

การลดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัวโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

นายคณินท์พงศ์ ตระกูลวิธานธำรง

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2568
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การลดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัวโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

นายคณินท์พงศ์ ตระกูลวิธานธำรง



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การลดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัวโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

โดย นายคณินท์พงศ์ ตระกูลวิธานธำรง

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย / หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ มีถม)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ณฤทธิ์ศักดิ์ ตันติทิพย์วรรณ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมาวุฒฒ์)

ชื่อ : นายคณินท์พงศ์ ตระกูลวิธานธำรง
ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การลดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัวโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง
สาขาวิชา : วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ดร.ณฤทธิ์ศักดิ์ ตันติทิพย์วรรณ
ปีการศึกษา : 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว เพื่อลดปริมาณการบรรจุน้ำหนักเกินซึ่งเป็นความสูญเสียสำคัญในกระบวนการผลิตอาหารของโรงงานกรณีศึกษา โดยในสภาวะปัจจุบันพบว่าการบรรจุน้ำหนักเกินเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 1.23 ของน้ำหนักบรรจุมาตรฐาน คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียประมาณ 3.99 ล้านบาทต่อปี งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการ เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยการออกแบบการทดลองทั้งช่วงน้ำหนักบนจานรับ การทดลองแบบแฟกทอเรียลของแรงสั่นเวลาสั่นการกระจายสินค้า มาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน รวมถึงการกำหนดน้ำหนักขอบบน ความเร็วสูงสุดในการชั่ง และระบบเปิดปิดการรอสินค้าตามสมมุติฐานการคำนวณทางวิศวกรรม เพื่อหาค่าที่เหมาะสมภายใต้สภาพการผลิตจริง ผลการวิจัยพบว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ตามผลการออกแบบการทดลองสามารถลดค่าการบรรจุน้ำหนักเกินเฉลี่ยจากร้อยละ 1.23 เหลือ 0.91 คิดเป็นการลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 และสามารถลดความสูญเสียได้มากกว่า 1.04 ล้านบาทต่อปี โดยผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองสามารถช่วยลดความสูญเสียของกระบวนการผลิตอาหาร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้

(มีจำนวนทั้งสิ้น 78 หน้า)

คำสำคัญ : เครื่องชั่งแบบหลายหัว, การทดลองแฟกทอเรียล

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Mr. Khaninphong Trakulwithanthamrong

Independent Study Title : Reduction of GiveAway in Multihead Weighing and Packaging Processes Using Design of Experiments

Major Field : Industrial Management Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Independent Study Advisor : Naritsak Tuntitippawan

Academic Year : 2025

ABSTRACT

This research aimed to develop and improve the weighing and packaging process using a multihead weighing machine in order to reduce product giveaway, which represents a major source of loss in the food production process of a case-study factory. Under current operating conditions, the average product giveaway was found to be 1.23% of the standard package weight, resulting in an estimated annual loss of approximately 3.99 million Thai Baht. This study applied the principles of Design of Experiments in conjunction with process data analysis to investigate the effects of critical process parameters. The experimental design included the evaluation of weight levels on the distribution plate and factorial experiments on vibration force and vibration time of the product distribution system. Significant factors were identified using Analysis of Variance. In addition, engineering-based calculations were employed to determine appropriate upper weight limits, maximum weighing speed, and product waiting control mechanisms to achieve optimal operating conditions under real production environments. The results demonstrated that adjusting machine parameters based on the experimental findings effectively reduced the average product giveaway from 1.23% to 0.91%, representing a reduction of at least 26%, and resulted in annual cost savings of more than 1.04 million Thai Baht. The findings indicate that the application of Design of Experiments provides an effective approach for reducing process losses and improving operational efficiency in food manufacturing processes. Furthermore, the proposed methodology can be extended to other production systems with similar operational characteristics.

(Total 78 Pages)

Keywords: Multihead weighing machine, Factorial experiment

_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ดร.ณฤทธิ์ศักดิ์ ตันติทิพย์วรรณ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนวคิด และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างใกล้ชิด ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของงานวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงคณะผู้บริหารของโรงงานที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้าศึกษากระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ ตลอดจนวิศวกรผู้ผลิตเครื่องจักรที่ให้การสนับสนุนองค์ความรู้ ข้อมูลทางเทคนิค และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ซึ่งล้วนเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจที่ดีเสมอมา ตลอดระยะเวลาของการศึกษา

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนทั้งด้านกำลังใจอย่างต่อเนื่อง จนทำให้ผู้วิจัยสามารถสำเร็จการศึกษาได้ตามเป้าหมาย รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณบูรพคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และวางรากฐานทางการศึกษาให้แก่ผู้วิจัยตั้งแต่เตรียมเข้าศึกษาจนถึงปัจจุบัน

คณินท์พงศ์ ตระกูลวิธานธำรง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

สารบัญรูปภาพ (ต่อ) ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ของผลการวิจัย 4

1.6 แผนงานการดำเนินงานวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead 6

2.2 ทฤษฎีการผลิตแบบ Lean Manufacturing และการลดความสูญเสีย 7

2.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง 12

2.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 21

2.5 ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐาน 23

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 33

3.1 การสำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการชั่งบรรจุ 36
3.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 39
3.3 การกำหนดปัจจัยและตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง 41
3.4 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง 43
3.5 วิธีการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล 54
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย 58
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง 58
4.2 การเลือกการตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสม 62
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง 63
4.4 การตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูล 66
4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 67
4.6 การวิเคราะห์หาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม 69
4.7 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง 70
4.8 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง 71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 73
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 73
5.2 ข้อเสนอแนะ 74
บรรณานุกรม 76
ประวัติผู้เขียน 78

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 ขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาการดำเนินการศึกษา 5

2-1 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน 26

3-1 แสดงการคำนวณความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ตามน้ำหนักบรรจุต่อถุงในแต่ละสินค้า..... 47

3-2 การทดลองปรับระดับน้ำหนักบนจานรับของสินค้าประเภทไก่คาราเกะทั้งหมด 3 ครั้ง 49

3-3 ปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลองแรงสั่น เวลาสั่นของการกระจายสินค้า..... 51

3-4 การกำหนดระดับปัจจัยแรงสั่น เวลาสั่นของการกระจายสินค้า..... 51

3-5 แสดงรูปแบบการทดลองแรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้าแบบแฟกทอเรียลเต็ม 52

4-1 ผลการทดลองปรับระดับน้ำหนักบนจานรับของสินค้าประเภทไก่คาราเกะทั้งหมด 3 ครั้ง..... 59

4-2 ผลการทดลองแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้าแบบแฟกทอเรียลเต็ม 60

4-3 สรุปผลการทดลองตัวแปรที่ใช้ตั้งค่าเครื่องชั่งแบบหลายหัวตามสมมติฐานดังนี้ 63

4-4 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่ 4-2 แรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้า 67

4-5 สรุปตัวแปรที่ใช้ตั้งค่าเครื่องชั่งบรรจุแบบหลายหัวตามสมมติฐานการทดลองมีดังนี้ 70

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 ข้อมูลกระบวนการผลิตอาหารสินค้าทอดทอดของโรงงานแปรรูปไก่ 2

1-2 ข้อมูลน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการบรรจุสินค้าที่ผ่านเครื่องชั่ง Multihead ตั้งแต่เดือนมกราคม-สิงหาคม พ.ศ. 2568 2

2-1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัวชนิดชั้นเดียว 7

2-2 ตัวอย่างแผนผังก้างปลา 10

2-3 ตัวอย่างแผนภูมิคน-เครื่องจักร 12

2-4 ปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง 14

2-5 องค์ประกอบในการศึกษา DOE 18

2-6 การออกแบบ 2k แฟกทอเรียล กรณี 3 ปัจจัย 22

2-7 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 25

3-1 แนวคิดการเก็บและรวบรวมข้อมูลการผลิตของงานวิจัย 34

3-2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 35

3-3 ระบบสายพานลำเลียงแบบเคลื่อนที่ในแนวนอน และเครื่องชั่งแบบหลายหัว 37

3-4 ระบบสายพานลำเลียง และเครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุง 37

3-5 แผนภูมิก้างปลาแสดงการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead 39

3-6 แผนภูมิคน-เครื่องจักร กระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead 40

3-7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead 42

3-8 แสดงลักษณะของสินค้าไก่คาราเกะ 48

3-9 แสดงวิธีการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล 56

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-1 กราฟผลการทดลองจำนวนครั้งการล้นของไก่บนจานรับตามตัวแปรน้ำหนักตั้งค่าจานรับ 59

4-2 กราฟแผนที่ความร้อนของผลการทดลองแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า 62

4-3 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างของการตารางการทดลองที่ 4-2 64

4-4 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลองของตารางการทดลองที่ 4-2 64

4-5 แสดงความแปรปรวนของส่วนตกค้างการทดลองที่ 4-2 แต่ละกลุ่มของแรงสั่นของการกระจายสินค้า 65

4-6 แสดงความแปรปรวนของส่วนตกค้างการทดลองที่ 4-2 แต่ละกลุ่มของเวลาสั่นของการกระจายสินค้า 65

4-7 ผลลัพธ์การหาค่าอำนาจของการทดสอบของข้อมูลตารางการทดลองที่ 4-2 66

4-8 กราฟผลลัพธ์การหาค่าอำนาจของการทดสอบของข้อมูลตารางการทดลองที่ 4-2 67

4-9 กราฟพาเรโตแสดงอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า..... 68

4-10 อิทธิพลหลักแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า 69

4-11 อิทธิพลร่วมแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า 69

4-12 กราฟแท่งแสดงน้ำหนักบรรจุเกินที่ผ่านเครื่องชั่งแบบหลายหัว 6 เดือนย้อนหลัง 71

4-13 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรจุเกินก่อนและหลังการทดลอง..... 71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการผลิตอาหารเป็นหนึ่งในภาคธุรกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและการดำรงชีวิตของประชาชน โดยมีการแข่งขันที่เข้มข้นทั้งในด้านคุณภาพ ความปลอดภัย และต้นทุนการผลิต โรงงานผู้ผลิตอาหารจึงจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน โดยเฉพาะในกระบวนการบรรจุสินค้า ซึ่งถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะส่งมอบไปยังผู้บริโภค ความถูกต้องของน้ำหนักบรรจุและคุณภาพบรรจุภัณฑ์จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค ตลอดจนความเชื่อมั่นในตราสินค้า

ปัจจุบันโรงงานผลิตอาหารจำนวนมากนิยมใช้เครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถบรรจุสินค้าได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำสูง และรองรับการทำงานกับผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เครื่อง Multihead ทำงานโดยการสุ่มเลือกค่าจากหัวชั่งหลายหัวมารวมกันให้ได้ใกล้เคียงกับน้ำหนักเป้าหมายมากที่สุด อย่างไรก็ตามแม้จะเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ แต่ในทางปฏิบัติพบว่ามีปัญหาการบรรจุเกินมาตรฐานที่กำหนด หรือที่เรียกว่า “GiveAway” ซึ่งหมายถึงการบรรจุน้ำหนักเกินจากที่กำหนดในฉลากหรือมาตรฐานการบรรจุสินค้า

การเกิดน้ำหนักบรรจุเกินมักเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องชั่งที่ไม่เหมาะสม ความแปรปรวนของลักษณะวัตถุดิบ เช่น ขนาด รูปร่าง หรือความหนาแน่นของชิ้นอาหาร รวมถึงความเร็วในการบรรจุที่อาจส่งผลต่อความแม่นยำของการชั่งน้ำหนัก ปัญหานี้แม้จะดูเหมือนเล็กน้อย แต่มีผลกระทบโดยตรงต่อ ต้นทุนการผลิต เนื่องจากการบรรจุเกินไปเพียงเล็กน้อยในแต่ละหน่วยผลิตภัณฑ์ เมื่อสะสมในปริมาณการผลิตที่สูงต่อวันหรือเดือน จะทำให้โรงงานสูญเสียวัตถุดิบจำนวนมากที่ควรนำไปใช้สร้างมูลค่าได้

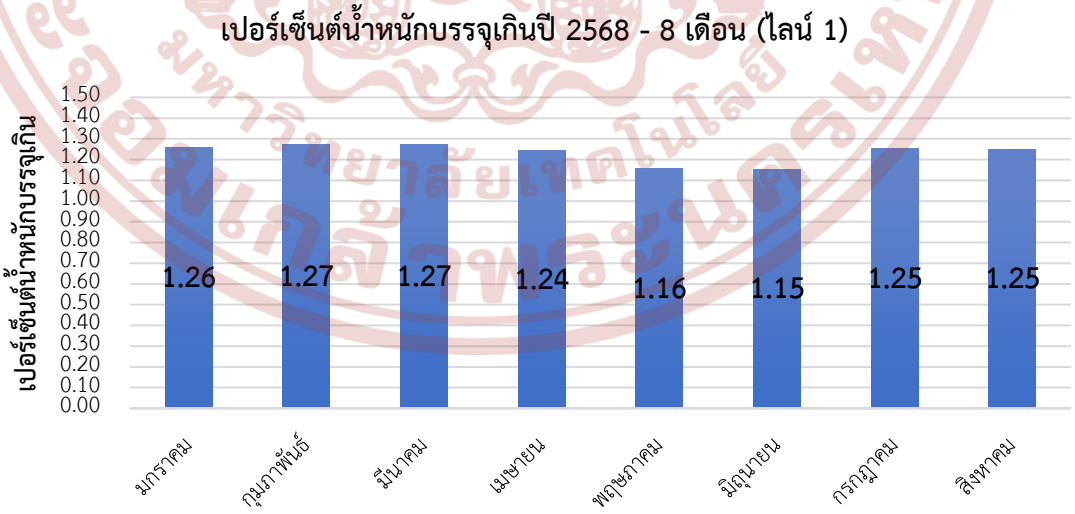
ความสำคัญของการลดปัญหาน้ำหนักบรรจุเกินจึงมีอยู่ในหลายมิติ ได้แก่ ด้านเศรษฐกิจ การลดการบรรจุเกินช่วยให้โรงงานสามารถควบคุมต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลกำไรได้อย่างเป็นรูปธรรม ด้านคุณภาพและมาตรฐาน การควบคุมน้ำหนักบรรจุให้อยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานที่สุดจะช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภคและคู่ค้า ด้านการจัดการผลิต การปรับปรุงกระบวนการทำงานของเครื่องชั่งหลายหัวให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นการลดความสูญเสีย ตามแนวคิด Lean

Manufacturing และด้านการแข่งขันทางธุรกิจ โรงงานที่สามารถลดน้ำหนักบรรจุเกินได้จะมีความได้เปรียบในการแข่งขัน เนื่องจากสามารถลดต้นทุนได้โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของสินค้า

ดังนั้นการศึกษาและหาวิธีการลดปัญหาน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว จึงเป็นประเด็นที่มีความสำคัญอย่างยิ่งทั้งในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ เนื่องจากสามารถสร้างองค์ความรู้ในการจัดการและควบคุมการบรรจุสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งช่วยยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันของโรงงานผลิตอาหารในตลาดที่มีการแข่งขันสูงอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 1-1 ข้อมูลกระบวนการผลิตอาหารสินค้าทอดทอดของโรงงานแปรรูปไก่



ภาพที่ 1-2 ข้อมูลน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการบรรจุสินค้าที่ผ่านเครื่องชั่ง Multihead ตั้งแต่เดือน มกราคม-สิงหาคม พ.ศ. 2568

จากภาพที่ 1.2 แสดงข้อมูลน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการบรรจุสินค้าที่ผ่านเครื่องชั่งแบบหลายหัวที่มีขนาดบรรจุสินค้ามากกว่า 500 กรัมต่อหน่วยขึ้นไป ที่เกิดขึ้นในโรงงานแปรรูปไก่ 1 สายการผลิตเป็นกรณีศึกษา จากการตรวจสอบและเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 ทั้งหมด 8 เดือน พบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการบรรจุน้ำหนักเกินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.23 เปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักบรรจุมาตรฐาน จากยอดการผลิตสะสม 2,166 ตัน เมื่อคิดเป็นปริมาณที่บรรจุเกินไปเท่ากับ 26.6 ตัน นำมาคิดกับราคาขายสินค้าที่ 150 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 3.99 ล้านบาทต่อปี จากข้อมูลความสูญเสียที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยและผู้เกี่ยวข้องของโรงงานกรณีศึกษาเห็นว่าเป็นปัญหาที่ต้องนำมาปรับปรุงอย่างเร่งด่วน ผู้วิจัยจึงสนใจเลือกหัวข้อปัญหานี้มาทำการแก้ไข และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนจากการลดการบรรจุน้ำหนักเกิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการชั่งบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว โดยมีเป้าหมายลดปริมาณการบรรจุน้ำหนักเกิน จากค่าเฉลี่ยเดิมร้อยละ 1.23 ให้น้อยกว่า 1 หรือลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 16

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาปัญหาการบรรจุน้ำหนักเกิน ในกระบวนการบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ที่มีขนาดบรรจุสินค้ามากกว่า 500 กรัมต่อหน่วยขึ้นไปของโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น

1.3.2 เน้นการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การตั้งค่าเครื่องจักร ความแปรปรวนของวัตถุดิบ และวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานที่เกี่ยวข้อง

1.3.3 ผลการวิจัยจะนำเสนอแนวทางและข้อเสนอแนะในการลดการบรรจุน้ำหนักเกินของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead โดยไม่ครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตอื่น ๆ ที่อยู่นอกเหนือขั้นตอนการบรรจุสินค้า

