

แบบจำลองอัตราการไหลสูงสุดสำหรับการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ Maximum Flow Model for Automobile's Brake Pads Manufacturing

กณศ พันธุ์สวัสดิ์ และ เอกรินทร์ การเก่ง *

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

E-mail: Akarin.kankeng@gmail.com

Kanate Puntusavase and Akarin Kankeng *

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology

Silpakorn University, Amphoe Muang, Nakhon Pathom Province 73000, Thailand

E-mail: Akarin.kankeng@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองข้อมูลการไหลในข่ายงานมาจำลองเส้นทางการผลิตและหาอัตราการไหลสูงสุดของกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ทั้งระบบ บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตและจำหน่ายผ้าเบรกรถยนต์ โดยมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและมีจำนวนรุ่นผ้าเบรกรถยนต์มากกว่า 400 รุ่น มีกระบวนการผลิตหลักๆ 20 กระบวนการและมีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต 46 เครื่อง อย่างไรก็ตามทุกๆ ผลิตภัณฑ์ไม่ได้ผ่านขั้นตอนการผลิตในทุกกระบวนการทำให้มีรูปแบบในการผลิตมากถึง 14 รูปแบบ ซึ่งยากต่อการวางแผนการผลิตและการวิเคราะห์กำลังการผลิตของระบบ ส่งผลให้เกิดการใช้เครื่องจักรที่ไม่เต็มประสิทธิภาพสูญเสียโอกาสในการผลิต รวมไปถึงส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของแผนการเพิ่มกำลังการผลิตในอนาคตที่อาจสูงมากขึ้น วิธีการวิจัยเริ่มจากการศึกษาและเก็บข้อมูลของบริษัท จากนั้นใช้การวิเคราะห์แบบเอบีซีมาเลือกตัวแทนผลิตภัณฑ์เพื่อเก็บข้อมูล และประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเบลล์แมนและวิธีขยายในการหาอัตราการไหลสูงสุด โดยแทนเครื่องจักรด้วยเส้นเชื่อมและแทนกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการด้วยโหนดตั้งแต่กระบวนการผลิตแรกไปจนถึงกระบวนการสุดท้ายตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า บริษัทสามารถผลิตผ้าเบรกรถยนต์ได้สูงสุด 25,880 ชิ้นต่อวัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับยอดการผลิตจริงเฉลี่ยต่อวันแล้วพบว่า บริษัทสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้อีก 1,375 ชิ้นต่อวันหรือคิดเป็น 5.6 % รวมไปถึงทราบอัตราการใช้งานเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการอีกด้วย แบบจำลองนี้ช่วยให้บริษัทวิเคราะห์กำลังการผลิตของระบบได้อย่างแม่นยำและใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการผลิต การเพิ่มกำลังการผลิตและแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการผลิตได้

คำสำคัญ: อัตราการไหลสูงสุด; การไหลในข่ายงาน; ขั้นตอนวิธีเบลล์แมน; กำลังการผลิต; ผ้าเบรกรถยนต์

Abstract

This research aims to apply the maximum flow model in order to demonstrate production route and find the maximum flow of the brake pad manufacturing. This case study company produces and distributes brake pads for automobile. The company has more than 400 models of brake pads. There are 20 main-production processes and 46 machines to produce brake pads. However, every product does not undergo all production stage. As a result, there are 14 formats of production procedure which are difficult to set production plan and analyze the production capacity of system. Thus, the machines did not work efficiently and the cost of production capacity plan might be more expensive in the future. In this case study, the research process was started by collecting data from the company. Then, ABC analysis was employed to choose product sampling. Moreover, Labeling algorithm and Generic augmenting path algorithm were adopted to find the max flow. The machines in each production process from source to sink were described by arcs and nodes respectively. The results showed that the company could produce 25,880 of brake pads per day. When this number was compared with the production capacity in each day, it was found that the maximum flow model could help produce brake pads up to 1,375 pieces per day (5.6%). Furthermore, the company could also know the machine's utilization of each process. The maximum flow model could help the company analyze the capacity of production process accurately. Thus, the company could use this model to help plan production process, production capacity and machine maintenance in order to increase efficiency in each production process.

Keywords: Maximum flow; Network flow; Labeling algorithm; Production capacity; Automobile brake pads

1. บทนำ

บริษัทกรณีสึกษาเป็นโรงงานผลิตและจำหน่ายผ้าเบรกสำหรับรถยนต์ อาทิ ผ้าเบรกสำหรับรถเก๋ง รถกระบะ รถตู้ เป็นต้น ภายในปี 2565 นี้บริษัทมีนโยบายเพิ่มยอดขายเป็น 2,000 ล้านบาท โดยการเพิ่มกำลังการผลิตจาก 170,000 ชุดต่อเดือน เป็น 210,000 ชุดต่อเดือน ดังนั้นบริษัทจำเป็นต้องมีการวางแผนการบริหารจัดการระบบการผลิตและวางแผนการเพิ่มกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้ ปัจจุบันฝ่ายพัฒนากระบวนการผลิตมีแผนการเพิ่มกำลังการผลิต โดยเบื้องต้นกระบวนการที่มีกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อเป้าหมายจะมีแผนในการเพิ่มกำลังการผลิตของแต่ละกระบวนการในด้านต่างๆ และคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการเพิ่มกำลังการผลิต

