโรงงานอุตสาหกรรมสู่ความเป็นโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory)*. กรุงเทพฯ: TGI Thai-German Institute.

สุพันธุ์ มงคลสุธี. (2561). *ก้าวสู่ 'Industry 4.0' อย่างไรในวันนี้อุตสาหกรรมไทยยังแค่ 2.0*. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2562, จาก The Bangkok Insight เว็บไซต์: <https://www.thebangkokinsight.com/>



- สุรัชพงศ์ สิกขาบัณฑิต. (2560). นโยบายประเทศไทย ๔.๐ : โอกาส อุปสรรค และผลประโยชน์ของไทยในภูมิภาคอาเซียน. สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2562, จาก รัฐสภาไทย เว็บไซต์: [www.parliament.go.th](http://www.parliament.go.th)
- สำนักงานที่ปรึกษาด้านอุตสาหกรรม (2558). *Industry 4.0 (The Fourth industrial Revolution)*. สืบค้นเมื่อ 7 ตุลาคม 2562, จาก กระทรวงอุตสาหกรรม เว็บไซต์: [www.industry.go.th](http://www.industry.go.th)
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2558). *อุตสาหกรรม 4.0 แนวทางของอุตสาหกรรมแห่งอนาคต*. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2562, จาก นานาสาระน่ารู้ เว็บไซต์: [www.nstda.or.th](http://www.nstda.or.th)
- Alkahtani, M., Choudhary, A., De, A., & Harding, J. (2019). A Decision Support System based on Ontology and Data mining to Improve Design using Warranty Data. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 1027-1039.
- Auschitzky, E., Hammer, M., & Rajagopaul, A. (2014). How big data can improve manufacturing. *McKinsey Quarterly Magazine*, 50, 1-4.
- Dhawan, R., Singh, K., & Tuteja, A. (2014). When big data goes lean. *McKinsey Quarterly Magazine*, 50, 1-5.
- Gunasekaran, A., Yusuf, Y., Adeleye, E. O., & Papadopoulos, T. (2017). Agile Manufacturing Practices - The Role of Big Data and Business Analytics with Multiple Case Studies. *International Journal of Production Research*, 56, 385-397.
- Haseeb, M., Hussain, H., Slusarczyk, B., & Jermsittiparsert, K. (2019). Industry 4.0: A Solution towards Technology Challenges of Sustainable Business Performance. *MDPI Social Sciences*, 16, 1-24.
- Kozjek, D., Vrabič, R., Rihtaršič, B., & Butal, P. (2018). Big data analytics for operations management in engineer-to-order manufacturing. *Procedia CIRP*, 72, 209-214.
- Kumar, A., Chinnam, R., & Tseng, F. (2019). An HMM and Polynomial Regression Based Approach for Remaining Useful Life and Health State Estimation of Cutting Tools. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 1008-1014.
- Lamba, K., Singh, S., & Mishra, N. (2019). Integrated Decisions for Supplier Selection and Lot-Sizing Considering Different Carbon Emission Regulations in Big Data Environment. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 1052-1062.
- Moktadira, A., Alib, S., Paul, S., & Shuklad, N. (2019). Barriers to big data analytics in manufacturing supply chains: A case study from Bangladesh. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 1027-1039.



- Mourtzis, D., Vlachou E., & Milas, N. (2016). Industrial Big Data as a result of IoT adoption in Manufacturing. *Procedia CIRP*, 55, 290 – 295.
- Narasimhan, R., & Bhuvaneshwari, T. (2014). Big Data – A Brief Study. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5 (90), 1-2.
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (2005). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12), 1228-1263.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–41.
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157–169.
- Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data Science, Predictive Analytics, and Big Data: A Revolution That Will Transform Supply Chain Design and Management. *Journal of Business Logistics*, 34, 77–84
- Wantao, Y., Chavez, R., Jacobs, M. A., & Feng, M. (2018). Data-driven supply chain capabilities and performance: A resource-based view. *Transportation Research*, 114, 371–385.
- Yu-Chien K., & Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190-203.