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษา และเก็บข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของกระบวนการชั่งและบรรจุอาหาร

1.4.2 ทำการศึกษาทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และแนวทางการลดการเกิดน้ำหนักบรรจุเกิน

1.4.3 ออกแบบการทดลองและการเก็บข้อมูล เพื่อวิเคราะห์สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของกระบวนการชั่งและบรรจุอาหาร

1.4.4 ดำเนินการทดลองตามรูปแบบที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการเก็บข้อมูลการบรรจุสินค้าด้วยเครื่อง Multihead จากกระบวนการผลิตจริง และสังเกตการณ์ขั้นตอนการทำงานของพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเครื่องจักร

1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดน้ำหนักบรรจุเกิน

1.4.6 ดำเนินการทดลองปรับเปลี่ยนค่าการตั้งเครื่อง Multihead และปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงาน รวมถึงเก็บข้อมูลการผลิตหลังการปรับปรุงเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนหน้า

1.4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ และผลลัพธ์ของการปรับปรุงกระบวนการ รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับโรงงานในการลดการเกิดน้ำหนักบรรจุเกิน

1.5 ประโยชน์ของผลการวิจัย

1.5.1 ช่วยให้โรงงานสามารถลดปริมาณการเกิดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการบรรจุสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ช่วยลดต้นทุนการผลิตจากการสูญเสียวัตถุดิบที่เกิดจากการบรรจุเกินมาตรฐาน

1.5.3 เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง Multihead และยกระดับคุณภาพการผลิต

1.5.4 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหากับกระบวนการผลิตอื่น ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

1.6 แผนงานการดำเนินงานวิจัย

ในส่วนของแผนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดลำดับขั้นตอน และระยะเวลาการดำเนินการศึกษา แสดงได้ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาการดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2568						พ.ศ. 2569					
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1. ทำการศึกษา และเก็บข้อมูลสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของกระบวนการชั่งและบรรจุอาหาร												
2. ทำการศึกษาทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ และแนวทางการลดการเกิดน้ำหนักบรรจุเกิน												
3. ออกแบบการทดลองและการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของกระบวนการชั่งและบรรจุอาหาร												
4. ดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูลการชั่งและบรรจุสินค้าด้วยเครื่อง Multihead จากกระบวนการผลิตจริง												
5. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดน้ำหนักบรรจุเกิน												
6. ดำเนินการทดลองปรับเปลี่ยนค่าการตั้งเครื่อง Multihead และปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงาน												
7. สรุปผลการวิเคราะห์ และผลลัพธ์ของการปรับปรุงกระบวนการ รวมถึงข้อเสนอแนะ												

ในบทนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา รวมไปถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต วิธีการ และแผนการดำเนินการวิจัย ในบทต่อไปผู้วิจัยจะทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการชั่งบรรจุสินค้า วิธีการปฏิบัติงานสำหรับเครื่องชั่งหลายหัว การเตรียมเครื่องจักร วิธีการลดการเกิดน้ำหนักบรรจุเกิน และทฤษฎีการออกแบบการทดลองว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลในกระบวนชั่งและบรรจุ โดยมีอิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลของปัจจัยร่วม ตลอดจนการศึกษางานวิจัยที่ได้นำวิธีการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ รวมไปถึงการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ประกอบไปด้วย เครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead แนวคิดน้ำหนักบรรจุเกิน การผลิตแบบ Lean Manufacturing และการลดความสูญเสีย (Waste) การควบคุมคุณภาพและการวิเคราะห์เชิงสถิติ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead

2.2 ทฤษฎีการผลิตแบบ Lean Manufacturing และการลดความสูญเสีย

2.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

2.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

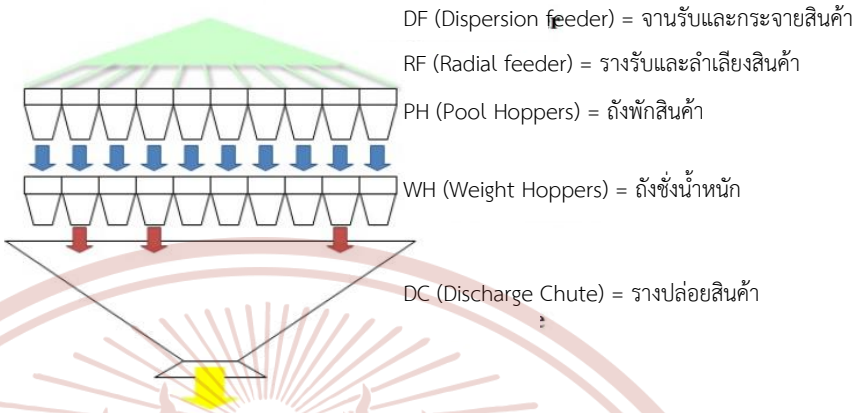
2.5 ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐาน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead

Enrique del Castillo (2558) ได้กล่าวไว้ว่า เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัว (Multihead Weighing Machine: MWM) หรือที่เรียกว่าเครื่องชั่งน้ำหนักเชิงผสม เป็นเครื่องจักรที่ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้สำหรับบรรจุสินค้าหรือชิ้นส่วนขนาดเล็กให้ได้น้ำหนักตามค่าที่กำหนด เครื่องจักรชนิดนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การบรรจุพาสต้า เมล็ดกาแฟ ธัญพืช ขนมขบเคี้ยว ลูกอม ผัก รวมถึงชิ้นส่วนเนื้อสัตว์ และยังถูกนำไปใช้ในการบรรจุสินค้าที่ไม่ใช่อาหาร เช่น คลิป ตะปู สกรู และชิ้นส่วนฮาร์ดแวร์ขนาดเล็กอื่น ๆ ปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องชั่งแบบหลายหัวรายหนึ่งซึ่งเป็นผู้นำตลาดโลก มีการติดตั้งเครื่องจักรชนิดนี้มากกว่า 31,000 เครื่องทั่วโลก แสดงให้เห็นถึงความสำคัญและการยอมรับในภาคอุตสาหกรรม

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัวประกอบด้วยระบบป้อนสินค้า ชุดถังพัก (Pool Hoppers) จำนวน H ชุดถังชั่งน้ำหนัก (Weight Hoppers) จำนวน H และรางปล่อยสินค้าเข้าสู่เครื่องบรรจุ สินค้าจะถูกป้อนอย่างต่อเนื่องผ่านตัวกระจายกลางและรางป้อนแบบสั่นไปยังถังพัก ซึ่งทำหน้าที่รักษาความเสถียรของสินค้า ก่อนปล่อยลงสู่ถังชั่งน้ำหนัก ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องกำหนดค่าน้ำหนักเฉลี่ยของสินค้าในแต่ละถังชั่งน้ำหนัก (u_i ,i = 1,2,...,H) ก่อนเริ่มการทำงานของเครื่องจักร โดยค่าน้ำหนักดังกล่าวไม่จำเป็นต้องเท่ากัน



ภาพที่ 2-1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัวชนิดชั้นเดียว

จากภาพที่ 2-1 เมื่อเริ่มการทำงาน ในแต่ละรอบการผลิต เครื่องจักรจะใช้อัลกอริทึมลักษณะ (Knapsack Algorithm) เพื่อเลือกชุดของถังชั่งน้ำหนักบางส่วนที่มีค่าน้ำหนักรวมใกล้เคียงกับน้ำหนักเป้าหมายมากที่สุด จากนั้นระบบควบคุมจะเปิดถังที่ถูกเลือกเพื่อปล่อยสินค้าเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ ขณะที่ถังบางส่วนอาจยังคงปิดและเก็บสินค้าไว้สำหรับรอบถัดไป กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นซ้ำสำหรับการบรรจุสินค้าแต่ละชิ้น โดยประสิทธิภาพของเครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัวขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้นของถังชั่งน้ำหนักเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม การตั้งค่าดังกล่าวมักอาศัยวิธีการลองผิดลองถูกตามประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอาจไม่ก่อให้เกิดค่าที่เหมาะสมที่สุด การมุ่งเน้นการศึกษาและวิเคราะห์เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัวที่มีโครงสร้างถังชั่งน้ำหนักเพียงหนึ่งชั้น ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบได้มากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม

หลักการทำงานของเครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัวอาศัยแนวคิดการลดความแปรปรวนของน้ำหนัก โดยการบรรจุสินค้าจากการรวมกันของสินค้าจากหลายถังชั่ง ส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างน้ำหนักของถังที่ถูกเลือกภายใต้เงื่อนไขของน้ำหนักรวมที่ต้องใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย กลไกดังกล่าวช่วยลดความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรจุ และลดปริมาณการบรรจุเกินหรือการสูญเสียวัตถุดิบ ขณะยังคงสามารถตอบสนองข้อกำหนดของน้ำหนักเป้าหมายได้

2.2 ทฤษฎีการผลิตแบบ Lean Manufacturing และการลดความสูญเสีย

Muhammad Naeem (2564) ได้กล่าวไว้ว่า แนวคิดการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) เป็นกลยุทธ์ที่มุ่งขจัดกระบวนการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ และช่วยให้องค์กรสามารถเพิ่มผลิตภาพในการดำเนินงานได้อย่างยั่งยืน การนำแนวคิดลีนมาใช้มักมีส่วนสำคัญต่อความอยู่รอดและความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนการผลิตซึ่ง

เป็นปัจจัยสำคัญที่องค์กรภาคการผลิตจำเป็นต้องให้ความสำคัญ การผลิตแบบลีนจึงถูกมองว่าเป็นเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มทั้งผลิตภาพและความสามารถในการทำกำไรขององค์กร ในภาคอุตสาหกรรม ปัจจัยด้านราคา ระยะเวลาการส่งมอบ และการควบคุมคุณภาพ ล้วนส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานโดยรวม การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนช่วยให้กระบวนการผลิตมีความรวดเร็ว ลดความสูญเปล่า และเพิ่มความคล่องตัวให้กับองค์กร การนำแนวคิดลีนมาใช้สามารถสร้างความได้เปรียบเชิงกลยุทธ์ และช่วยให้องค์กรสามารถแข่งขันในตลาดได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งองค์กรที่ดำเนินงานภายใต้แนวคิดลีนยังถูกคาดหวังให้ใช้กระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของการลดความสูญเปล่าทั้งในมิติทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

ปรัชญาการผลิตแบบลีนให้ความสำคัญกับการดำเนินงานแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time: JIT) และความสัมพันธ์กับผู้จัดส่ง โดยมีเป้าหมายหลักคือการกำจัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์หรือบริการ การลดต้นทุนและการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการทำกำไรและความพึงพอใจของลูกค้า ท่ามกลางการแข่งขันทางธุรกิจที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น องค์กรที่นำแนวคิดลีนมาใช้จึงมีแนวโน้มได้รับความได้เปรียบทางการแข่งขันอย่างชัดเจน การผลิตแบบลีนมีรากฐานมาจากระบบการผลิตของโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) ซึ่งพัฒนาขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1950 โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อขจัดความสูญเปล่า (Muda) และเพิ่มผลิตภาพ TPS เป็นระบบการจัดการที่มุ่งหลีกเลี่ยงกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม และเน้นการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง โดยความสูญเปล่าที่มักพบในกระบวนการผลิต ได้แก่ การผลิตมากเกินความจำเป็น การรอคอย การเก็บสินค้าคงคลัง การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น กระบวนการที่ซ้ำซ้อน และของเสียจากความบกพร่องของคุณภาพ รวมถึงยังเชื่อมโยงกับหลักการสำคัญสองประการ ได้แก่ JIT และ Jidoka ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสูงในต้นทุนที่ต่ำที่สุด งานวิจัยในช่วงที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการนำการผลิตแบบลีนมาใช้สามารถเพิ่มยอดขายและผลการดำเนินงานขององค์กรได้อย่างมีนัยสำคัญ

7 Waste (ความสูญเสีย 7 ประการ) แนวคิดในระบบการผลิตแบบ Lean Manufacturing ของโตโยต้า ที่มุ่งลดกิจกรรมที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่ม (Non-Value Added) ในกระบวนการผลิตและทำงาน เพื่อลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ และคุณภาพ โดยประกอบด้วยความสูญเสียด้านการผลิตมากเกินไป รอคอย ขนส่ง เคลื่อนไหว ประมวลผล สินค้าคงคลัง และของเสีย โดยสรุป 7 ความสูญเสีย ได้แก่

ก) การผลิตมากเกินไป (Overproduction)

ข) การรอคอย (Waiting)

ค) การขนส่งที่ไม่จำเป็น (Transportation)

ง) การประมวลผลมากเกินไป (Over-processing)

จ) สต็อก/สินค้าคงคลัง (Inventory)

ฉ) การเคลื่อนไหว (Motion)

ช) ของเสีย/ข้อผิดพลาด (Defects)

การจัดการ 7 Waste ช่วยลดเวลาการผลิต ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพองค์กรได้ การเกิดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้าถือเป็นรูปแบบหนึ่งของความสูญเปล่า (Muda) ตามแนวคิดการผลิตแบบลีน เนื่องจากเป็นการใช้วัตถุดิบเกินกว่าความต้องการของลูกค้าโดยไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่ม การลดน้ำหนักบรรจุเกินจึงสอดคล้องโดยตรงกับหลักการกำจัดกิจกรรมที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่ม (Non-Value-Added Activities) รวมถึงแนวคิดการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time) และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Kaizen) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดลีนในเชิงวิศวกรรมกระบวนการผลิตอย่างเป็นรูปธรรม

2.2.1 ทฤษฎีแผนผังก้างปลา

สวัสดิ์ บัญชาเมฆ (2566) แผนผังก้างปลา เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุทั้งหมดที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ แนวคิดดังกล่าวพัฒนาโดย คาโอรุ อิชิกาวะ (Kaoru Ishikawa) ในปี ค.ศ. 1943 แผนผังก้างปลานิยมใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและผลที่เกิดขึ้นตามลำดับขั้นตอนดังนี้

เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา

ก) เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา

ข) เพื่อศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการหรือส่วนงานที่เกี่ยวข้อง

ค) เพื่อใช้ในการระดมสมองให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน

2.2.1.1 วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลผังก้างปลา

การสร้างแผนผังก้างปลาที่มีประสิทธิภาพควรดำเนินการเป็นทีม โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ก) กำหนดประโยคหลักที่แสดงถึงปัญหา โดยระบุไว้บริเวณหัวปลา

ข) กำหนดกลุ่มปัจจัยหลักที่เป็นสาเหตุของปัญหา

ค) ระดมสมองเพื่อค้นหาสาเหตุย่อยของปัญหาในแต่ละปัจจัย

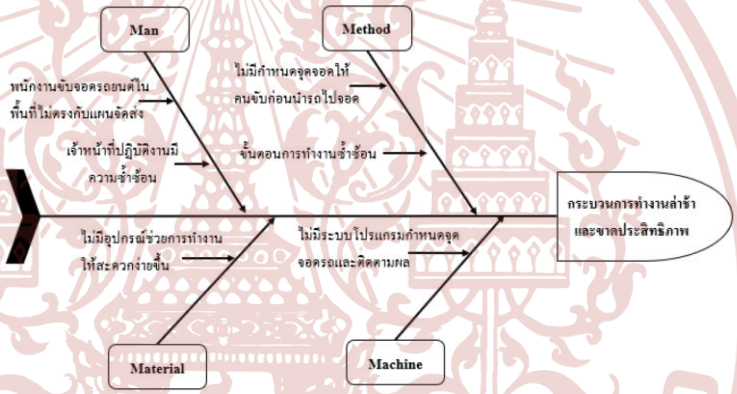
ง) วิเคราะห์และกำหนดสาเหตุหลักของปัญหา

จ) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหา

ฉ) กำหนดแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่จำเป็น

2.2.1.2 การกำหนดปัจจัยบนผังก้างปลา

การกำหนดปัจจัยบนผังก้างปลา สามารถกำหนดกลุ่มปัจจัยใดก็ได้ที่ช่วยให้สามารถแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบและมีเหตุผล โดยนิยมใช้หลักการ 4M 1E ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างแผนผังก้างปลา

หรือ 5M 1E ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้

ก) M: Man (คน) หมายถึง คนงาน พนักงาน หรือบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน

ข) M: Machine (เครื่องจักร) หมายถึง เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน

ค) M: Material (วัสดุ) หมายถึง วัตถุดิบ อะไหล่ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการทำงาน

ง) M: Method (วิธีการทำงาน) หมายถึง วิธีการ และขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

จ) M: Measurement (การวัดผล) หมายถึง มาตรฐานการวัด การตรวจสอบ

ฉ) E: Environment (สภาพแวดล้อม) หมายถึง สิ่งแวดล้อมและบรรยากาศในการทำงาน

การใช้งานแผนภูมิก้างปลาเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา มีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างตัวแปรต่าง ๆ โดยเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่สามารถแก้ไขปัญหาเดิมที่เคยเกิดขึ้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการป้องกันข้อบกพร่องด้านคุณภาพตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของกระบวนการทำงาน ในขั้นแรกจำเป็นต้องระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ “ปัญหาที่พบเจอ” หรือ “สิ่งที่ต้องการแก้ไข” โดยกำหนดไว้บริเวณส่วนหัวของปลา จากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์หาปัจจัยต่าง ๆ ที่เอื้อให้เกิดปัญหาดังกล่าว ทั้งในส่วนของสาเหตุหลักและสาเหตุรองของปัญหาในแต่ละด้าน หากยังไม่มีแนวทางการวิเคราะห์ที่ชัดเจน แนะนำให้นำแผนผังก้างปลามาใช้ร่วมกับโมเดลการวิเคราะห์ตามกลุ่มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การวิเคราะห์มีความครอบคลุมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.2.2 ทฤษฎีแผนภูมิคน-เครื่องจักร