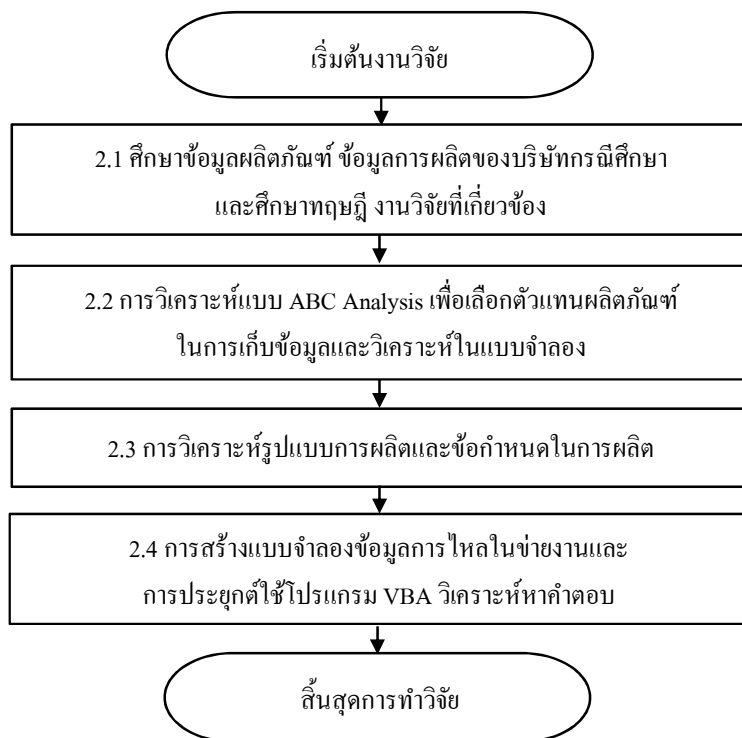
แผนการเพิ่มกำลังการผลิต	จำนวนที่ต้องเพิ่มจากเดิม	มูลค่า
ด้านกำลังคน	9 คน	86,400 บาท/เดือน
ด้านชั่วโมงนอกเวลา (OT)	4,102 ชม./เดือน	287,140 บาท/เดือน
ด้านเครื่องจักร	เครื่องอัดขึ้นรูปพิมพ์เส้น 1 เครื่อง	1,200,000 บาท

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของบริษัทมีความหลากหลาย โดยมียี่ห้อในการจำหน่าย 5 ยี่ห้อ แต่ละยี่ห้อถูกแบ่งออกเป็นโค้ดการขายรวมมากกว่า 25 โค้ด มีจำนวนรุ่นผ้าเบรกมากกว่า 400 รุ่น รวมถึงมีกระบวนการผลิตหลักๆ 20 กระบวนการและมีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต 46 เครื่อง อีกทั้งยังมีเวลาในการผลิตที่แตกต่างกันและผลิตภัณฑ์ไม่ได้ผ่านขั้นตอนการผลิตในทุกกระบวนการทำให้มีรูปแบบการผลิตมากถึง 14 รูปแบบ ซึ่งทำให้การวางแผนการผลิตและการวิเคราะห์กำลังการผลิตสูงสุดของระบบมีความยุ่งยากและซับซ้อน ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ จากข้อมูลฝ่ายผลิตพบว่า เกิดการใช้เครื่องจักรที่ไม่เต็มประสิทธิภาพทำให้สูญเสียโอกาสในการผลิตชิ้นงาน รวมไปถึงส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของแผนการเพิ่มกำลังการผลิตในอนาคตที่อาจสูงมากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้แบบจำลองข้อมูลการไหลในข่ายงานเพื่อนำมาจำลองเส้นทางการผลิตในปัจจุบันและวิเคราะห์หาอัตราการไหลสูงสุดของกระบวนการผลิตผ้าเบรกทั้งระบบ โดยคำนึงถึงรูปแบบการผลิตที่มีความหลากหลายและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองนี้คือ ทำให้ทราบถึงอัตราการไหลสูงสุดของระบบการผลิตและอัตราการใช้งานเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะส่งผลให้ฝ่ายพัฒนากระบวนการผลิตมีแบบจำลองข้อมูลที่ช่วยในการวางแผนการผลิต แผนการเพิ่มกำลังการผลิต และแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการผลิตต่อไปได้

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีขั้นตอนในการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม – มิถุนายน ปี 2562



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการศึกษางานวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ ข้อมูลการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาและศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