วิเรขา คำจันทร์ (2564) แผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) เป็นแผนภูมิแสดงการทางานร่วมกันระหว่างคนและเครื่องจักร ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่หนึ่งคนกับหนึ่งเครื่องจักรขึ้นไป จุดมุ่งหมายของแผนภูมินี้ ใช้แสดงให้สัดส่วนการว่างงานของคนและเครื่องจักร เพื่อพิจารณากระบวนการว่าควรต้องลดหรือเพิ่มจำนวนคนในการทำงานหรือไม่ แผนภูมิประเภทนี้มักวิเคราะห์โดยใช้แกนของเวลา และตารางสรุปเวลาการทำงาน การวิเคราะห์จะใช้กราฟแท่งแทนกิจกรรมแต่ละประเภท โดยใช้การระบายสีหรือสัญลักษณ์แทนกิจกรรมที่เป็นอิสระ กิจกรรมร่วม หรือการว่างงาน ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 2-3

พนักงาน 1	เวลา (วินาที)	พนักงาน 2	เวลา (วินาที)	พนักงาน 3	เวลา (วินาที)	เครื่องจักร	เวลา (วินาที)
ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70	ว่าง	70	ว่าง	90	ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70
		เช็ดกระจกและลำเลียง	20				
ว่าง	50	ว่าง	30	ทาน้ำยารองพื้นและลำเลียง	30	ว่าง	50

ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างแผนภูมิคน-เครื่องจักร

2.3 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

จิดาภา เบ้าบัวเงิน (2563) ได้นำแนวคิดการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) มาประยุกต์ใช้ โดยในปี ค.ศ. 1920 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำหลักการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักทางการเกษตร โดยการทดลองใช้สูตรผสมของปุ๋ยที่แตกต่างกัน ซึ่งนับเป็นครั้งแรกของการนำหลักการดังกล่าวมาใช้งานอย่างเป็นระบบ และถือเป็นอีกแขนงหนึ่งของสถิติประยุกต์

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของการออกแบบการทดลอง

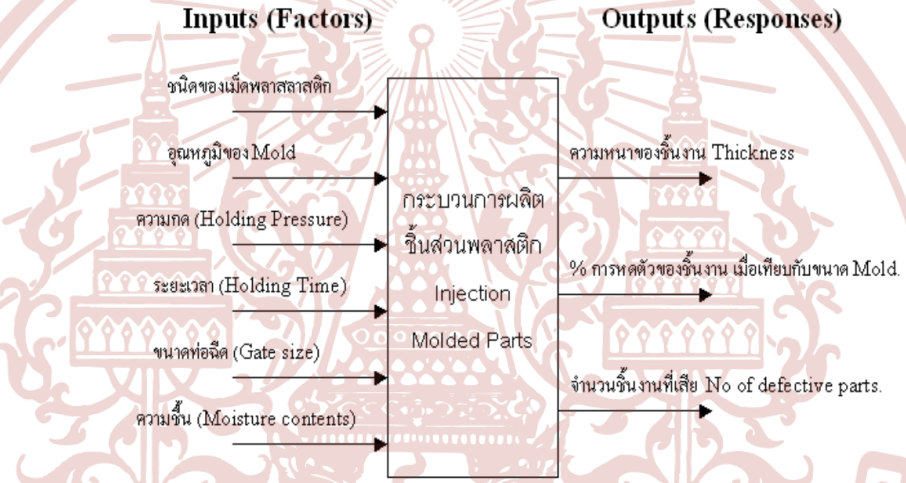
ช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกาสามารถก้าวขึ้นเป็นผู้นำด้านอุตสาหกรรมการผลิต แทนที่ประเทศในแถบยุโรป ซึ่งเดิมเป็นแหล่งกำเนิดของทฤษฎีสถิติประยุกต์และเป็นภูมิภาคแรกที่มีการนำสถิติมาใช้ควบคู่กับกระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและการควบคุมคุณภาพมาเป็นเวลาหลายปี สินค้าอุตสาหกรรมที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาได้รับความนิยมอย่างมาก สามารถผลิตและจำหน่ายได้ทั้งหมด ส่งผลให้ความใส่ใจด้านการวิจัยและพัฒนาคุณภาพสินค้าในเชิงลึกไม่ได้รับความสำคัญเท่าที่ควร การละเลยการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการผลิตและควบคุมคุณภาพสินค้า ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง การดูแลและควบคุมคุณภาพเป็นไปในลักษณะผิวเผินมากขึ้น ส่งผลให้ประเทศคู่แข่งอย่างญี่ปุ่น ซึ่งให้ความสำคัญกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถพัฒนาและก้าวขึ้นมาแข่งขันได้

อย่างรวดเร็ว ผู้นำด้านอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่นให้ความสำคัญอย่างจริงจังกับการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการควบคุมคุณภาพสินค้า รวมถึงการนำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง มีการพัฒนาองค์ความรู้และถ่ายทอดไปสู่พนักงานทุกระดับ พร้อมทั้งปลูกฝังจิตสำนึกด้านคุณภาพ โดยเฉพาะพนักงานฝ่ายผลิตซึ่งเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการผลิตสินค้าโดยตรง

2.3.2 ความหมาย และหลักการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เป็นเครื่องมือด้านคุณภาพที่นิยมใช้ในการคัดกรองและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ โดยการออกแบบการทดลองจะต้องดำเนินการตามรูปแบบที่ได้วางแผนไว้อย่างเป็นระบบ และใช้วิธีการสุ่มในการทดลอง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงประมาณการระหว่างตัวแปรอิสระ และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาสร้างเป็นสมการทางสถิติ โดยทั่วไปตัวแปรเหล่านี้มักเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพ ตัวแปรในกระบวนการ และตัวแปรของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ ผลลัพธ์จากการออกแบบการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ในการออกแบบการทดลอง จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ระยะเวลา ต้นทุนในการทดลอง บุคลากร วัสดุที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงทรัพยากรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น การทดลองจึงต้องมีการวางแผนและควบคุมการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความสำคัญและสามารถนำไปวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบการทดลองที่ดีจะช่วยให้สามารถค้นหาตัวแปรในกระบวนการ (Process Variables) ตัวแปรของผลิตภัณฑ์ (Product Variables) รวมถึงองค์ประกอบของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิตได้อย่างชัดเจน สำหรับการออกแบบการทดลองให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ผู้ดำเนินการต้องทำความเข้าใจกับปัญหาที่ทำการศึกษาอย่างรอบคอบ และกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลองให้ชัดเจน จากนั้นทำการเลือกผลลัพธ์ของกระบวนการ (Y) และกำหนดปัจจัย (X) ที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ดังกล่าว แล้วจึงวางแผนและควบคุมการดำเนินการตามขั้นตอนอย่างเป็นระบบ โดยต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและมีความสำคัญเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้ ได้แก่ Full Factorial Design, Fractional Factorial Design, 2^k Factorial Design และรูปแบบอื่น ๆ เมื่อผู้ดำเนินการได้ออกแบบและดำเนินการทดลอง

เรียบร้อยแล้ว จะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล พร้อมทั้งทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง ก่อนนำไปประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการผลิต โดยในการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง จะต้องพิจารณาองค์ประกอบตามหลัก 5M 1E ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการทำงาน (Method) การวัดผล (Measurement) และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนองในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่ง แสดงดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 ปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ 2-4 แสดงให้เห็นตัวแปรนำเข้า (Input Factors) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต และตัวแปรตอบสนอง (Output Factors) ได้แก่ ความหนาของชิ้นงาน การหดตัวของชิ้นงาน และจำนวนชิ้นงานเสีย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของกระบวนการ เมื่อมีการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) โดยทั่วไปจะไม่นิยมกำหนดตัวแปรตอบสนองหลายตัวพร้อมกันในการทดลองเดียว ในกระบวนการผลิตสามารถมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้หลายปัจจัย โดยบางปัจจัยสามารถควบคุมได้ ขณะที่บางปัจจัยไม่สามารถควบคุมได้ แม้ว่าปัจจัยเหล่านั้นจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตก็ตาม ทั้งนี้ปัจจัยบางประการมีความจำเป็นต้องปล่อยให้เป็นไปตามสภาพธรรมชาติ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการทดลองที่ใช้เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดมีผลต่อผลลัพธ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายหลักดังต่อไปนี้

ก) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) เป็นการพิสูจน์ข้อเท็จจริงจากความเชื่อ ประสบการณ์ หรือทฤษฎีที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้มีการอธิบายหรือคาดการณ์ไว้เกี่ยวกับกระบวนการผลิต

ข) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขหรือรูปแบบใหม่ ๆ ที่อาจส่งผลต่อกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาความรู้หรือแนวทางใหม่ในการปรับปรุงกระบวนการ

2.3.3 หลักการพื้นฐานการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลองมีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.3.3.1 การสุ่ม (Randomization)

การดำเนินการใด ๆ กับปัจจัยในการทดลองจะต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน เพื่อให้ข้อมูลแต่ละหน่วยทดลองเป็นอิสระซึ่งกันและกัน โดยต้องคำนึงถึงหลักการกระจายอย่างทั่วถึงและมีความสมดุล (Balance out) ต่อปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.3.3.2 การทำซ้ำ (Replication)

การดำเนินการทดลองซ้ำมากกว่าหนึ่งครั้ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การวิเคราะห์จะนำค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมาใช้ประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการ รวมถึงช่วยลดอิทธิพลของความแปรปรวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Average out) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการหาค่าเฉลี่ยเพื่อประเมินอิทธิพลของปัจจัย

2.3.3.3 การบล็อก (Blocking)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ของการทดลอง โดยช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากแหล่งความแปรปรวนที่สามารถระบุได้แต่ไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ทำการศึกษา

2.3.4 ส่วนประกอบของการออกแบบการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.3.4.1 ทรีทเมนต์ (Treatment)

วิธีการหรือเงื่อนไขที่กระทำกับสิ่งทดลอง เพื่อใช้วัดผลและเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.3.4.2 หน่วยทดลอง (Experimental Unit)

หน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ โดยหน่วยทดลองอาจเป็นสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกันในการทดลองแต่ละครั้ง ทั้งนี้ ขนาดและลักษณะของหน่วยทดลองอาจแตกต่างกันไปตามลักษณะของการทดลอง ดังนั้น ในการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องกำหนดความหมายของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

2.3.4.3 ปัจจัย (Factor)

กลุ่มของทรีทเมนต์ที่มีความเกี่ยวข้องกัน ซึ่งอาจเรียกว่า ตัวแปรอิสระ โดยปัจจัยสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.3.4.3.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดระดับหรือค่าของปัจจัยได้

2.3.4.3.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดระดับหรือค่าของปัจจัยได้ เช่น ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี ต้นทุน หรือสภาพแวดล้อม

ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

ก) ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่อยู่ในการศึกษาโดยตรง มักเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมหรือสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก เวลา อุปกรณ์ หรือระบบที่ไม่สามารถควบคุมได้

ข) ตัวแปรก่อกวน (Nuisance Variable) เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบมาก่อนและมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถลดหรือกำจัดอิทธิพลของตัวแปรประเภทนี้ได้ด้วยการสุ่ม

2.3.4.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable)

ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระต่อผลลัพธ์ของการทดลอง ทั้งนี้ การทดลองสามารถกำหนดตัวแปร

ตอบสนองได้มากกว่าหนึ่งตัว โดยการเลือกตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) และความเชื่อถือได้ (Reliability) รวมถึงลักษณะการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปสมมติฐานว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality) เป็นเงื่อนไขสำคัญในการออกแบบการทดลอง หากข้อมูลไม่เป็นไปตามสมมติฐานดังกล่าว อาจใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) เพื่อให้การแจกแจงเข้าใกล้การแจกแจงแบบปกติ

2.3.5 องค์ประกอบในการศึกษาหัวข้อ

2.3.5.1 ชนิดของการดำเนินการ (Design Type)

รูปแบบที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง ซึ่งผู้ทำการทดลองต้องตัดสินใจเลือกตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผน เนื่องจากรูปแบบการออกแบบการทดลองจะส่งผลต่อวิธีการดำเนินการทดลอง วิธีการเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูล รวมถึงการเลือกใช้เครื่องมือทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล การตัดสินใจเลือกใช้รูปแบบการออกแบบการทดลองต้องพิจารณาจากผลลัพธ์หรือเป้าหมายที่ต้องการ ความซับซ้อนของการทดลอง และข้อจำกัดด้านทรัพยากรต่าง ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของรูปแบบการออกแบบการทดลองแต่ละประเภทก่อนนำมาใช้งาน

2.3.5.2 เครื่องมือทางสถิติ (Statistical Tools)

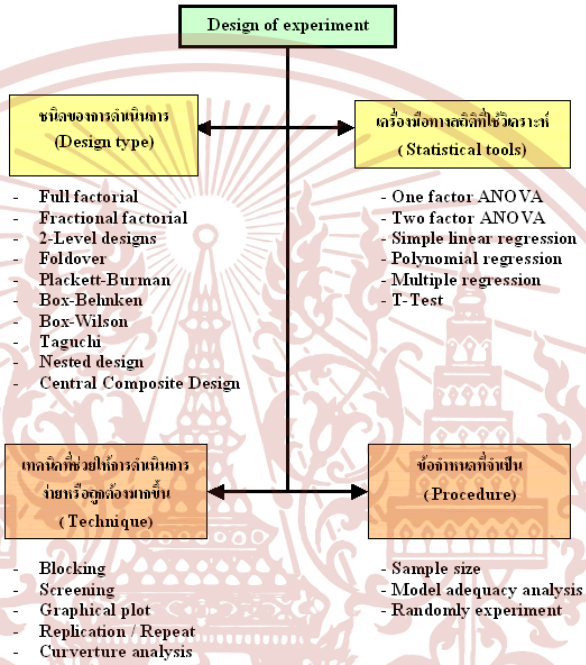
การนำวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ผู้ทำการทดลองต้องเลือกเครื่องมือทางสถิติตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนการทดลอง และเมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้ว ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจในเครื่องมือที่ใช้ สามารถตีความหมายของผลการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง รวมถึงสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สาเหตุของข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้

2.3.5.3 เทคนิคหรือกลยุทธ์ (Technique)

วิธีการหรือแนวทางที่ช่วยให้การดำเนินการทดลองเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และประหยัดทรัพยากร โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังคงมีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับได้ ผู้ทำการทดลองต้องกำหนดเทคนิคหรือกลยุทธ์ควบคู่ไปกับการเลือกใช้รูปแบบการออกแบบการทดลอง เนื่องจากในแต่ละรูปแบบอาจมีข้อจำกัด ข้อกำหนด หรือความยืดหยุ่นที่แตกต่างกัน

2.3.5.4 ข้อกำหนดที่จำเป็น (Fundamental Procedure)

หลักการพื้นฐานที่ผู้ทำการทดลองต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์และข้อสรุปของการทดลองบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยองค์ประกอบพื้นฐานดังกล่าวประกอบด้วย 4 ส่วน ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 องค์ประกอบในการศึกษา DOE

2.3.6 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

2.3.6.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Statement)

หัวข้อปัญหาจะต้องมีความชัดเจน เข้าใจง่าย และเป็นรูปธรรม โดยควรประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร (What) ลักษณะและระดับความรุนแรงของปัญหาเป็นอย่างไร (How) และปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นที่ใดและในช่วงเวลาใด (Where)

2.3.6.2 การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment)

จำเป็นต้องเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยใช้วิธีการคัดกรองด้วยเครื่องมือทางสถิติ หรือการปรึกษาผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้น ๆ เพื่อให้ได้คำแนะนำที่เหมาะสมในการเลือกปัจจัยและกำหนดระดับของปัจจัย

2.3.6.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variable)

ตัวแปรตอบสนองต้องเป็นตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้อย่างชัดเจน ไม่ว่าจะเป็นการวัดด้วยเครื่องมือหรือการนับจำนวน และต้องเป็นตัวแปรที่สามารถสะท้อนลักษณะของกระบวนการที่ต้องการศึกษาได้อย่างเหมาะสม

2.3.6.4 การเลือกแบบการทดลอง (Experimental Design)

การกำหนดจำนวนตัวอย่าง วิธีการเลือกตัวอย่าง การวางแผนการดำเนินการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง รวมถึงการกำหนดค่าใช้จ่ายและทรัพยากรที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง

2.3.6.5 การดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment)

ดำเนินการทดลองตามแผนที่กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด โดยคำนึงถึงความถูกต้องของวิธีการทดลอง การวัดผล การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และการเก็บรวบรวมผลการทดลองอย่างเป็นระบบ

2.3.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

ต้องมีการตรวจสอบลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง รวมถึงการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) และการทดสอบนัยสำคัญของอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ โดยทั่วไปการออกแบบการทดลองจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ดังนั้น ผู้วิเคราะห์จึงจำเป็นต้องเข้าใจเงื่อนไขและสมมติฐานของการวิเคราะห์ดังกล่าว

2.3.6.7 การสรุปผลการทดลองและการให้ข้อเสนอแนะ

ผู้ดำเนินการทดลองต้องมีความเข้าใจในที่มาของข้อมูลอย่างถ่องแท้ และสามารถอธิบายสาเหตุของผลลัพธ์ที่ได้ วิเคราะห์ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการ ตลอดจนสรุปสาระสำคัญจากผลการทดลอง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางหรือบรรทัดฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานในอนาคต ทั้งนี้ ผู้บริหารหรือหัวหน้าหน่วยงานอาจให้ความสำคัญกับข้อคิดเห็นเชิงวิเคราะห์และข้อเสนอแนะของผู้ดำเนินการทดลองมากกว่าผลลัพธ์เชิงตัวเลขเพียงอย่างเดียว

2.3.7 รูปแบบของการออกแบบการทดลอง

2.3.7.1 การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เป็นแผนการทดลองที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด เหมาะสำหรับการทดลองที่ไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของหน่วยทดลองก่อนการทดลองได้ หรือหน่วยทดลองมีลักษณะใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองนี้จะพิจารณาว่าความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น จึงเรียกการจำแนกข้อมูลในลักษณะนี้ว่า การจำแนกทางเดียว (One-Way Classification) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้แผนการทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้ควรมีลักษณะสม่ำเสมอและคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogeneous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองให้น้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง หรือการจัดหน่วยทดลองให้กับทรีทเมนต์ จะต้องเป็นไปโดยการสุ่มอย่างสมบูรณ์ โดยไม่มีข้อจำกัดในการสุ่ม

2.3.7.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD)

การทดลองบางกรณี หน่วยทดลองที่นำมาใช้อาจไม่มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างของหน่วยทดลอง ซึ่งความผันแปรดังกล่าวจะถูกรวมอยู่ในค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูง และอาจส่งผลให้การทดสอบทางสถิติเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแยกอิทธิพลที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์สะท้อนถึงอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) อย่างแท้จริง แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์เป็นรูปแบบหนึ่งของการจำแนกข้อมูลแบบสองทาง (Two-Way Classification) ซึ่ง

เหมาะสำหรับกรณีที่หน่วยทดลองมีความแตกต่างกันในสองทิศทาง ได้แก่ แนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column)

หลักการสำคัญของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ คือ การจัดหน่วยทดลองที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เรียกว่า บล็อก (Block) เพื่อให้ความแปรปรวนภายในบล็อกมีค่าน้อยที่สุด และให้ความแปรปรวนระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะมีการสุ่มทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง ซึ่งช่วยให้สามารถแยกความแปรปรวนระหว่างบล็อกออกจากผลรวมของกำลังสองของความแปรปรวนทั้งหมดได้อย่างชัดเจน

2.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ณัฏฐณิชา ตะกรุดแจ่ม (2561) ได้นำหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลมาประยุกต์ใช้ โดยการออกแบบการทดลองที่พิจารณาผลที่เกิดจากการนำระดับของปัจจัยทุกปัจจัยที่เป็นไปได้มาทำการทดลองร่วมกัน ซึ่งช่วยให้สามารถศึกษาทั้งผลหลักของแต่ละปัจจัยและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยได้อย่างครบถ้วน การออกแบบการทดลองลักษณะนี้มีประโยชน์ในการหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนซึ่งอาจเกิดจากอันตรกิริยาของปัจจัย เนื่องจากมีประสิทธิภาพมากกว่าการทดลองแบบเปลี่ยนทีละปัจจัย (One Factor at a Time) นอกจากนี้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลยังช่วยให้สามารถประมาณผลของแต่ละปัจจัยได้โดยไม่ถูกรบกวนจากปัจจัยอื่น และสามารถสรุปผลที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขของการทดลองได้อย่างถูกต้อง โดยรูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสามารถแบ่งออกเป็นหลายลักษณะ ดังนี้

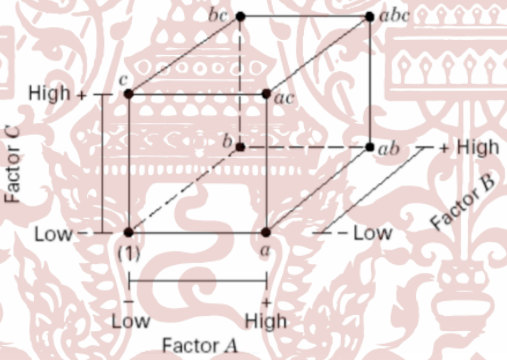
2.4.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองปัจจัย

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองปัจจัย เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยเกี่ยวข้องกับปัจจัยจำนวน 2 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยอาจมีจำนวนระดับเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ เช่น ปัจจัย A มีจำนวนระดับเท่ากับ a ระดับ และปัจจัย B มีจำนวนระดับเท่ากับ b ระดับ ในการทดลองแต่ละครั้ง (Replication) จะมีการทดลองร่วมของทุกระดับของปัจจัยทั้งสอง ซึ่งรวมเป็นจำนวนการทดลองทั้งหมด a × b การทดลอง และโดยทั่วไปจะมีการทำซ้ำทั้งหมด n ครั้ง

2.4.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองสำหรับกรณีที่มีปัจจัยจำนวน k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ระดับของปัจจัยอาจเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ หรือความเข้มข้น หรือเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น ประเภทเครื่องจักร หรือคนงาน ในแต่ละการทดลองซ้ำ ระดับของปัจจัยจะแทนด้วยระดับสูงและระดับต่ำ โดยใช้สัญลักษณ์ +1 และ −1 แทนระดับสูงและระดับต่ำตามลำดับ การออกแบบการทดลองรูปแบบนี้จะมีจำนวนชุดการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k ชุด ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในช่วงเริ่มต้นของการทดลองที่มีจำนวนปัจจัยที่สนใจจำนวนมาก

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k มีข้อดีคือใช้จำนวนการทดลองน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้รับ เนื่องจากทำการทดลองเฉพาะที่ตำแหน่งแฟกทอเรียลเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่มี 3 ปัจจัย จะมีจำนวนจุดการทดลองทั้งหมด 8 จุด ดังแสดงในภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 การออกแบบ 2^k แฟกทอเรียล กรณี 3 ปัจจัย

2.4.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k เป็นการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ โดยใช้สัญลักษณ์ +1, 0 และ −1 แทนระดับของปัจจัยตามลำดับ การออกแบบการทดลองในลักษณะนี้เป็นการเพิ่มจำนวนระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับ ซึ่งทำให้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลตอบสนองได้ในรูปแบบสมการควอดราติก (Quadratic Equation) และสามารถอธิบายลักษณะความโค้งของความสัมพันธ์ได้อย่างเหมาะสม

จากรูปแบบการออกแบบการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าแต่ละรูปแบบมีลักษณะจุดเด่น และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน การเลือกใช้รูปแบบการออกแบบการทดลองจึงควรพิจารณาให้

เหมาะสมกับลักษณะของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา จำนวนและประเภทของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทรัพยากรที่มีอยู่ ทั้งด้านเวลา งบประมาณ และความพร้อมของหน่วยทดลอง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน และนำผลที่ได้ไปใช้ปรับปรุงกระบวนการหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐาน

วิชิต อินทร์กันหา (2558) การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล หากไม่มีหลักการทดสอบทางสถิติที่ชัดเจนมารองรับ การสรุปผลจากข้อมูลจะสามารถทำได้เพียงการประมาณค่าแบบจุด (Point Estimation) เท่านั้น ซึ่งค่าทางสถิติที่ได้จากการประมาณดังกล่าวถือเป็นตัวแปรสุ่ม และมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวอย่างที่นำมาใช้ ดังนั้น การทดสอบสมมติฐานทางสถิติจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีความสำคัญในการสรุปผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางคุณภาพของระบบ (Quality Characteristics) หรือค่าพารามิเตอร์ของประชากรที่สนใจศึกษา

ความหมายของสมมติฐานว่าเป็นข้อสมมติหรือข้อความที่เกี่ยวข้องกับประชากรหนึ่งชุดหรือมากกว่าหนึ่งชุด ซึ่งอาจเป็นจริงหรือไม่เป็นจริงก็ได้ เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถศึกษาข้อมูลจากประชากรทั้งหมดได้ กลุ่มตัวอย่างจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ โดยอาศัยค่าสถิติที่คำนวณได้จากกลุ่มตัวอย่างเป็นหลักฐานในการตัดสินใจว่าสมมติฐานที่ตั้งขึ้นควรถูกปฏิเสธหรือไม่ ทั้งนี้ การตัดสินใจดังกล่าวขึ้นอยู่กับเกณฑ์หรือหลักฐานที่ผู้วิจัยกำหนด หากผลการทดสอบไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน จะนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานนั้น แต่หากผลการทดสอบสอดคล้อง ก็จะสรุปได้ว่าไม่มีเหตุผลเพียงพอในการปฏิเสธสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติเป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบหรือพิสูจน์ข้อสมมติฐานเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่ผู้วิจัยสนใจศึกษา ว่าเป็นไปตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ โดยทั่วไป สมมติฐานจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis: H_0) เป็นสมมติฐานที่ระบุสถานะเดิมของประชากร หรือข้อความที่ผู้วิจัยต้องการทดสอบเพื่อพิจารณาปฏิเสธ และสมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis: H_1) เป็นสมมติฐานที่แสดงถึงความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงจากสมมติฐานหลัก ซึ่งมักใช้สัญลักษณ์ ≠ สำหรับการทดสอบความแตกต่าง และ > หรือ < สำหรับการทดสอบว่าลักษณะทางคุณภาพที่สนใจดีกว่าหรือแย่กว่า

2.5.1 ความผิดพลาดในการทดสอบ (Test Error)

ความผิดพลาดในการทดสอบ คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นของการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานแล้วไม่เป็นไปตามความเป็นจริง ความผิดพลาดในการทดสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

2.5.1.1 ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) หรือสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่า “ระดับนัยสำคัญ (Significant Level) หรือ (-Error) หรือระดับการทดสอบ (Level of Test)” ความผิดพลาดประเภทนี้จะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นที่ทำให้ผู้วิจัยมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

α = ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1

= P (ปฏิเสธ H_0 | เมื่อ H_0 เป็นจริง)

2.5.1.2 ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error)

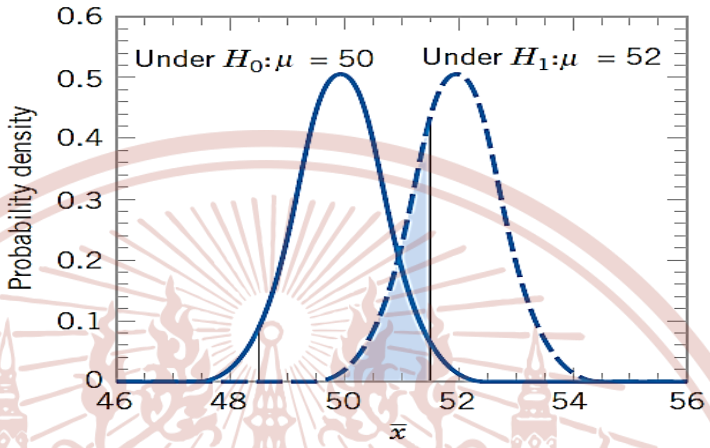
ความผิดพลาดประเภทนี้จะแทนด้วยสัญลักษณ์ ซึ่งหมายถึง ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนที่ทำให้ผู้วิจัยเกิดการยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นเท็จ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

β = ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2

β = P (ยอมรับ H_0 | เมื่อ H_0 ไม่เป็นจริง)

ในการคำนวณหาค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 หรือ β ผู้วิจัยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดค่าเฉพาะของสมมติฐานอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น ในกรณีศึกษาที่ต้องการทดสอบอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยว่าเท่ากับ 50 cm/s หรือไม่ ผู้วิจัยจะตั้งสมมติฐานหลัก คือ H_0 : μ = 50 cm/s เมื่อมีการปฏิเสธ สมมติฐานหลักเกิดขึ้น นั่นหมายความว่า อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยมีค่าสูงกว่า 50 cm/s หรือมีค่าต่ำกว่า 50 cm/s ดังนั้นผู้วิจัยสามารถคำนวณเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 นั่นก็หมายความว่า มีการยอมรับสมมติฐานที่ว่าอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 50 cm/s ทั้งที่จริงแล้วอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 48 cm/s หรือ 52 cm/s ได้ อย่างไรก็ตามจากคุณสมบัติทางด้านการสมมาตร ผู้วิจัยจะทำการพิจารณาเฉพาะส่วนของการกำหนดอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย μ = 52 cm/s

แต่เพียงกรณีเดียว ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะยอมรับสมมติฐานหลัก ทั้งที่อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 52 cm/s สามารถอธิบายได้จากภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2

จากภาพที่ 2-7 ทางด้านซ้ายมือจะแสดงถึงการแจกแจงปกติของค่าสถิติทดสอบ ($\bar{x}$) เมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริงคือ (H_0 : μ = 50 cm/s) และกราฟทางด้านขวามือจะแสดงให้เห็นถึงการแจกแจงปกติของค่าสถิติทดสอบ เมื่อสมมติฐานรองเป็นจริงและมีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 52 cm/s ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่จะยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ $\bar{x}$ อยู่ในช่วงระหว่าง 48.5 และ 51.5 ทั้งที่ค่าเฉลี่ยของอัตราการเผาไหม้ที่แท้จริง คือ μ = 52 cm/s หรืออาจกล่าวได้ว่า บริเวณที่แรเงาของรูปทางด้านขวามือ เมื่อคำนวณค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 ของช่วงดังกล่าวนั่นจะทำให้ได้ค่า β มีค่าเท่ากับ 0.2643 หมายถึง เมื่อผู้วิจัยต้องการทดสอบสมมติฐานหลักว่า อัตราการเผาไหม้โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 50 cm/s หรือไม่ ทั้งที่ความเป็นจริงอัตราการเผาไหม้เฉลี่ยอยู่ที่ 52 cm/s ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ 0.23643 หรือ 23.643 เปอร์เซ็นต์ และจากคุณสมบัติของการสมมาตร หากอัตราการเผาไหม้โดยเฉลี่ยที่แท้จริง คือ 48 cm/s เพราะฉนั้นค่า β ที่ได้ก็จะมีค่าเท่ากัน คือ 0.2643 ความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 2 จะเพิ่มขึ้น ในกรณีที่อัตราเฉลี่ยการเผาไหม้ที่แท้จริงเข้าใกล้ค่าที่ถูกกำหนดไว้ในสมมติฐานหลัก เช่น กรณีที่อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยที่แท้จริง คือ 50.5 cm/s จะได้ค่า β ที่ 0.8923

นอกจากนี้ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 2 ยังขึ้นอยู่กับขนาดของกลุ่มตัวอย่าง หากผู้วิจัยทำการเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างจะส่งผลให้ความน่าจะ

เป็นในการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 2 ลดลง และส่งผลทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 ลดลงอีกด้วย

ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 ยังสามารถนำค่านี้ไปคำนวณหาอำนาจการทดสอบข้อมูล (Power of Test) ได้จากสมการดังต่อไปนี้ และสามารถสรุปตารางความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน ได้ดังตารางที่ 2-1

Power of Test = 1 - β

= P (ปฏิเสธ H_0 | เมื่อ H_0 ไม่ถูกต้อง)

ตารางที่ 2-1 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ / **ความจริง**	**ยอมรับ H_0**	**ปฏิเสธ H_0**
H_0 เป็นจริง	ตัดสินถูกต้อง	ตัดสินผิดพลาด (Type I Error; α)
H_0 เป็นเท็จ	ตัดสินผิดพลาด (Type II Error; β)	ตัดสินถูกต้อง

2.5.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

กระบวนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

2.5.2.1 ตั้งสมมติฐานทางสถิติ โดยกำหนดสมมติฐานรอง (H_1) และสมมติฐานหลัก (H_0) ซึ่งเป็นส่วนกลับของสมมติฐานรอง

2.5.2.2 กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ที่ใช้ในการทดสอบ โดยทั่วไปนิยมใช้ระดับ 0.05

2.5.2.3 เลือกสถิติทดสอบหรือการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสม และคำนวณค่าจากข้อมูลตัวอย่าง

2.5.2.4 กำหนดบริเวณวิกฤตหรือบริเวณปฏิเสธสมมติฐานหลัก

2.5.2.5 สรุปผลการทดสอบ โดยพิจารณาจากค่าสถิติทดสอบหรือค่า p-value หากพบว่า p-value < α จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้ใช้ทฤษฎีของการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม สำหรับการตั้งค่าเครื่องจักรตามสถานะการผลิตในขณะนั้น การออกแบบการทดลองซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในกรณีที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย โดยผลการทดลองที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือก็ต่อเมื่อ คุณสมบัติของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จะต้องเป็นตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อีกทั้งยังต้องมีการควบคุมตัวแปรการทดลอง รวมถึงการบันทึกผลข้อมูลให้มีความน่าเชื่อถือ จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดน้ำหนักบรรจุเกิน ทั้งนี้เพื่อการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยการศึกษางานวิจัยทั้งหมด 6 งานวิจัย ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Enrique del Castillo (2558) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการตั้งค่าเครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัว (Multihead Weigher) โดยมุ่งเน้นการกำหนดค่าน้ำหนักตั้งต้นของถังชั่งให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบรรจุและลดการสูญเสียวัตถุดิบจากการบรรจุเกิน ผลการศึกษาพบว่า การตั้งค่าค่าน้ำหนักถังชั่งด้วยแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพที่นำเสนอ สามารถสร้างความประหยัดได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตั้งค่าแบบอาศัยประสบการณ์หรือการลองผิดลองถูก ซึ่งเป็นแนวปฏิบัติที่พบได้ทั่วไปในภาคอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องชั่งแบบหลายหัว งานวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงฮิวริสติก โดยอาศัยการวิเคราะห์ลักษณะของคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการตั้งค่าเครื่องชั่งแบบหลายหัว อย่างไรก็ตาม การคำนวณโมเมนต์ของสถิติอันดับของตัวแปรสุ่มที่มีความสัมพันธ์กันมีความซับซ้อนสูงและไม่สามารถคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพในเชิงปฏิบัติ แม้สำหรับปัญหาที่มีขนาดปานกลาง เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการเชิงฮิวริสติกโดยใช้ค่าประมาณขอบเขตล่างของโมเมนต์ของสถิติอันดับที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถลดภาระในการคำนวณได้อย่างมาก และเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับเครื่องชั่งแบบหลายหัวที่มีจำนวนถังชั่งหลายถัง โดยพิจารณากรณีที่อนุญาตให้มีถังชั่งปิดได้ไม่เกิน 3 ถังในแต่ละรอบการทำงาน