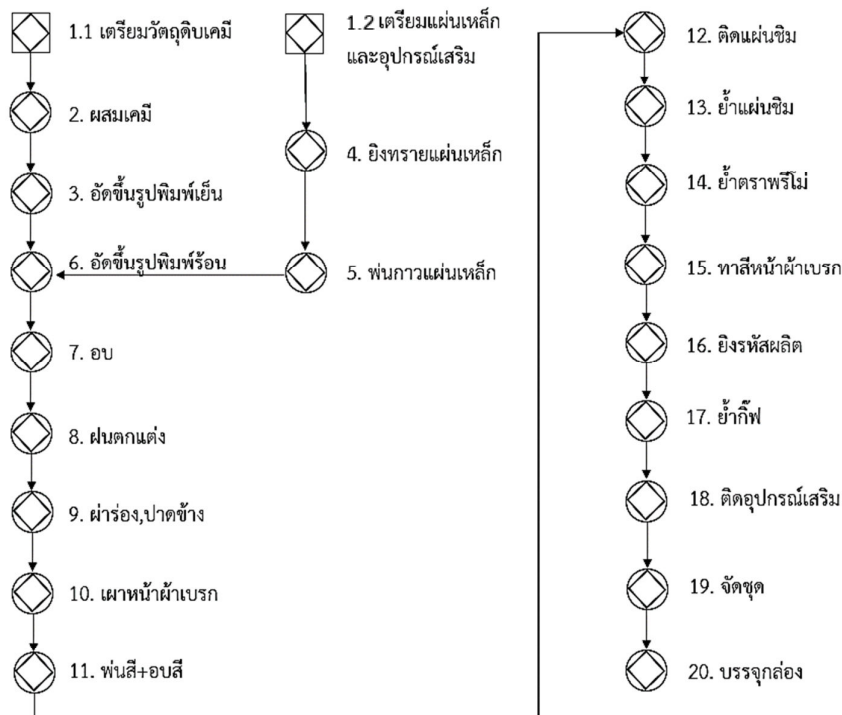
ผ้าเบรก (Brake Pads) คืออุปกรณ์ส่วนหนึ่งในระบบเบรกรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยผ้าเบรคนั้นเป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงเสียดทานให้กับระบบเบรก ซึ่งส่วนประกอบของผ้าเบรกจะประกอบด้วย เนื้อผ้าเบรกที่มีความแข็งแรงปะกบเข้ากับแผ่นเหล็กเพื่อยึดติดกันและมีอุปกรณ์เสริมที่เป็นส่วนประกอบต่างๆ เช่น กิ๊ฟ แผ่นซึม ตามชนิดของรุ่นรถยนต์ที่ใช้ผ้าเบรกแต่ละประเภทโดยบริษัทมีจำนวนรุ่นผ้าเบรรมากกว่า 400 รุ่น



รูปที่ 2 ตัวอย่างส่วนประกอบผ้าเบรก

2.1.2 ข้อมูลการผลิต

กระบวนการผลิตผ้าเบรกของบริษัทมีกระบวนการผลิตหลักๆ 20 กระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยแต่ละรุ่นผ้าเบรกมีเวลาในการผลิตที่แตกต่างกันและไม่ได้ผ่านขั้นตอนการผลิตในทุกกระบวนการทำให้มีรูปแบบในการผลิตมากถึง 14 รูปแบบ

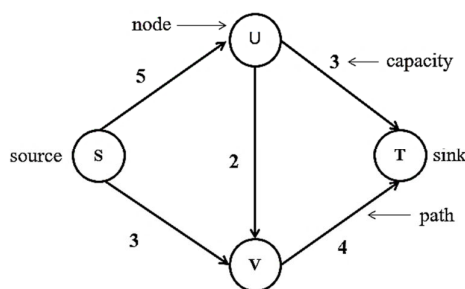


รูปที่ 3 กระบวนการผลิตผ้าเบรกของบริษัทกรณีศึกษา

2.1.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากข้อมูลบริษัทที่กล่าวมาข้างต้นนั้นพบว่า บริษัทวางแผนการผลิตและวิเคราะห์กำลังการผลิตของระบบ มีความยุ่งยากและซับซ้อน ส่งผลให้งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำทฤษฎีเรื่องการไหลสูงสุดในข่ายงานมาแก้ปัญหา ด้านการวางแผนการผลิต โดยส่วนใหญ่มักถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการไหลของน้ำ การระบายน้ำ [1-3] และการคำนวณอัตราสูงสุดของยานพาหนะบนถนนเพื่อนำมาคำนวณระยะเวลาการเปิดสัญญาณไฟจราจร [4] ในส่วนของระบบการผลิตนั้นมักจะเป็นการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต [5-8] จากที่กล่าวมานั้น ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำทฤษฎีเรื่องการไหลสูงสุดในข่ายงานมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาด้านการวางแผนการผลิต ซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นว่าข้อดีของทฤษฎีเรื่องการไหลสูงสุดคือ สามารถคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของระบบที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนได้อย่างแม่นยำและตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ดังนั้นการนำเอาทฤษฎีเรื่องการไหลสูงสุดในข่ายงานมาประยุกต์เป็นแบบจำลองข้อมูลจะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์หาอัตราการไหลสูงสุดของระบบการผลิตร่วมกับการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือทางด้านการจัดการงานวิศวกรรมได้

ทฤษฎีการไหลสูงสุดเป็นแนวคิดขั้นตอนวิธีของฟอร์ด-เฟลเกอร์สัน (Ford – Fulkerson Algorithm) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lester Randolph Ford และ Delbert Ray Fulkerson ในปี ค.ศ.1956 วิธีนี้เป็นวิธีสำหรับใช้แก้ปัญหาการไหลสูงสุด [9] โดยเริ่มต้นจะเป็นการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและเก็บรวบรวมข้อมูลที่สำคัญ เช่น อัตราการไหล ความจุเส้นเชื่อม เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเขียนให้อยู่ในรูปของกราฟ โดยการแปลงเป็นกราฟแบบมีทิศทาง เมื่อนำเส้นเชื่อมแต่ละเส้นมาต่อกันเป็นลักษณะของข่ายงาน โดยแต่ละเส้นเชื่อมมีความจุที่ไม่เท่ากันและต้องการหาปริมาณการไหลสูงสุดตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย โดยสามารถอธิบายปัญหาดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการไหลในข่ายงาน [9]