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องชั่งแบบหลายหัวที่มีจำนวนถังชั่งแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักตั้งต้นของถังชั่งที่เหมาะสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนถังชั่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าน้ำหนักตั้งต้นของถังชั่งส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนถังชั่งสูงสุดที่อนุญาตให้ปิดได้ในแต่ละรอบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของน้ำหนักบรรจุ (Mean Square Error) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อจำนวนชุดผสมของถังชั่งที่สามารถ

เลือกเปิดหรือปิดได้เพิ่มขึ้น ภายใต้จำนวนถังชั่งคงที่ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า เครื่องชั่งแบบหลายหัวที่มีจำนวนถังชั่งมาก (H > 10) และพิจารณาชุดผสมที่มีถังชั่งปิดไม่เกิน 3 ถัง สามารถบรรจุสินค้าได้อย่างแม่นยำ พร้อมทั้งลดปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินให้อยู่ในระดับต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Rafael García-Jiménez (2564) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาในกระบวนการบรรจุด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบหลายหัว (Multihead Weigher) เป้าหมายหลักคือการเลือกชุดของถังชั่ง (Hoppers) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ปริมาณสินค้าที่บรรจุในแต่ละบรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักรวมใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักฉลากที่กำหนดมากที่สุด ถังชั่งน้ำหนักที่จัดเรียงอยู่ในเครื่องจักรจะทำหน้าที่จ่ายปริมาณสินค้าเข้าสู่บรรจุภัณฑ์ โดยอาศัยอัลกอริทึมคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับกระบวนการดังกล่าว สำหรับกระบวนการบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัวชนิดสองชั้น (Double-layered Multihead Weigher) ถังชั่งทั้งหมดจะถูกจัดเรียงเป็นสองระดับ โดยชั้นแรกประกอบด้วยถังชั่งน้ำหนัก และชั้นที่สองประกอบด้วยถังเสริม (Booster Hoppers) ซึ่งติดตั้งในลักษณะตั้งตรงหรือเอียงตามการออกแบบของเครื่องจักร แม้ว่าการตั้งค่าเริ่มต้นของเครื่องจักรในทั้งสองกระบวนการจะมีลักษณะเดียวกัน แต่อัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกชุดถังชั่งสำหรับการบรรจุจะทำงานแตกต่างกัน

บทความนี้นำเสนออัลกอริทึมใหม่สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุในเครื่องชั่งแบบหลายหัวชนิดสองชั้น ทั้งแบบติดตั้งถังเสริมในแนวตั้งและแนวเอียง โดยกำหนดชุดของถังชั่งที่ใช้ในการผสมล่วงหน้า และแสดงค่าน้ำหนักบรรจุในรูปของค่าจริง เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการ ในการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม ได้มีการนำกลยุทธ์การเติมสินค้าลงในถังชั่งมาประยุกต์ใช้ภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน ผลการประเมินด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านการลดความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังพบว่า การตั้งค่าบางรูปแบบของเครื่องจักรสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้

กระบวนการชั่งน้ำหนักแบบหลายหัว (Multihead Weighing Process) เป็นกระบวนการที่มีสมรรถนะและความแม่นยำสูงในการบรรจุสินค้า การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวสามารถช่วยลดการสูญเสียของวัตถุดิบ (Material Saving) และเพิ่มผลิตภาพในแง่ของจำนวนบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมการบรรจุรูปแบบใหม่ พร้อมแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเครื่องชั่งหลายหัวชนิดสองชั้น ทั้งแบบติดตั้งถังเสริมในแนวตั้งและแนวเอียง โดย

พิจารณาค่าน้ำหนักจริงในถังชั่ง และกำหนดจำนวนถังชั่งที่นำมารวมกันล่วงหน้า อัลกอริทึมที่นำเสนอได้รับการตรวจสอบความถูกต้องผ่านกลยุทธ์การป้อนสินค้า 3 รูปแบบ ได้แก่ S_1 , S_2 และ S_3 ร่วมกับการพิจารณาจำนวนชุดถังชั่งที่นำมารวมกัน (k) ในระดับที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินสมรรถนะของกระบวนการ ได้มีการทดสอบกับผลิตภัณฑ์สองประเภท คือ Ravioli และ Fusilli ภายใต้ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วน (γ) ที่แตกต่างกัน จากนั้นได้นำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) มาใช้เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของระดับปัจจัยต่าง ๆ ตัวชี้วัดสมรรถนะของกระบวนการที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักบรรจุ และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ ผลการศึกษาพบว่ากลยุทธ์การป้อนสินค้าแบบ S_1 ให้ผลดีที่สุดในการลดความแปรปรวนของกระบวนการ โดยเฉพาะกรณีที่แบ่งถังชั่งออกเป็นห้ากลุ่มย่อย และกำหนดจำนวนถังชั่งในกลุ่มหลักให้มากที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่าการกำหนดจำนวนถังชั่งที่นำมารวมกันเท่ากับ k = 7 ให้ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุต่ำที่สุดในทั้งสองกระบวนการศึกษา ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่าพฤติกรรมและประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานอยู่ในระดับที่ดีที่สุดเมื่อค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนมีค่าต่ำ (γ = 0.123) สุดท้าย เครื่องชั่งแบบติดตั้งถังเสริมในแนวเอียง (Diagonal Machine) ให้จำนวนทางเลือกในการรวมถังชั่ง (Number of Combinations: NC) มากกว่าในขั้นตอนการเลือกน้ำหนักบรรจุ ซึ่งสะท้อนออกมาในรูปของความแปรปรวนของกระบวนการที่ต่ำกว่า

Pom An (2567) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเครื่องชั่งหลายหัวแบบสองชั้น (Double-layered Multi-head Weighers) ซึ่งมีการจัดวางถังชั่งในสองระดับ ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในกระบวนการชั่งน้ำหนักที่ต้องการความแม่นยำและความน่าเชื่อถือสูงสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร กระบวนการชั่งน้ำหนักดังกล่าวสามารถจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปของปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวัตถุประสงค์เดียว (Single-objective Optimization Problem) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดน้ำหนักรวมของถังชั่งที่ถูกเลือกมาบรรจุในหนึ่งแพ็กเกจ ภายใต้เงื่อนไขว่าน้ำหนักรวมต้องไม่ต่ำกว่าน้ำหนักเป้าหมายที่กำหนดไว้

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพแบบวัตถุประสงค์เดียวรูปแบบใหม่สำหรับกระบวนการชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งหลายหัวแบบสองชั้น โดยอาศัยขอบเขตจำกัดใหม่ (New Bound) ของค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด วิธีการที่นำเสนอสามารถกำหนดจำนวนถังชั่งที่เหมาะสมในการรวมกันในแต่ละรอบการบรรจุได้อย่างแม่นยำ และค้นหาชุดถังชั่งที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริทึมแบบวัตถุประสงค์เดียว ส่งผลให้กระบวนการบรรจุโดยรวมมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ในการทดลอง ได้กำหนดจำนวนถังชั่งทั้งหมดเท่ากับ n=16 ถัง กำหนดน้ำหนักเป้าหมายของบรรจุภัณฑ์เท่ากับ T=200 หน่วยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อแพ็กเกจเท่ากับ μ =58.5 และจำนวนแพ็กเกจที่ต้องการผลิตทั้งหมด Q=10,000 แพ็กเกจ จากเงื่อนไขดังกล่าว สามารถคำนวณจำนวนถังชั่งที่เหมาะสมสำหรับการรวมกันในแต่ละรอบการบรรจุได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเป้าหมายและค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อถังชั่ง ซึ่งให้ค่าเท่ากับประมาณ 3.4188 ดังนั้น จำนวนถังชั่งที่เป็นไปได้สำหรับการรวมกัน (Valid Hopper Combinations) จะอยู่ในรูปของจำนวนเต็มสองค่า ได้แก่ 3 ถัง และ 4 ถัง ตามหลักการปัดค่าลงและปัดค่าขึ้นของผลลัพธ์ที่ได้ จากวิธีการเดิม จำเป็นต้องพิจารณาชุดการรวมของถังชั่งทั้งหมดที่เป็นไปได้ทั้งกรณี 3 ถังและ 4 ถังในทุก ๆ รอบการบรรจุ ซึ่งทำให้จำนวนชุดการรวมทั้งหมดมีค่าสูง ส่งผลให้ภาระการคำนวณและเวลาประมวลผลเพิ่มขึ้นอย่างมาก

การเพิ่มประสิทธิภาพแบบวัตถุประสงค์เดียว (Single-objective Optimization) ที่ได้รับการปรับปรุงสำหรับกระบวนการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งหลายหัวแบบสองชั้น (Double-layered Multi-head Weighing Process) โดยประเด็นที่สำคัญของงานวิจัยคือ วิธีการกำหนดจำนวนถังชั่งที่เหมาะสมในการนำมารวมกันในแต่ละรอบการบรรจุได้อย่างแม่นยำ อาศัยการกำหนดขอบเขตใหม่ของค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด (New Bound on the Optimal Weight) แนวทางที่นำเสนอสามารถลดภาระการคำนวณและเพิ่มความรวดเร็วของกระบวนการบรรจุโดยรวมได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนถังชั่งที่เป็นไปได้สำหรับการรวมกันในแต่ละรอบสามารถจำกัดให้อยู่ในรูปของจำนวนเต็มหนึ่งค่าหรือสองค่าเท่านั้น นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้คำนวณความน่าจะเป็นที่จำนวนถังชั่งที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นจำนวนเต็มค่าเดียวอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะในการเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม

ผลการทดลองเชิงประจักษ์ยืนยันถึงประสิทธิผลของแนวทางที่นำเสนอ ทั้งในด้านความแม่นยำของน้ำหนักบรรจุและประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการชั่งน้ำหนักโดยรวม แสดงให้เห็นว่าแนวทางดังกล่าวมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการบรรจุผลิตภัณฑ์จริง เพื่อช่วยลดความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ ลดการสูญเสียจากน้ำหนักบรรจุเกินและ เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

Lalit Kumar (2558) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ โดยตัวแปรตอบสนองที่พิจารณา ได้แก่ พื้นที่ใต้พีค (Peak Area) ค่าปัจจัยการลาก

หางของพีค (Tailing Factor) และจำนวนแผ่นทฤษฎี (Number of Theoretical Plates) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อิทธิพลเชิงกำลังสองของอัตราการไหลและความยาวคลื่น ทั้งในรูปแบบเดี่ยวและปฏิสัมพันธ์กัน มีผลอย่างมีนัยสำคัญสูงต่อพื้นที่ใต้พีค ($p < 0.0001$ และ $p < 0.0086$ ตามลำดับ) ขณะที่อิทธิพลเชิงกำลังสองของค่า pH ของบัฟเฟอร์มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าปัจจัยการลากหางของพีค ($p < 0.0001$) และอิทธิพลเชิงกำลังสองของอัตราการไหลและความยาวคลื่นมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนแผ่นทฤษฎี ($p = 0.0006$ และ $p = 0.0265$ ตามลำดับ) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแยกสารด้วยเทคนิค HPLC ได้แก่ อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ความยาวคลื่นของเครื่องตรวจวัดยูวีที่ 250 นาโนเมตร และค่า pH ของบัฟเฟอร์เท่ากับ 3.0 ภายใต้สภาวะดังกล่าว พบว่าเวลาการกัก (Retention Time) ของวาลซาร์แทนมีค่าเท่ากับ 10.177 นาที นอกจากนี้ การประเมินความถูกต้องของวิธีในรูปของเปอร์เซ็นต์การได้คืน (%Recovery) สำหรับอนุภาคนาโนของวาลซาร์แทนที่เตรียมขึ้น พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 98.57–100.27% แสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ วิธีวิเคราะห์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้รับการพัฒนาและปรับสภาวะให้เหมาะสมอย่างประสบความสำเร็จโดยอาศัยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Design Expert เวอร์ชัน 9.0.3.1 อิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ถูกประเมินโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และแสดงผลในรูปของกราฟ Perturbation Plots เพื่อแสดงแนวโน้มและความไวของตัวแปรตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแนวคิดการออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของปัจจัยแปรผันสำหรับการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) นอกจากนี้ วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นยังผ่านการตรวจสอบความถูกต้องตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด โดยผลการตรวจสอบยืนยันได้ว่าวิธีดังกล่าวมีลักษณะเด่นในด้านความใหม่ ความเรียบง่าย ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการทดลอง จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารวาลซาร์แทนในรูปแบบนาโนฟอร์มูเลชัน

Surya Teja (2561) งานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ 2^3 Full Factorial Design เพื่อศึกษาผลของตัวแปรการผลิตเช่น อัตราส่วนสารหลายตัวต่อขนาดของอนุภาค และค้นหาระดับของตัวแปรที่ส่งผลดีที่สุดต่อขนาดอนุภาคที่ต้องการ ในการสร้างโมเดล

พยากรณ์และวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยสำหรับการผลิตอนุภาคนาโนไคโตซานบรรจุเมโทเทรกเซต (Methotrexate-loaded Chitosan Nanoparticles; CsNP) ที่มีขนาดอนุภาคตามต้องการ โดยมุ่งประเมินอิทธิพลของตัวแปรด้านสูตรตำรับภายในขอบเขตของการออกแบบการทดลองที่ศึกษา (Design Space) วิธีการวิจัยใช้เทคนิคไอโอโนโทรปิกเจลเลชัน (Ionotropic Gelation) ในการเตรียมตัวพาไคโตซานนาโน โดยปรับเปลี่ยนระดับของไคโตซาน ไตรโพลีฟอสเฟต และเมโทเทรกเซต ตามแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^3 ซึ่งได้จากโปรแกรม Design Expert อนุภาคนาโนที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์การเกิดตัวพา ขนาดอนุภาค และวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการผลิต CsNP ที่มีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 200 นาโนเมตร โดยใช้เทคนิค FT-IR และ XRD ยืนยันการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของไคโตซานซึ่งนำไปสู่การเกิดอนุภาคนาโน CsNP สำหรับผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค พบว่าแบบจำลองเชิงเส้น (Linear Model) เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการอธิบายผลของตัวแปรที่ศึกษา โดยมีค่า R^2 สูงถึง 0.9958 แสดงถึงความสอดคล้องและความแม่นยำของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น จากการวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) พบว่าไคโตซานเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อขนาดอนุภาค โดยมีค่า t-value สูงและค่า p-value ต่ำกว่า 0.0001 การเพิ่มประสิทธิภาพสูตรตำรับโดยอาศัยค่า Maximum Desirability สามารถทำนายปริมาณตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเตรียม CsNP ที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 180 นาโนเมตร เมื่อดำเนินการทดลองตามสูตรที่โปรแกรมแนะนำ พบว่าขนาดอนุภาคที่ได้มีค่าเท่ากับ 176 ± 4 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ทำนายไว้

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ค่า p-value ที่ต่ำแสดงถึงอิทธิพลเด่นของไคโตซานต่อขนาดอนุภาค ความเหมาะสมของแบบจำลอง และความคลาดเคลื่อนที่ต่ำระหว่างค่าที่ทำนายกับค่าที่ได้จากการทดลอง ยืนยันถึงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น และศักยภาพในการนำไปใช้สำหรับการเตรียม CsNP อย่างมีความเสถียรและมีความทนทานของกระบวนการผลิต

ในบทถัดไปผู้วิจัยจะนำทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการชั่งแบบบรรจุอาหาร เพื่อควบคุมไม่ให้ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเกินกว่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนดตามนโยบายของผู้บริหาร โดยนำทฤษฎีเกี่ยวกับการทำงานเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead และการผลิตแบบ Lean Manufacturing มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดังกล่าว จากนั้นจะนำปัจจัยที่ได้ทั้งหมดมาตั้งสมมติฐานโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งสมมติฐานทั้งหมดจะถูกทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ ซึ่งผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาการลดปัญหาน้ำหนักบรรจุเกินที่เกิดขึ้นในกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรและการควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถลดปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้เงื่อนไขที่ยังคงรักษามาตรฐานคุณภาพสินค้าและความถูกต้องของน้ำหนักบรรจุตามข้อกำหนดของกระบวนการผลิต จากการประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบการทดลอง โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการชั่งและบรรจุ รวมถึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของเครื่องจักรกับน้ำหนักบรรจุที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการผลิต การออกแบบการทดลองช่วยให้สามารถศึกษาผลของหลายปัจจัยพร้อมกัน รวมถึงสามารถวิเคราะห์ทั้งผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมกันระหว่างปัจจัยได้อย่างเป็นระบบ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ ใช้ความรู้จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง บทความทางวิชาการและงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยออกเป็นลำดับ 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 การสำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการชั่งและบรรจุ

3.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

3.3 การกำหนดปัจจัยและตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

3.4 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

3.5 วิธีการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

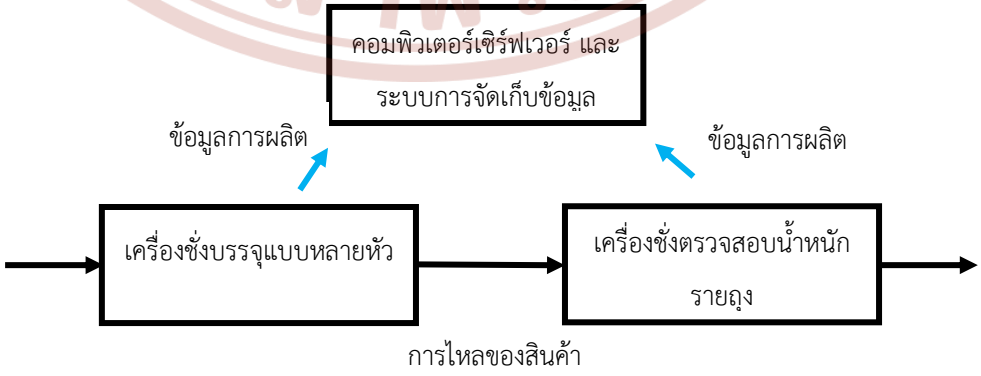
จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังกล่าว สามารถอธิบายลำดับและกระบวนการที่ผู้วิจัยใช้ในการศึกษาปัญหา โดยอ้างอิงจากสภาพการผลิตจริงของโรงงาน กรณีศึกษารวมถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 และบทที่ 2 ทั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นการนำหลักการทางสถิติและการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ เพื่อควบคุมและลดปัญหาการบรรจุน้ำหนักเกินในกระบวนการบรรจุสินค้าให้ได้มาตรฐานที่โรงงานกำหนด

บทนี้ผู้วิจัยนำเสนอเรื่องข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการทำงานของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ในโรงงานผลิตอาหาร โดยเก็บข้อมูลการผลิตจริง เช่น น้ำหนักบรรจุเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และปริมาณการเกิดน้ำหนักบรรจุเกินเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์หาสาเหตุ

ของปัญหา โดยประยุกต์ใช้แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือแผนภูมิควบคุม (Control Chart) เพื่อตรวจสอบหาสาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดน้ำหนักบรรจุเกินอาทิ การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่อง ความแปรปรวนของวัตถุดิบ หรือวิธีการปฏิบัติงานของพนักงาน

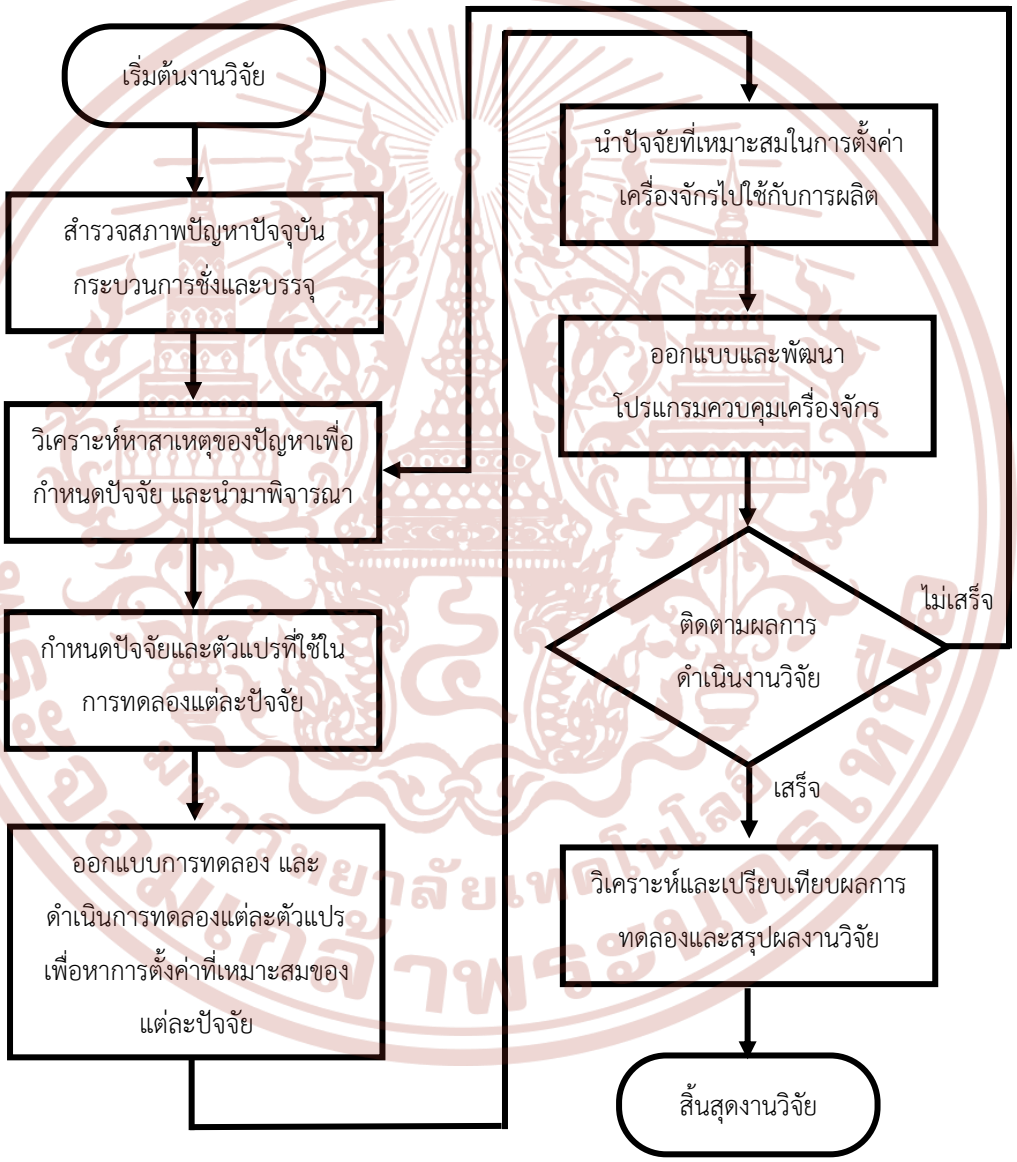
แนวคิดหลักของงานวิจัยนี้คือการนำข้อมูลน้ำหนักบรรจุและข้อมูลสภาพการผลิตที่เกิดขึ้นจริงมาใช้เป็นฐานในการวิเคราะห์และตัดสินใจ เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์การทำงานของเครื่องจักรอย่างเป็นระบบ ลดความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ และลดการบรรจุเกินมาตรฐาน โดยยังคงประสิทธิภาพและเสถียรภาพของกระบวนการผลิต ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้เริ่มจากการศึกษาสภาพกระบวนการผลิตในปัจจุบัน และรวบรวมข้อมูลน้ำหนักบรรจุของสินค้าเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพื้นฐานของกระบวนการ รวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ จากนั้นจึงกำหนดตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าเครื่องจักร เช่น น้ำหนักเป้าหมายในการบรรจุ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการป้อนสินค้า และเงื่อนไขการทำงานของเครื่องชั่งแบบหลายหัว เพื่อนำมาใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลอง หลังจากกำหนดปัจจัยและระดับของการทดลองแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำหนักบรรจุที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละเงื่อนไขการตั้งค่า จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการตั้งค่าเครื่องจักรให้เกิดการบรรจุน้ำหนักเกิน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ได้แก่ ข้อมูลการทำงานจากเครื่องชั่งบรรจุแบบหลายหัว และข้อมูลน้ำหนักสินค้ารายถุงจากเครื่องตรวจสอบน้ำหนักแบบเรียลไทม์ แนวทางดังกล่าวช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูลการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพกระบวนการได้อย่างเป็นระบบ ลดความผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยวิธีการจดบันทึกด้วยมือ รวมถึงลดปัญหาความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3-1 แนวคิดการเก็บและรวบรวมข้อมูลการผลิตของงานวิจัย

นอกจากนี้การเก็บข้อมูลจากระบบเครื่องจักรโดยตรงยังช่วยให้สามารถติดตามและรวบรวมข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องทั้งในช่วงก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีความครบถ้วนและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิจัยและสนับสนุนการวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรต่อปริมาณการเกิดน้ำหนักบรรจุเกินได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการชั่งบรรจุ

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยทำการศึกษากระบวนการชั่งและบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ในสายการผลิตจริง เพื่อทำความเข้าใจลำดับการทำงานของเครื่องจักร การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้งานอยู่ และลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยมุ่งเน้นการเก็บข้อมูลน้ำหนักบรรจุและค่าน้ำหนักบรรจุเกินที่เกิดขึ้นจริง ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์และนำมาช่วยปรับปรุงกระบวนการในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนแรกของการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัจจุบันของการทำงานของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead และเครื่องตรวจสอบน้ำหนักรายถุงในโรงงานผลิตอาหาร โดยเก็บข้อมูลการผลิตจริงจากโรงงานกรณีศึกษา การศึกษากระบวนการผลิต ดังนั้นในบทนี้ ผู้วิจัยจะทำการศึกษากระบวนการผลิตเฉพาะสถานีงานชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead และสถานีงานตรวจสอบน้ำหนักบรรจุสินค้าด้วยเครื่องตรวจสอบน้ำหนักรายถุงเท่านั้น โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.1 กระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่อง Multihead

เครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead เป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับการชั่งและบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยหลักการชั่งน้ำหนักจากหลายหัวชั่งพร้อมกัน และเลือกชุดของหัวชั่งที่ให้ผลรวมน้ำหนักใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักเป้าหมาย (Target Weight) มากที่สุด กระบวนการทำงานของเครื่องชั่งแบบหลายหัว เริ่มจากการลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องผ่านระบบป้อน (Feeding System) ซึ่งในโรงงานกรณีศึกษาจะใช้ระบบสายพานลำเลียงแบบเคลื่อนที่ในแนวนอน (Horizontal Motion Conveyor) ส่งมายังระบบกระจายสินค้าของเครื่อง ที่สามารถสั่นเพื่อกระจายวัตถุดิบไปยังหัวชั่งแต่ละหัวอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นวัตถุดิบจะถูกส่งเข้าสู่ถังพัก ก่อนปล่อยสู่หัวชั่ง (Weighing Hopper) ซึ่งทำหน้าที่วัดน้ำหนักของวัตถุดิบในแต่ละหัวอย่างอิสระ น้ำหนักที่วัดได้จากทุกหัวจะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลกลางของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการคำนวณและตัดสินใจ ระบบควบคุมจะใช้ชุดคำสั่งหรืออัลกอริทึมในการเลือกชุดของหัวชั่ง (Combination of Hoppers) ที่มีผลรวมน้ำหนักใกล้เคียงกับน้ำหนักเป้าหมายบรรจุมากที่สุด โดยทั่วไปจะเลือกชุดที่มีน้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับน้ำหนักเป้าหมาย โดยไม่ต่ำกว่าน้ำหนักเป้าหมาย และไม่เกินน้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำหนักสูงหรือต่ำกว่ามาตรฐาน แนวทางดังกล่าวมักส่งผลให้เกิดการบรรจุเกิน ซึ่งเป็นแหล่งของความสูญเสียในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 3-3 ระบบสายพานลำเลียงแบบเคลื่อนที่ในแนวนอน และเครื่องชั่งแบบหลายหัว

ดังภาพประกอบที่ 3-3 แสดงระบบสายพานลำเลียงแบบเคลื่อนที่ในแนวนอน ที่ทำหน้าที่ส่งสินค้ามายังส่วนกระจายสินค้าไปถังพักเตรียมปล่อยลงถังชั่ง เพื่อให้เครื่องอ่านค่าและประมวลผลในการเลือกชุดหัวชั่งที่รวมน้ำหนักแล้วใกล้เคียงกับน้ำหนักเป้าหมายมากที่สุด หลังจากเลือกชุดหัวชั่งแล้ว วัตถุดิบจากหัวชั่งที่ถูกเลือกจะถูกปล่อยลงสู่ระบบบรรจุผ่านอุปกรณ์บรรจุอัตโนมัติ ขณะเดียวกันหัวชั่งที่ปล่อยวัตถุดิบไปแล้วจะเข้าสู่กระบวนการเติมวัตถุดิบใหม่เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับรอบการชั่งถัดไป กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว โดยประสิทธิภาพของกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความสม่ำเสมอของวัตถุดิบ การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักร จำนวนหัวชั่งที่ใช้ในการรวมค่าน้ำหนัก และอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกชุดหัวชั่ง หากปัจจัยเหล่านี้ไม่ได้รับการควบคุมอย่างเหมาะสม จะทำให้ความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ค่าน้ำหนักบรรจุเกินสูงกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการด้วยการหาค่าการตั้งค่าของเครื่องจักรที่เหมาะสมสามารถช่วยควบคุมเชิงสถิติ และสามารถทำงานร่วมกับอัลกอริทึมของเครื่องจักร จึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

3.1.2 กระบวนการตรวจสอบน้ำหนักบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุง

หลังจากกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนการตรวจสอบน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุง ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการควบคุมคุณภาพ และรับรองว่าน้ำหนัก

ของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ เครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุงทำหน้าที่ตรวจวัดน้ำหนักของสินค้าที่บรรจุเสร็จแล้วทีละหน่วย โดยทำงานร่วมกับสายพานลำเลียงสินค้าจากเครื่องบรรจุอัตโนมัติมายังเครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุง กระบวนการตรวจสอบน้ำหนัก ที่เครื่องมีเซนเซอร์ชั่งน้ำหนักความแม่นยำสูง (Load Cell) สำหรับวัดน้ำหนักของสินค้าในขณะที่สายพานยังคงเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง น้ำหนักที่วัดได้จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลของเครื่องเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด ได้แก่ ค่าน้ำหนักต่ำสุด (Lower Control Limit: LCL) และค่าน้ำหนักสูงสุด (Upper Control Limit: UCL) เมื่อเครื่องตรวจสอบน้ำหนักรายถุงทำการเปรียบเทียบน้ำหนักที่วัดได้กับค่าควบคุมแล้ว ระบบจะทำการตัดสินใจอัตโนมัติ โดยสินค้าที่มีน้ำหนักอยู่ภายในช่วงที่กำหนดจะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป ในขณะที่สินค้าที่มีน้ำหนักต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่กำหนดจะถูกแยกออกจากสายการผลิตผ่านกลไกคัดแยกอัตโนมัติ ด้วยแขนดัน (Pusher) เพื่อป้องกันไม่ให้สินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานถูกส่งถึงลูกค้า



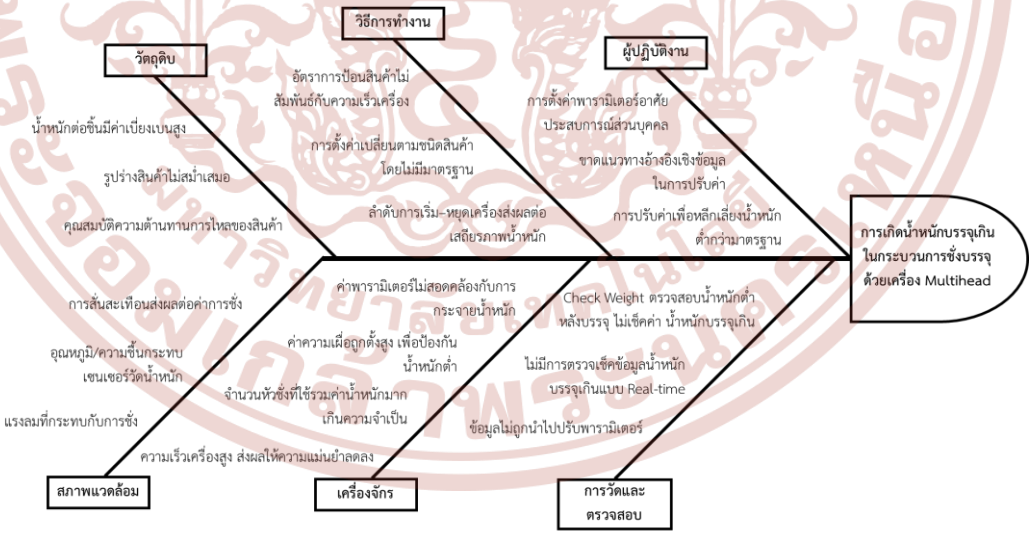
ภาพที่ 3-4 ระบบสายพานลำเลียง และเครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุง

นอกจากการคัดแยกสินค้าแล้ว ผู้วิจัยจะใช้เครื่องตรวจสอบน้ำหนักรายถุง ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลน้ำหนักบรรจุอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของกระบวนการผลิต เช่น ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอัตราการเกิดสินค้าน้ำหนักเกินหรือขาด ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ร่วมกับหลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเพื่อประเมินเสถียรภาพของกระบวนการบรรจุ สำหรับการปรับปรุงการตั้งค่าเครื่องชั่งแบบ