- เมื่อกำหนดให้
- โหนด S (source) แทนโหนดต้นทางเป็นจุดเริ่มต้น
 - โหนด T (sink) แทนโหนดปลายทางเป็นจุดสุดท้าย
 - โหนด U, V (node) แทนจุดเชื่อมต่อระหว่างเส้นเชื่อม
 - ความจุ (capacity) แทนอัตราการไหลของเส้นเชื่อมที่สามารถไหลผ่านได้
 - เส้นเชื่อมหรือกึ่ง (path & arc) แทนเส้นที่เชื่อมต่อเป็นลักษณะข่ายงาน
 - ลูกศรบนเส้นเชื่อมแทนทิศทางการไหล

โดยสามารถวิเคราะห์และอธิบายหลักการได้ดังนี้

$f(u,v)$ คือ ปริมาณการไหลในเส้นเชื่อม โดยมีเงื่อนไขคือ

- 1) ปริมาณการไหลในเส้นเชื่อมต้องไม่เกินความจุ
- 2) ปริมาณการไหลเข้ามายังโหนดใด ๆ จะเท่ากับปริมาณการไหลออกจากโหนดนั้น ยกเว้นโหนด S กับโหนด T ดังแสดงในสมการที่ (1)
- 3) โหนด S จะมีเพียงเส้นเชื่อมการไหลออกและจะไม่มีเส้นเชื่อมของการไหลเข้า ส่วนโหนด T จะมีเพียงเส้นเชื่อมการไหลเข้าและจะไม่มีเส้นเชื่อมของการไหลออก

$$|f| = \sum_{v \in V} f(S, V) = \sum_{v \in V} f(V, T) \quad (1)$$

การแก้ปัญหาการไหลสูงสุดสามารถใช้ขั้นตอนวิธีอัลกอริทึม (Algorithm) ดังต่อไปนี้

1) Labeling algorithm เป็นอัลกอริทึมใช้ค้นหาโหนดจากเส้นทางกราฟในข่ายงาน โดยหลักการของอัลกอริทึมนี้จะเริ่มต้นค้นหาโหนดต้นทางไปยังโหนดถัด ๆ ไปตามเส้นทางที่เชื่อมต่อกันในข่ายงาน และจะค้นหาจนพบโหนด โดยโหนดที่ถูกค้นพบแล้วจะทำการเลเบลหรือติดฉลากโหนดนั้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป จากนั้นค้นหาโหนดอื่นๆ จนถึงโหนดปลายทาง โดยทำการค้นหาจนกระทั่งไม่พบโหนดแล้วจึงจะหยุดค้นหา

2) Generic augmenting path algorithm หรือเรียกว่าอัลกอริทึมขยาย เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางของการไหลของข่ายงานทุกเส้นทางที่ถูกค้นพบ แล้วทำการคำนวณปริมาณการไหลของเส้นทางนั้นทุกเส้นทาง โดยขั้นตอนสุดท้ายอัลกอริทึมนี้จะคำนวณปริมาณการไหลสูงสุดของข่ายงาน [9]

2.2 การวิเคราะห์แบบ ABC Analysis เพื่อเลือกตัวแทนผลิตภัณฑ์ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ในแบบจำลอง

จากข้อมูลของบริษัทจำนวน 6 เดือนพบว่า ผ้าเบรกที่บริษัทจำหน่ายมีจำนวน 288 รุ่น ซึ่งยากต่อการเก็บข้อมูล ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกตัวอย่างรุ่นผ้าเบรกมาเป็นตัวแทนในการศึกษาโดยอาศัยการวิเคราะห์แบบ ABC Analysis [10] ซึ่งแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ออกเป็น 3 กลุ่ม โดยปัจจัยในการจัดกลุ่ม คือ จำนวนรุ่นและสัดส่วนยอดขายของผลิตภัณฑ์ โดยผลลัพธ์ที่ได้ผู้วิจัยเลือกตัวแทนกลุ่ม A เนื่องจากมีสัดส่วนยอดขายมากที่สุด 80 % มีสัดส่วนจำนวนรุ่น 14 % และได้ตัวแทนรุ่นผลิตภัณฑ์จำนวน 39 รุ่น มาใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์โดยใช้การวิเคราะห์แบบ ABC Analysis

2.3 การวิเคราะห์รูปแบบการผลิตและข้อกำหนดในการผลิต

จากการวิเคราะห์แบบ ABC Analysis และได้ตัวแทนของรุ่นผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 39 รุ่นนี้จะต้องทำการวิเคราะห์รูปแบบการผลิตและข้อกำหนดต่างๆ ในการผลิตตามขั้นตอนในการศึกษางานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น

2.3.1 รูปแบบการผลิต

จากข้อมูลการผลิตพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่บริษัทจำหน่ายนั้นไม่ได้ผ่านการผลิตในทุกกระบวนการซึ่งขึ้นอยู่กับได้คการขาย โดยจำแนกออกมาเป็นรูปแบบการผลิตทั้งหมด 14 รูปแบบที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 รูปแบบการผลิตทั้งหมดที่มีการผลิตแตกต่างกัน