หลายหัว Multihead จากบทบาทดังกล่าวทำให้เครื่องตรวจสอบน้ำหนักรายถุงไม่เพียงทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพของสินค้าเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการควบคุมกระบวนการ ซึ่งมีส่วนช่วยในการลดค่าน้ำหนักบรรจุเกินอย่างเป็นระบบ รวมถึงยังเป็นการตรวจสอบน้ำหนักบรรจุสินค้าให้เป็นไปตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด

3.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากกระบวนการทำงานปัจจุบันตั้งแต่การชั่งและบรรจุไปถึงการตรวจสอบน้ำหนักของกระบวนการผลิต เครื่องตรวจสอบน้ำหนักรายถุงเป็นเพียงปลายทางของข้อมูลที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Mulithead เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์น้ำหนักบรรจุเกินเท่านั้น ปัญหาการเกิดน้ำหนักบรรจุเกิน เกิดจากการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว โดยประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งความสม่ำเสมอของลักษณะและขนาดของวัตถุดิบ การไหลของสินค้าที่สม่ำเสมอและต่อเนื่อง ความเร็วในการบรรจุ จำนวนหัวชั่งที่ใช้ในการรวมค่าน้ำหนัก การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ส่งผลไปยังอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกชุดหัวชั่ง ผู้วิจัยจึงได้ทำแผนภูมิก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ ตามหลักการ 5M 1E ดังทฤษฎีในบทที่ 2



ภาพที่ 3-5 แผนภูมิก้างปลาแสดงการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อมีการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลาดังภาพที่ 3-5 สาเหตุอื่นล้วนขึ้นอยู่กับสถานีงานอื่น ที่เกินการควบคุมและหน้าที่ของสถานีงานชั่งและบรรจุ ซึ่งมีผลกับการเกิด

น้ำหนักบรรจุเกินเช่นกัน ต้องวิเคราะห์สาเหตุ และนำไปแก้ไขกระบวนการผลิตต่อไป โดยขอบเขตงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาปัญหาการเกิด น้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ผู้วิจัยพบว่ามีสาเหตุหลักเกี่ยวกับเครื่องจักรที่มีผลโดยต่อกับสถานีงานนี้โดยตรงคือ การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ส่งผลไปยังอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกชุดหัวชั่ง และในส่วนสาเหตุจากวิธีการทำงานและผู้ปฏิบัติงาน จึงนำแนวคิดการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร เพื่อวิเคราะห์ผู้ปฏิบัติงานและเครื่องจักรตั้งแต่เริ่มกระบวนการผลิต เพื่อให้เห็นถึงปัญหาและโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการผลิตดังภาพที่ 3-6

แผนภูมิคน–เครื่องจักร						
ลำดับ	ถานีงานชั่งและบรรจุด้วยเครื่อง Multihead Weigher					
	ผู้ปฏิบัติงาน	นาที	สถานะ	เครื่องจักร	นาที	สถานะ
1	ติดตั้งอุปกรณ์ประกอบ และตรวจสอบสภาพเครื่องจักรก่อนเริ่มงาน	30		ติดตั้งอุปกรณ์หลังจากล้างเครื่องโดยผู้ปฏิบัติ	30	
2	ปรับค่าศูนย์ในขณะที่แท่นชั่งว่างเปล่า ตั้งจุดเริ่มต้น (Zero Calibration)	5			5	
3	วางตุ้มน้ำหนักมาตรฐานลงบนเครื่องชั่ง (Span Calibration)	15		รับค่าการตั้งจากผู้ปฏิบัติงาน	15	
4	ตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่อง Multihead ก่อนเริ่มผลิต	10			10	
5	เริ่มกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้า	5		สั่งโปรแกรมทำงานตามค่าที่ตั้งไว้เริ่มต้น	5	
6	การผลิตต่อเนื่องในสภาวะปกติ	440				
7	ตรวจสอบสินค้าที่ถูกปฏิเสธหรือไม่ยอมรับที่เครื่องชั่ง Check Weigher	5		เครื่องจักรทำการชั่งและบรรจุอัตโนมัติ	445	
8	พบแนวโน้มสินค้าที่ถูกปฏิเสธหรือไม่ยอมรับ เพิ่มขึ้น					
9	ตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่อง Multihead ระหว่างกระบวนการผลิต	5		รับค่าการตั้งจากผู้ปฏิบัติงาน	5	
10	ดำเนินการผลิตต่อเนื่องจนจบล็อต	440		เครื่องจักรทำการชั่งและบรรจุอัตโนมัติ	440	
11	กดหยุดเครื่องจักร	5		เครื่องจักรหยุดผลิต	5	
	ผู้ปฏิบัติงาน	นาที	สถานะ	เครื่องจักร	นาที	สถานะ
	เวลาว่าง	880		เวลาว่าง	0	
	เวลาทำงาน	80		เวลาทำงาน	960	
	เวลาทั้งหมด	960		เวลาทั้งหมด	960	
	%เวลาทำงาน	8%		%เวลาทำงาน	100%	

ภาพที่ 3-6 แผนภูมิคน-เครื่องจักร กระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead

จากการวิเคราะห์แผนภูมิคน-เครื่องจักรของสถานีงานชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว จะสังเกตได้ว่าผู้ควบคุมเครื่องจักรปรับตั้งค่าก่อนเริ่มการผลิต และมีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรระหว่างกระบวนการผลิตตามประสบการณ์ของผู้ควบคุมเครื่องจักร ทำให้เกิดปัญหาความแตกต่างของการตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลการตั้งค่าของเครื่องจักรชั่งแบบหลายหัวมาศึกษา และหาตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาออกแบบการทดลองหาการตั้งค่าที่เหมาะสม ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

3.3 การกำหนดปัจจัยและตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

จากหัวข้อที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการทำงานปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาและสาเหตุของการเกิดค่าน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้า พบว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead มีผลโดยตรงต่อความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ดังนั้นในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจึงทำการกำหนดปัจจัยและตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่สามารถควบคุมหรือปรับเปลี่ยนได้เท่านั้น เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองและปรับตั้งให้เหมาะสมกับสภาพการผลิต และลักษณะของสินค้า

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ ตัวแปรควบคุม (Control Variables) ตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) และตัวแปรรบกวน (Noise Variables) โดยรายละเอียดของตัวแปรควบคุมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องชั่งแบบหลายหัวมีดังต่อไปนี้

3.3.1 ตัวแปรควบคุมที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมที่ควบคุมเครื่องจักร มี 6 ตัวแปรดังนี้

3.3.1.1 น้ำหนักเป้าหมาย (Target Weight) น้ำหนักเป้าหมายเป็นพารามิเตอร์หลักในการชั่งและบรรจุสินค้า โดยมีหน่วยเป็นกรัม และเป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกชุดหัวชั่งในกระบวนการบรรจุ การกำหนดน้ำหนักเป้าหมายที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้เกิดการบรรจุเกินหรือการบรรจุขาด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการกำหนดน้ำหนักเป้าหมายให้สอดคล้องกับนโยบายของผู้บริหารในการลดค่าการบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้า

3.3.1.2 น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้ (Upper Acceptable Weight Limit) น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้เป็นค่าที่ใช้กำหนดช่วงการบรรจุที่ยังถือว่าสินค้ามีคุณภาพตามมาตรฐาน โดยมีหน่วยเป็นกรัม ตัวแปรนี้มีบทบาทสำคัญต่อปริมาณสินค้าที่ถูกจัดเป็นน้ำหนักบรรจุเกิน การกำหนดค่าที่เหมาะสมช่วยลดการสูญเสียวัตถุดิบ และเพิ่มประสิทธิภาพของการเลือกชุดหัวชั่งในการรวมน้ำหนักสินค้าให้ได้ตามน้ำหนักเป้าหมาย

3.3.1.3 ความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุ (Maximum Packing Speed) ช่วงความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุ วัดเป็นถุงต่อนาที เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการผลิตและความเสถียรของการชั่งน้ำหนัก ความเร็วที่สูงเกินไปอาจทำให้ความแม่นยำของการชั่งลดลง และเพิ่มความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ ความเร็วที่ช้าเกินไปก็ส่งผลต่อกำลังการผลิตของโรงงาน งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเหมาะสมของความเร็วในการชั่งและบรรจุให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตของสายการผลิตกรณีศึกษา

3.3.1.4 ช่วงน้ำหนักบนจานรับ (Weight Range on Dispersion feeder) ช่วงน้ำหนักบนจานรับเป็นตัวแปรที่กำหนดปริมาณวัตถุดิบที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละรอบการทำงาน หากช่วงน้ำหนักบนจานรับต่ำเกินไป จะทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในการกระจายวัตถุดิบไปยังหัวชั่ง ส่งผลให้ความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุเพิ่มขึ้น หรือช่วงน้ำหนักบนจานรับสูงเกินไปกับลักษณะของสินค้า จะทำให้เกิดสินค้าล้นและไหลออกสู่หัวชั่ง งานวิจัยนี้จึงนำตัวแปรดังกล่าวมาศึกษาเพื่อกำหนดความสม่ำเสมอของการป้อนวัตถุดิบ โดยแสดงรายละเอียดส่วนประกอบหลักของเครื่องชั่งแบบหลายหัวดังภาพที่ 3-7

ภาพที่ 3-7 แสดงส่วนประกอบของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead

3.3.1.5 การกระจายสินค้า (Vibration Intensity and Duration) การกระจายสินค้าประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ จานรับ DF และรางลำเลียง RF โดยทั้ง 2 ส่วนมีมอเตอร์สั่นที่ทำหน้าที่กระจายสินค้าไปยังถังพัก โดยแรงสั่นและเวลาสั่นของมอเตอร์เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมการกระจายวัตถุดิบจากจานรับไปยังรางลำเลียง การไหลของวัตถุดิบที่ไม่สม่ำเสมอหรือเกิดการค้างของวัตถุดิบอาจมีผลต่อการบรรจุน้ำหนักบรรจุเกิน และหากแรงสั่นหรือเวลาสั่นไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักในแต่ละถังชั่ง ส่งผลให้การเลือกชุดหัวชั่งมีประสิทธิภาพลดลง เพื่อลดความแปรปรวนในขั้นตอนการเลือกหัวชั่ง การกำหนดและปรับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว จึงมีบทบาทสำคัญต่อความแม่นยำของการชั่ง

และการลดค่าน้ำหนักบรรจุเกิน งานวิจัยนี้จึงศึกษาตัวแปรแรงสั่นและเวลาสั่นของระบบการกระจายสินค้าของเครื่องชั่งแบบหลายหัว เพื่อให้การกระจายวัตถุดิบมีความสม่ำเสมอ

3.3.1.6 ระบบเปิด/ปิดการรอของบนจาน (Waiting Control on Dispersion feeder) ระบบเปิด/ปิดการรอของบนจานรับ (Infeed Control) เป็นฟังก์ชันที่ใช้ควบคุมจังหวะการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่ระบบ เพื่อป้องกันการสะสมหรือการขาดวัตถุดิบในช่วงเวลาหนึ่ง ตัวแปรนี้ช่วยให้ระบบสามารถปรับตัวตามสภาพการผลิตที่เปลี่ยนแปลง เช่น ถ้าปิดระบบและสินค้าบนจานรับน้อยตัวเครื่องยังพยายามที่จะชั่งและรวมน้ำหนักให้ได้ตามน้ำหนักเป้าหมาย แม้จะมีตัวเลือกในน้อย ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของน้ำหนักบรรจุในภาพรวม

3.3.2 ตัวแปรตอบสนองในการวิจัย

ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการประเมินผลการปรับปรุง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรจุ ค่าน้ำหนักบรรจุเกินต่อหน่วยผลิต ลดความเสี่ยงไม่ให้เกิดการหลุดของสินค้าที่มีน้ำหนักบรรจุขาด และการบรรจุเกินกว่ามาตรฐานโรงงานกำหนด ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการหลังการปรับปรุง

3.3.3 ตัวแปรรบกวน

ตัวแปรรบกวนที่อาจส่งผลต่อผลการวิจัย ได้แก่ ความแปรปรวนของลักษณะวัตถุดิบ สภาพแวดล้อมในการผลิต และสภาพการสึกหรอของเครื่องจักร ซึ่งผู้วิจัยพยายามควบคุมด้วยการใช้ การสุ่มลำดับการทดลอง และการทดลองซ้ำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดตัวแปรรบกวนในระบบการผลิต

3.4 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการชั่งและบรรจุสินค้า รวมถึงการทำงานของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดค่าน้ำหนักบรรจุเกิน พบว่าปัจจัยหลายประการ มีผลต่อความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การควบคุมกระบวนการมีความเรียบง่าย เสถียร และสามารถนำไปใช้งานจริงได้ในสายการผลิต งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้มีการปรับเปลี่ยนเพียงพารามิเตอร์ของเครื่องชั่งและบรรจุแบบหลายหัวขณะทำงานจริง โดยใช้ค่าที่ได้จากการทดลองและการปรับจูนที่ให้ผลดีที่สุด ทั้งนี้ยังช่วยให้ระบบควบคุมมีความเสถียร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสายการผลิตจริงได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเครื่องจักรหรือขั้นตอนการทำงานเดิม

งานวิจัยนี้ดำเนินการออกแบบการทดลองแบบลำดับขั้น แม้ว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead จะมีความสัมพันธ์กันในเชิง

กายภาพและการทำงานของระบบ อย่างไรก็ตามการออกแบบการทดลองทั้งหมดในครั้งเดียวจะส่งผลให้จำนวนการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างมาก และไม่เหมาะสมกับข้อจำกัดของโรงงาน ผู้วิจัยจึงใช้การผสมผสานระหว่างการออกแบบการทดลอง และวิจารณญาณทางวิศวกรรมในการคัดเลือกการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยตามผลกระทบต่อเสถียรภาพของกระบวนการ โดยกำหนดให้ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายสินค้า และการทำงานเชิงกลของเครื่องจักรถูกควบคุมให้คงที่ก่อน เพื่อให้การปรับตัวแปรหลักสามารถดำเนินการบนกระบวนการที่มีเสถียรภาพ โดยมุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยเป็นกลุ่มย่อยตามลำดับความสำคัญ แทนการออกแบบการทดลองรวมทุกปัจจัยในครั้งเดียว แนวทางดังกล่าวช่วยให้สามารถระบุค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ข้อจำกัดของการผลิตจริง และลดความซับซ้อนของแบบจำลองทางสถิติ โดยเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมจากการทดลองแล้ว ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ปัจจัยดังกล่าวเป็นค่าคงที่ก่อนดำเนินการศึกษาในขั้นตอนถัดไป

3.4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมค่าน้ำหนักบรรจุ

ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคือ น้ำหนักเป้าหมาย (Target Weight) เป็นตัวแปรควบคุมค่าน้ำหนักบรรจุของเครื่องชั่งแบบหลายหัว โดยมีหน่วยเป็นกรัม และใช้ค่าตั้งต้นตามนโยบายของผู้บริหารในการตั้งค่า เพื่อให้เครื่องชั่งแบบหลายหัวตัดสินใจเลือกชุดหัวชั่งในกระบวนการชั่งและบรรจุ ผู้วิจัยได้ศึกษากำหนดการปรับค่าน้ำหนักเป้าหมายส่วนเกินไว้ที่ 0.8% ดังเดิม เช่นน้ำหนักบรรจุ 500 กรัม ปรับค่าเผื่อไว้ที่ 0.8% คือ 504 กรัมเพื่อให้ค่าน้ำหนักเป้าหมายสอดคล้องกับนโยบายของผู้บริหาร เพื่อเป็นการตั้งต้นในการพิจารณาตัวแปรอื่น โดยการกำหนดค่าน้ำหนักเป้าหมายไม่กระทบต่อกระบวนการผลิตอื่น และข้อกำหนดด้านคุณภาพสินค้า แนวทางดังกล่าวช่วยลดความซับซ้อนของการทดลอง ลดความเสี่ยงจากการปรับค่าหลายตัวแปรพร้อมกันตลอดช่วงการทดลอง

3.4.2 ตัวแปรที่กำหนดและควบคุมให้เป็นค่าคงที่ (Fixed / Fitted Parameters)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead จะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่สำหรับใช้งานจริงในกระบวนการผลิต จากการวิเคราะห์และพิจารณาโดยผู้ผลิตเครื่องจักรร่วมกับผู้วิจัย โดยแต่ละตัวแปรจะทำการคำนวณและออกแบบการทดลองตามสมมติฐานของผู้วิจัย ซึ่งอ้างอิงจากเครื่องชั่งแบบหลายหัวในโรงงานกรณีศึกษาที่ใช้ผลิตจริง ซึ่งประกอบด้วย

3.4.2.1 น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้

ค่าน้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้ (Upper Acceptable Weight Limit) ถูกกำหนดโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของสินค้า และข้อมูลเชิงสถิติของน้ำหนักต่อชิ้น เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการบรรจุจริง และลดการสูญเสียจากการบรรจุเกินอย่างไม่จำเป็น โดยผู้วิจัยใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อชิ้นของสินค้า เป็นฐานในการกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้น จากการพิจารณาว่า ในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead การบรรจุเกินโดยมีจำนวนชิ้นเพิ่มขึ้น 1 ชิ้นจากน้ำหนักเป้าหมาย เป็นลักษณะการบรรจุเกินที่พบได้บ่อยและมีความเหมาะสมในการใช้เป็นเกณฑ์เริ่มต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนดค่าน้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้เป็นผลรวมของน้ำหนักเป้าหมาย (Target Weight) กับค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อชิ้นของสินค้า ดังสมการ

$$UAWL(g) = \text{Target weight (g)} + \overline{W} \text{ piece (g)}$$

เมื่อ

UAWL คือ น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้ (กรัม)