กระบวนการผลิต		ยิงทราย+พ่นขาว	ผสมเคมี	อัดขึ้นรูปเย็น	อัดขึ้นรูปร้อน	อบผ้าเบรก	ฝนตกแต่ง	เผาหน้าผ้าเบรก	พ่นสี+อบสี	ยิงรหัสผลิต	ย้อมแผ่นซีม	ยักไฟฟ้าเบรก	ทาสีหน้าผ้าเบรก	ยัดทรายโรม่	จัดชุด	บรรจุกล่อง
รูปแบบการผลิต	1	/	/	/	/	/	/		/	/		/			/	/
	2	/	/	/	/	/	/		/	/					/	/
	3	/	/	/	/	/	/		/	/		/	/		/	/
	4	/	/	/	/	/	/	/	/	/		/			/	/
	5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/		/	/	/
	6	/	/	/	/	/	/		/	/			/		/	/
	7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/			/	/
	8	/	/	/	/	/	/		/	/	/	/	/		/	/
	9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/			/	/	/
	10	/	/	/	/	/	/	/	/	/					/	/
	11	/	/	/	/	/	/		/	/	/	/			/	/
	12	/	/	/	/	/	/		/	/	/				/	/
	13	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				/	/
	14	/	/	/	/	/	/		/	/	/		/		/	/

2.3.2 ข้อกำหนดในการผลิต

งานวิจัยนี้ได้จัดกลุ่มการคำนวณกำลังการผลิตตามประเภทของการผลิตออกเป็น 3 กลุ่ม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลการผลิต ซึ่งแต่ละกลุ่มมีสมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดกลุ่มการคำนวณกำลังการผลิตและสมการที่ใช้ในการคำนวณ

ลำดับ	ประเภทการผลิต	สมการที่ใช้
1	จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับ <u>ขนาดของชิ้นงานและจำนวนหลุมของแม่พิมพ์</u> โดยเป็นการผลิตแบบเบตซ์	สมการที่ (2), (3), (4), (5), (6)
2	จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับ <u>เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง</u> โดยเป็นการผลิตแบบทีละชิ้น	สมการที่ (2), (3), (4)
3	จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับ <u>เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานของพนักงาน</u> โดยเป็นการผลิตแบบทีละชิ้น	สมการที่ (2), (3), (4)

การคำนวณกำลังการผลิต ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$Production\ capacity\ (N) = (T-t)/(C+m) \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ T คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตต่อวัน (วินาที)

t คือ เวลาในการทำกิจกรรม การประชุมงานและเวลาพักของพนักงานต่อวัน (วินาที)

C คือ เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน (วินาที/ชิ้น)

m คือ เวลาในการติดตั้งเครื่องจักรและเวลาในการจัดเตรียมชิ้นงาน (วินาที/ชิ้น) [11]

การหาเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4)

$$\text{เวลามาตรฐาน } (C) = \text{เวลาปกติ} + \text{ค่าเผื่อในการทำงาน} \quad (3)$$

$$\text{เวลาปกติ} = \text{เวลาเฉลี่ยจากการจับเวลา} \times \% \text{ ประเมินความเร็วในการทำงาน} \quad (4)$$

กรณีที่มีรูปแบบการผลิตแบบเบตซ์ และจำนวนชิ้นงานที่ได้ในแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน การหาเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน ดังแสดงไว้ในสมการที่ (5)

$$C \text{ (วินาที/ชิ้น)} = \frac{\text{เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตของกลุ่ม } (C^*)}{\text{จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่ได้ของกลุ่ม } (N^*)} \quad (5)$$

จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่ได้ของกลุ่ม (N^*) หาได้จากสมการค่าเฉลี่ยเลขคณิตถ่วงน้ำหนัก [12] ถ้าให้ $w_1, w_2, \dots, w_n$ เป็นความสำคัญหรือน้ำหนักถ่วงของค่าจากการสังเกต $x_1, x_2, \dots, x_n$ ตามลำดับ ดังแสดงในสมการที่ (6)

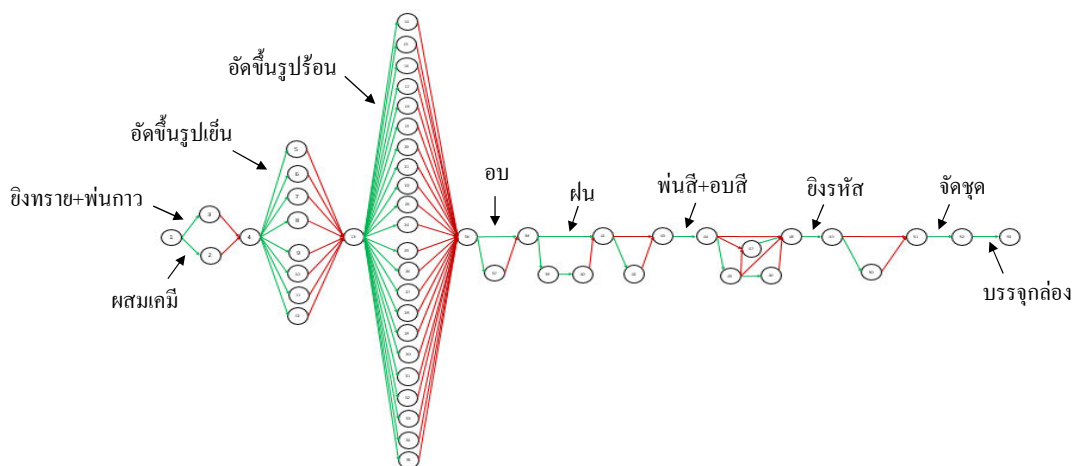
$$N^* \text{ (ชิ้น)} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

2.4 การสร้างแบบจำลองข้อมูลการไหลในข่ายงานและการประยุกต์ใช้โปรแกรม VBA วิเคราะห์หาคำตอบ

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยการแปลงรูปแบบการผลิตให้เป็นข่ายงานเพื่อจำลองเส้นทางการผลิตในปัจจุบันของบริษัทที่ศึกษาและแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของกระบวนการผลิต

- โดยกำหนดให้
- โหนด S แทนโหนดต้นทางเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตแรก
 - โหนด T แทนโหนดปลายทางเป็นจุดสุดท้ายของกระบวนการผลิตสุดท้าย
 - โหนด U,V แทนจุดเชื่อมต่อระหว่างกระบวนการผลิต (ตัวเลขโหนด)
 - ความจุเส้นเชื่อม แทนกำลังการผลิตเครื่องจักรของแต่ละเครื่อง
 - เส้นเชื่อมหรือกิ่ง แทนเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการผลิต (เส้นสีเขียว)
 - เส้นสมมติ แทนเส้นเชื่อมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณ (เส้นสีแดง)
 - ลูกศรบนเส้นเชื่อมแทนทิศทางการผลิตแต่ละกระบวนการผลิต

เส้นเชื่อมสมมติที่สร้างขึ้นมานั้นเพื่อให้สามารถคำนวณอัตราการใช้ในแบบจำลองได้ โดยความจุของเส้นสมมติจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่ากำลังการผลิตของเครื่องจักรที่เชื่อมต่อกันก็ได้ อย่างไรก็ตามการสรุปผลจะไม่นำเส้นสมมติมาวิเคราะห์แต่จะนำเส้นเชื่อมที่เป็นตัวแทนของเครื่องจักรมาวิเคราะห์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแปลงรูปแบบการผลิตให้เป็นข่ายงาน

หลังจากนั้นแปลงรูปแบบการผลิตจากข่ายงานให้เป็นตารางข้อมูลดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยงานวิจัยนี้จะเขียนโปรแกรมจากการใช้ Labeling algorithm และ Generic augmenting path algorithm ใน Visual Basic for Application บน Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาอัตราการใช้สูงสุดของระบบ

ตารางที่ 4 ตารางข้อมูลจากการแปลงรูปแบบการผลิตของช่างงาน

จากโหนด	ถึงโหนด	กำลังการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จากโหนด	ถึงโหนด	กำลังการผลิต	ชื่อเครื่องจักร
1	2	30390	ยิงทราย+พ่นขาว	48	49	56842	ยิงรหัสผลิต
1	3	32400	ผสมเคมี	49	50	52812	ย้ายไฟฟ้าเบรก
2	4	30390	เส้นสมมติ	49	51	52812	เส้นสมมติ
3	4	32400	เส้นสมมติ	50	51	52812	เส้นสมมติ
4	5	3580	อัดขึ้นรูปเย็น1	51	52	31556	จัดชุด
4	6	3390	อัดขึ้นรูปเย็น2	52	53	44751	บรรจุกล่อง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลสัดส่วนผลต่างระหว่างยอดการผลิตจริงกับยอดการผลิตจากการประมาณค่าที่ใช้คำนวณในโปรแกรม โดยใช้ข้อมูลตัวแทนรุ่นผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาจำนวน 39 รุ่นมาวิเคราะห์เพื่อให้ระบบมีความเชื่อมั่น ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นข้อมูลยอดการผลิตเฉลี่ยต่อวันและยอดการผลิตเฉลี่ยทั้งหมด 6 เดือน พบว่า การผลิตจริงมีการเพิ่มชั่วโมงนอกเวลา (OT) ให้กับพนักงานทำให้ยอดการผลิตเพิ่มขึ้นและมีเครื่องจักรอัดขึ้นรูปร้อนเสียซึ่งอยู่ในระหว่างการซ่อมจึงส่งผลทำให้ยอดการผลิตจริงลดลง จากผลการประมาณค่าให้คำตอบที่มากกว่ายอดการผลิตจริงโดยมีค่าเฉลี่ยผลต่างที่ 8% และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8.9 ทั้งนี้แบบจำลองสามารถคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการใช้สูงสุดของระบบได้และสามารถนำข้อมูลจากการประมาณค่ามาใช้วิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถวิเคราะห์ผลการจำลองเส้นทางการผลิตโดยแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

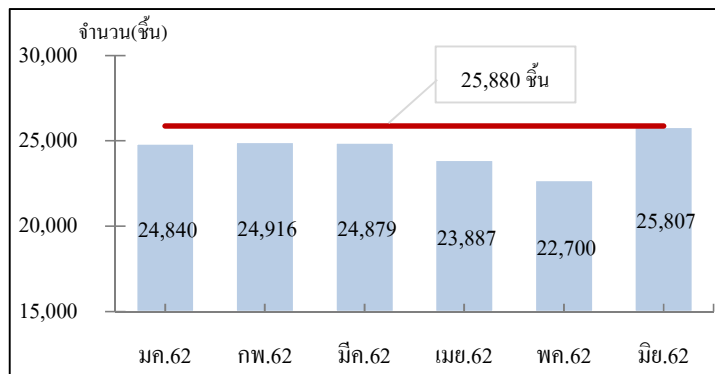
3.1 ผลจากการประมาณค่าอัตราการใช้สูงสุดโดยทำการผลิตทุกเครื่องจักร

หากบริษัทต้องการผลิตทุกเครื่องจักรและใช้กำลังการผลิตของเครื่องจักรให้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด โดยผลการหาอัตราการใช้สูงสุดของโปรแกรมพบว่า บริษัทสามารถผลิตชิ้นงานได้สูงสุดคือ 25,880 ชิ้นต่อวัน และยังทราบถึงอัตราการใช้งานเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ ซึ่งสามารถสรุปกำลังการผลิตคงเหลือในแต่ละกระบวนการ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปผลกำลังการผลิตคงเหลือในแต่ละกระบวนการโดยผลิตทุกเครื่องจักร

ชื่อกระบวนการ	คงเหลือ (ชิ้น/วัน)	%คงเหลือจากอัตราการใช้สูงสุด	ชื่อกระบวนการ	คงเหลือ (ชิ้น/วัน)	%คงเหลือจากอัตราการใช้สูงสุด
ยิงทราย+พ่นขาว	4510	17%	ฝน2	3620	14%
ผสมเคมี	6520	25%	พ่นสี+อบสี	7487	29%
อัดขึ้นรูปเย็น	0	0%	ยิงรหัสผลิต	30962	120%
อัดขึ้นรูปร้อน	8680	34%	จัดชุด	5676	22%
อบ	8680	34%	บรรจุกล่อง	18871	73%
ฝน1	8260	32%	อัตราการใช้สูงสุดของระบบคือ 25,880 ชิ้น/วัน		

จากผลการวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่บริษัทสามารถทำการผลิตได้ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบยอดการผลิตจริงเฉลี่ยขึ้นต่อวันของแต่ละเดือนเทียบกับผลอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากโปรแกรมเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการผลิตก่อนและหลังการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบยอดการผลิตจริงเฉลี่ยขึ้นต่อวันกับผลอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากโปรแกรม

จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าการใช้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดทำให้บริษัทสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตขึ้นงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอีก 1,375 ชิ้นต่อวันหรือคิดเป็น 5.6 % ซึ่งก่อนหน้านี้ ใช้การวิเคราะห์กำลังการผลิตด้วยกระบวนการที่เป็นคอขวด ทำให้เกิดการใช้เครื่องจักรไม่เต็มประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Prudtipong [1] คือศึกษาเส้นทางการระบายน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาป่าสักใต้จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยหาความสามารถในการระบายน้ำสูงสุดที่ประตูระบายน้ำ ผลที่ได้คือ ค่าเฉลี่ยการระบายน้ำสูงสุดเท่ากับ $24.33 \text{ m}^3/\text{s}$ ส่งผลทำให้ทราบถึงความสามารถในการระบายน้ำในเส้นทางนั้นได้เป็นอย่างดี อีกหนึ่งงานวิจัยที่สนับสนุนการใช้แบบจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดคืองานวิจัยของ Praewnapa [3] สืบเนื่องจากเหตุการณ์น้ำท่วมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยปี 2554 เกิดความเสียหายในหลายพื้นที่โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร น้ำไม่สามารถระบายลงสู่อ่าวไทยได้ทันเวลา จึงต้องหาปริมาณน้ำสูงสุดของน้ำจากทางตอนบนของกรุงเทพมหานครลงสู่อ่าวไทย โดยผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของน้ำคือ 228,960,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้นี้ไปใช้ในการบริหารจัดการการผันน้ำของหน่วยงานได้เป็นอย่างดี

3.2 ผลจากการประมาณค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดกรณีเพิ่มเครื่องจักร

การวิเคราะห์ผลของกรณีนี้เกิดจากการที่บริษัทได้ตั้งเป้าหมายในการเพิ่มกำลังการผลิตในอนาคต จากตารางสรุปผลที่ 5 ทำให้เห็นว่ากระบวนการอัดขึ้นรูปเย็นไม่มีกำลังการผลิตคงเหลือ จึงทำการวิเคราะห์ผลโดยการเพิ่มเครื่องจักรอัดขึ้นรูปเย็น 1 เครื่องในกระบวนการผลิต ซึ่งจะส่งผลให้บริษัทสามารถมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีก 3,390 ชิ้นต่อวัน ทำให้มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบรวมเป็น 29,270 ชิ้นต่อวัน โดยแต่ละกระบวนการยังคงมีกำลังการผลิตคงเหลือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6 ผลสุดท้ายจะทำให้บริษัทมีความสามารถในการผลิตขึ้นงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอีก 4,765 ชิ้นต่อวันหรือคิดเป็น 19.4 %

ตารางที่ 6 สรุปผลกำลังการผลิตคงเหลือในแต่ละกระบวนการจากการเพิ่มเครื่องจักร

ชื่อ กระบวนการ	คงเหลือ (ชิ้น/วัน)	%คงเหลือจาก อัตราการไหลสูงสุด	ชื่อ กระบวนการ	คงเหลือ (ชิ้น/วัน)	%คงเหลือจาก อัตราการไหลสูงสุด
ยิงทราย+พ่นขาว	1120	4%	ฝน2	230	1%
ผสมเคมี	3130	11%	พ่นสี+อบสี	4097	14%
อัดขึ้นรูปเย็น	0	0%	ยิงรหัสผลิต	27572	94%
อัดขึ้นรูปร้อน	5290	18%	จัดชุด	2286	8%
อบ	5290	18%	บรรจุกล่อง	15481	53%
ฝน1	4870	17%	อัตราการไหลรวมสูงสุดของระบบคือ 29,270 ชิ้น/วัน		

4. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองข้อมูลการไหลในข่ายงานมาจำลองเส้นทางการผลิตและหาอัตราการไหลสูงสุดของกระบวนการผลิตผ้าเบรกทั้งระบบ จากปัญหาความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และการผลิตผ้าเบรคนั้นทำให้เกิดความยุ่งยากในการวางแผนการผลิตและการวิเคราะห์กำลังการผลิตสูงสุด ส่งผลให้เกิดการใช้เครื่องจักรได้ไม่เต็มประสิทธิภาพทำให้สูญเสียโอกาสในการผลิต รวมไปถึงส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของแผนการเพิ่มกำลังการผลิตในอนาคตที่อาจสูงมากขึ้น ดังนั้นจึงได้ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาโดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลของบริษัท จากนั้นใช้การวิเคราะห์แบบเอพิซีเพื่อเลือกตัวแทนผลิตภัณฑ์ในการเก็บข้อมูล และประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเลเบลและวิธีขยายในการหาอัตราการไหลสูงสุด ตั้งแต่กระบวนการผลิตแรกไปจนถึงกระบวนการสุดท้าย ผลการวิจัยพบว่า บริษัทสามารถผลิตผ้าเบรกได้สูงสุด 25,880 ชิ้นต่อวัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับยอดการผลิตจริงเฉลี่ยต่อวันแล้วพบว่า บริษัทสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นงานได้อีก 1,375 ชิ้นต่อวันหรือคิดเป็น 5.6 % และหากบริษัทต้องการเพิ่มกำลังการผลิตโดยการเพิ่มเครื่องจักรอัดขึ้นรูปเย็น 1 เครื่องในอนาคต บริษัทสามารถผลิตชิ้นงานเพิ่มขึ้นอีก 4,765 ชิ้นต่อวันหรือคิดเป็น 19.4 % รวมเป็น 29,270 ชิ้นต่อวันซึ่งตรงตามเป้าหมายของบริษัทที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิต นอกจากนี้บริษัทสามารถทราบอัตราการใช้งานเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการผลิต โดยแบบจำลองนี้ช่วยให้บริษัทวิเคราะห์กำลังการผลิตของระบบได้อย่างแม่นยำและใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการผลิต การเพิ่มกำลังการผลิต และแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการผลิตได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Pengsiri, "The Analysis of Floodgate Network Based on A Combination of Betweenness Centrality and Maximum Flow," Journal of information science and technology, Vol. 6, No. 1, 2016, pp. 25-33.
- [2] S. Kokun, "Peak Flow Simulation using an Antecedent Precipitation Index Method in Upper Chi Basin," Master of Engineering, Water Resources Engineering, Kasetsart University, 2014.

- [3] P. Inta and K. Puntusavase, "Applying algorithms to determine the maximum flow of water in Bangkok using the maximum flow model," Thai Journal of Operations Research, Vol. 6, No. 1, 2018, pp. 31-39.
- [4] A. Ngaosai, "Technique for Computing Duration of Turn on Traffic Light Based on Maximum Flow Theorem," Master of Science, Computer Science, Chiang Mai University, 2018.
- [5] W. Sae-ang, "Process improvement proposal analysis using industrial simulation," Master of Engineering, Engineering Management, Burapha University, 2015.
- [6] S. Velumani and H. Tang, "Operations status and bottleneck analysis and improvement of a batch process manufacturing line using discrete event simulation," Procedia Manufacturing, Vol. 10, 2017, pp. 100-111.
- [7] P. Dolgoplov, D. Konstantinov, L. Rybalchenko and R. Muhitovs, "Optimization of train routes based on neuro-fuzzy modeling and genetic algorithms," Procedia Computer Science, Vol. 149, 2019, pp. 11-18.
- [8] S. Bosittipichet, "The parts conveyance routing under limitation of area and time," Master of Science, Transport and logistics management, Burapha University, 2013.
- [9] R.K. Ahuja, T.L. Magnanti and J.B. Orlin, Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications, 1st edition, Prentice-Hall, New Jersey, 1993.
- [10] Department of Industrial Promotion, ABC Analysis [Online], Available: <https://bsc.dip.go.th/th/search-advance?s=ABC+analysis> [July 25, 2019].
- [11] R. Kanjanapanyakom, Industrial work study, Top Publishing, Bangkok, 2009.
- [12] The princess, ค่าเฉลี่ยเลขคณิตถ่วงน้ำหนัก (Weighted arithmetic mean) [Online], Available: <https://nutnuntasen.wordpress.com/ค่าเฉลี่ยเลขคณิตถ่วงน้ำหนัก/> [September 20, 2019].