Target weight คือ น้ำหนักเป้าหมายของการบรรจุ (กรัม)

$\overline{W}$ piece คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักต่อชิ้นของสินค้า (กรัมต่อชิ้น)

โดยกำหนด

$\overline{W}$ piece = 30 (กรัมต่อชิ้น)

ตัวอย่างการคำนวณ (น้ำหนักเป้าหมายของการบรรจุ 504 กรัมต่อถุง)

$$UAWL = 504 + 30 \text{ (กรัม)}$$

$$UAWL = 534 \text{ (กรัม)}$$

การกำหนดค่าดังกล่าวจากตัวอย่างการคำนวณ จะทำให้น้ำหนักการชั่งและบรรจุสินค้าอยู่ที่ 504 ถึง 534 กรัม จากสเปกสินค้าที่มีการควบคุม โดยผู้ควบคุมคุณภาพ ช่วยให้ช่วงการยอมรับน้ำหนักมีความเหมาะสมกับลักษณะสินค้าแต่ละขนาด ลดความเข้มงวดในการรวมน้ำหนัก และลดการสูญเสียวัตถุดิบจากการตั้งค่าขอบเขตน้ำหนักที่กว้างเกินไป ทั้งนี้ค่าน้ำหนักขอบบนดังกล่าวถูกใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการควบคุม น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้จึงถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ตลอดการทดลองโดยใช้ค่าที่อ้างอิงจากน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้นของสินค้า

3.4.2.2 ความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุ

ช่วงความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ โดยอาศัยข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตของกระบวนการต้นน้ำซึ่งเป็นคอขวดของสายการผลิต ทั้งนี้กำลังการผลิตสูงสุดของกระบวนการผลิตโรงงานกรณีศึกษาดังกล่าว ถูกออกแบบไว้ที่ 1 ตันต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาร่วมกับน้ำหนักบรรจุต่อถุงซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่ 500 กรัมต่อถุงขึ้นไป

$$\text{Q max (pack/min)} = \frac{\text{M hour (g/hr)}}{\text{W bag (g/pack)}} \times \frac{\text{1 (hr)}}{\text{60 (min)}}$$

เมื่อ

Q max คือ อัตราการผลิตสูงสุด (ถุงต่อนาที)

M hour คือ กำลังการผลิตของกระบวนการต้นน้ำ (กรัมต่อชั่วโมง)

W bag คือ น้ำหนักบรรจุต่อถุง (กรัมต่อถุง)

โดยกำหนด

M hour = 1,000,000 (กรัมต่อชั่วโมง)

ตัวอย่างการคำนวณ (น้ำหนักบรรจุ 500 กรัมต่อถุง)

$$\text{Q max (pack/min)} = \frac{\text{M hour (g/hr)}}{\text{W bag (g/pack)}} \times \frac{\text{1 (hr)}}{\text{60 (Min)}}$$

$$\text{Q max} = \frac{1{,}000{,}000}{500} \times \frac{1}{60}$$

$$\text{Q max} = \frac{2{,}000}{60}$$

$$\text{Q max} \approx 33.33 \text{ ถุงต่อนาที}$$

ตารางที่ 3-1 แสดงการคำนวณความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ตามน้ำหนักบรรจุต่อถุงในแต่ละสินค้า

น้ำหนักบรรจุต่อถุง (กรัม/ถุง)	จำนวนถุงต่อชั่วโมง (ถุง/ชั่วโมง)	อัตราการผลิตสูงสุดจากการคำนวณ (ถุง/นาที)	อัตราการผลิตสูงสุด การตั้งค่า (ถุง/นาที)
500	**2,000**	**33.33**	**35**
700	1,428.57	23.81	25
1,000	1,000	16.67	20
2,000	500	8.33	10

ตารางที่ 3-1 แสดงการคำนวณอัตราการผลิตสูงสุดในหน่วยถุงต่อนาที และใช้เป็นขอบเขตของความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุในงานวิจัยนี้ เพื่อจำกัดความเร็วในการชั่งไม่ให้เกิดสินค้าขาดช่วงตลอดกระบวนการผลิต ทั้งนี้ความเร็วในการชั่งและบรรจุมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของกระบวนการซีลของเครื่องบรรจุอัตโนมัติ เนื่องจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะส่งผลต่อระยะเวลาในการสัมผัสความร้อนของแถบซีล ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของรอยซีล อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ อุณหภูมิการซีลถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ตลอดกระบวนการ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบซ้อนจากตัวแปรด้านความร้อน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนความเร็วในการชั่งและบรรจุจึงอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพการซีลอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ตัวแปรความเร็วในการชั่งและบรรจุเป็นค่าคงที่ เพื่อควบคุมกำลังการผลิตไม่ให้เกิดความแปรปรวนมากจนเกินไป และยังรักษาคุณภาพการซีลและความเสถียรของกระบวนการผลิตโดยรวม ไม่ให้กระทบกับกระบวนการอื่นนอกเหนือขอบเขตของเครื่องชั่งแบบหลายหัว

3.4.2.3 ช่วงน้ำหนักบนจานรับ

ช่วงน้ำหนักบนจานรับของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของสินค้า และข้อจำกัดของอุปกรณ์ เพื่อให้การชั่งน้ำหนักมีความถูกต้อง โดยมีสินค้าสะสมมากที่สุดบนจาน สำหรับเตรียมกระจายไปตามหัวชั่งโดยรอบ และเกิดความเสถียรของกระบวนการผลิต ช่วงน้ำหนักดังกล่าวถูกกำหนดจากน้ำหนักสูงสุดของสินค้าที่สามารถวางบนจานรับได้โดยไม่เกิดการล้นหรือการตกหล่น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการชั่ง รวมถึงการทำงานของเครื่องจักร โดยการกำหนดช่วงน้ำหนัก

บนจานรับในงานวิจัยนี้ คำนึงถึงสเปกของเครื่องชั่งแบบหลายหัวจากรุ่นที่ใช้ในโรงงานกรณีการศึกษา ซึ่งสามารถรองรับการตั้งค่าน้ำหนักบนจานรับได้ในช่วง 0–5,000 กรัม และสินค้ากว่า 90% ของไลน์การผลิตนี้ เป็นลักษณะสินค้าประเภทเดียวกันคือ ไก่ทอดก้อนสไตล์ญี่ปุ่น ลักษณะเป็นก้อน หรือเรียกว่าไก่คาราเกะ ดังตัวอย่างภาพที่ 3-8 อย่างไรก็ตามเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของสินค้าชนิดนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดทำการทดลองค่าช่วงน้ำหนักบนจานรับให้เหมาะสมกับสินค้าโดยอ้างอิงจากน้ำหนักสูงสุดที่สามารถวางบนจานรับได้อย่างปลอดภัย และไม่ล้นออกจากจานรับ



ภาพที่ 3-8 แสดงลักษณะของสินค้าไก่คาราเกะ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของ น้ำหนักบนจานรับ (Dispersion table) ต่อการเกิดปัญหาการล้นของสินค้า โดยกำหนดให้น้ำหนักบนจานรับเป็นปัจจัยหลัก (Factor) และทำการปรับระดับปัจจัย (Levels) เพิ่มขึ้นทีละ 500 กรัม เริ่มตั้งแต่ 2,000 กรัม ถึง 5,000 กรัม ทดลองแต่ละระดับได้มีการทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 100 ถุง ตามช่วงที่เครื่องจักรสามารถรองรับได้ โดยที่ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ที่ใช้ในการประเมินผลของการทดลองคือ การเกิดการล้นของสินค้าบนจานรับ ซึ่งพิจารณาจากการสังเกตการทำงานจริงของเครื่องจักรในระหว่างการทดลอง ระดับของปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 7 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3-2 การทดลองปรับระดับน้ำหนักบนจานรับของสินค้าประเภทไก่คาราเกะทั้งหมด 3 ครั้ง

ระดับการทดลอง	การตั้งค่าน้ำหนักบนจานรับ (กรัม)	ช่วงน้ำหนักบนจานรับ ± 20% (กรัม)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ข้อสังเกตุ
1	2,000	1,600 – 2,400				
2	2,500	2,000 – 3,000				
3	3,000	2,400 – 3,600				
4	3,500	2,800 – 4,200				
5	4,000	3,200 – 4,800				
6	4,500	3,600 – 5,400				
7	5,000	4,000 – 6,000				

ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ที่ใช้ในการประเมินผลของการทดลอง คือ การเกิดการล้นของสินค้าบนจานรับ ซึ่งพิจารณาจากการสังเกตการทำงานจริงของเครื่องจักรในระหว่างการทดลอง โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินในลักษณะเชิงคุณภาพ ได้แก่

ก) ไม่เกิดการล้นของสินค้า หมายถึง ไม่มีสินค้าล้นออกจากจานรับ และการกระจายสินค้าไปยัง (Hopper weight) เป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการทดลอง

ข) เกิดการล้นของสินค้า หมายถึง พบการล้นของสินค้าบนจานรับในระหว่างการทดลอง ไม่ว่าจะเกิดขึ้นเพียงบางช่วงหรือส่งผลให้ต้องหยุดกระบวนการผลิต

ผลการประเมินจากการทำซ้ำทั้ง 3 ครั้งในแต่ละระดับจะถูกนำมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อสรุปผลว่าระดับของน้ำหนักบนจานรับนั้นเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง

3.4.2.4 แรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้า

ระบบการกระจายสินค้าของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ถูกควบคุมด้วยค่าพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ค่าแรงสั่นและเวลาสั่น ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ โดยพิจารณาให้การจ่ายสินค้าเข้าสู่ระบบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและสอดคล้องกับอัตราการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา การกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมปริมาณสินค้าที่อยู่บนจานรับและรางลำเลียงให้สามารถส่งไปยังถังพัก (Pool Hopper) ในแต่ละรอบการชั่งได้อย่างเหมาะสมต่อการทำงานของอัลกอริทึมในการเลือกชุดหัวชั่ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาค่าแรงสั่นและเวลาสั่นของระบบกระจายสินค้าให้มีความเหมาะสม เพื่อควบคุมความเสถียรของกระบวนการผลิตโดยรวม

การกระจายสินค้าของเครื่องชั่งแบบหลายหัวมีผลโดยตรงต่อความสม่ำเสมอของการกระจายสินค้า จำนวนหัวชั่งที่ถูกเลือกในแต่ละรอบการชั่ง และปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการบรรจุ หากค่าแรงสั่นหรือเวลาสั่นไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้เกิดการสะสมของสินค้า การกระจายตัวไม่ทั่วถึง หรือเกิดการไหลของวัตถุดิบที่ไม่เสถียร ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการชั่งและบรรจุ ในการศึกษานี้ ค่าแรงสั่นและเวลาสั่นถูกปรับให้เหมาะสมเพื่อให้การรวมหัวชั่ง (Combination of Hoppers) ในแต่ละรอบการชั่งสามารถใช้จำนวนหัวชั่งให้น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่ยังคงสามารถบรรลุน้ำหนักเป้าหมายได้ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนสะสมที่เกิดจากเครื่องชั่งย่อยในแต่ละหัว และเพิ่มความแม่นยำของน้ำหนักรวมในแต่ละรอบการชั่ง นอกจากนี้น้ำหนักสินค้าที่อยู่ในถังชั่ง (Hopper Weight) ของแต่ละหัวถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับน้ำหนักบรรจุของสินค้า เพื่อให้ระบบสามารถเลือกชุดหัวชั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความแปรปรวนของน้ำหนักในแต่ละรอบการชั่ง และช่วยเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการผลิตโดยรวม

จำนวนหัวชั่งที่ใช้ในการรวมค่าน้ำหนักมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของกระบวนการ เนื่องจากการใช้จำนวนหัวชั่งมากเกินไปจะเพิ่มความซับซ้อนของการคำนวณและเพิ่มการสะสมของความคลาดเคลื่อน (Error Accumulation) จากการชั่งน้ำหนักในแต่ละหัว ซึ่งอาจส่งผลให้ความแม่นยำของน้ำหนักบรรจุลดลง นอกจากนี้การเลือกหัวชั่งจำนวนมากในรอบปัจจุบันยังส่งผลกระทบต่อความพร้อมของหัวชั่งในรอบถัดไป ทำให้การกระจายตัวของน้ำหนักในถังชั่ง (Hopper weight) ไม่สม่ำเสมอและเพิ่มความแปรปรวนของกระบวนการโดยรวม

จากการสำรวจสภาพการทำงานปัจจุบันของโรงงาน พบว่ามีการตั้งค่าแรงสั่นอยู่ในช่วง 70–99 และเวลาสั่นอยู่ในช่วง 60–99 ซึ่งเป็นช่วงกว้างและยังไม่มีการ

กำหนดค่าที่เหมาะสมอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยจึงนำหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) มาประยุกต์ใช้ เพื่อศึกษาผลของแรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้า ต่อค่าน้ำหนักบรรจุเกินและเสถียรภาพของกระบวนการ

ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของ แรงสั่น (Vibration Amplitude) และ เวลาสั่น (Vibration Time) ต่อความสม่ำเสมอในการกระจายสินค้าไปยังถังพักและความเสถียรของการเลือกหัวชั่ง โดยตัวแปรทั้งสองเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Factors) และมีช่วงการทำงานจำกัดระหว่าง 0 ถึง 99 ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็ม (Full Factorial Design) ร่วมกับการทำซ้ำ เพื่อให้สามารถประเมินผลกระทบของแต่ละปัจจัยและปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้อย่างน่าเชื่อถือดังนี้

ตารางที่ 3-3 ปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลองแรงสั่น เวลาสั่นของการกระจายสินค้า

ปัจจัย	สัญลักษณ์	หน่วย	ช่วงค่า
แรงสั่น	A	Amplitude	0 – 99
เวลาสั่น	B	Amplitude	0 – 99

ตารางที่ 3-4 การกำหนดระดับปัจจัยแรงสั่น เวลาสั่นของการกระจายสินค้า

ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาใช้ช่วงการตั้งค่าสำหรับการผลิตจริงด้วยแรงสั่นไม่ต่ำกว่า 70 และเวลาสั่นไม่น้อยกว่า 60 หากค่าน้อยจะทำให้การไหลของสินค้าไม่ทันต่อกำลังการผลิต ผู้วิจัยจึงได้เลือกกำหนดระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับ (Low–Center–High) ดังนี้

ปัจจัย	ระดับต่ำ (–1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+1)
แรงสั่น (A)	70	85	99
เวลาสั่น (B)	60	75	99

ตารางที่ 3-5 แสดงรูปแบบการทดลองแรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้าแบบแฟกทอเรียลเต็ม

Std order	Run order	A: แรงสั่น	B: เวลาสั่น	น้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ย (%)
1	8	70	60	
2	12	70	75	
3	23	70	99	
4	20	85	60	
5	19	85	75	
6	21	85	99	
7	13	99	60	
8	26	99	75	
9	5	99	99	
10	27	70	60	
11	1	70	75	
12	17	70	99	
13	16	85	60	
14	14	85	75	
15	4	85	99	
16	22	99	60	
17	10	99	75	
18	18	99	99	
19	11	70	60	
20	9	70	75	
21	15	70	99	
22	6	85	60	
23	2	85	75	
24	3	85	99	
25	25	99	60	

Std order	Run order	A: แรงสั่น	B: เวลาสั่น	น้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ย (%)
26	7	99	75	
27	24	99	99	

ผู้วิจัยจึงได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็ม โดยใช้ 3^2 Full Factorial Design และทำการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรจุเกินของ 100 ถุงต่อรอบการทดลอง

3.4.2.6 ระบบเปิด/ปิดการรอของบนจานรับ

ระบบเปิด/ปิดการรอของบนจานรับ (Infeed Control) เป็นระบบควบคุมที่มีหน้าที่บริหารจัดการการไหลของสินค้าจากกระบวนการต้นทางเข้าสู่จานรับของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead โดยมีบทบาทสำคัญในการรักษาสมดุลของปริมาณสินค้าบนจานรับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการชั่งและการกระจายสินค้าไปยังถังพักรวมถึงถังชั่ง (Hopper weight) หากไม่มีระบบควบคุมดังกล่าว อาจเกิดปัญหาสินค้าบนจานรับขาด ส่งผลให้เกิดมีตัวเลือกการชั่งน้อย การกระจายสินค้าไม่สม่ำเสมอ และทำให้ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเพิ่มสูงขึ้น

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้ เปิดใช้งานระบบเปิดการรอของบนจานรับ โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อจานรับมีน้ำหนักของสินค้าน้อยกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะอนุญาตให้สินค้าจากกระบวนการต้นทางถูกลำเลียงเข้าสู่จานรับอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีปริมาณสินค้าที่เพียงพอสำหรับการกระจายไปยัง Hopper weight พร้อมทั้งหยุดกระบวนการชั่งรวม ในทางตรงกันข้าม เมื่อจานรับมีน้ำหนักเข้าใกล้หรือถึงค่าขีดจำกัดบน ระบบจะทำการหยุดหรือชะลอการเติมสินค้าโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการล้นของสินค้าและลดความแปรปรวนของปริมาณสินค้าบนจานรับ

การควบคุมลักษณะดังกล่าวช่วยให้กระบวนการชั่งและบรรจุสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และสอดคล้องกับอัตราการไหลของสินค้าที่เข้ามาจากอินพุตของกระบวนการผลิต ส่งผลให้การเลือกหัวชั่งมีความเสถียรมากขึ้น ลดจำนวนหัวที่ต้องใช้ในการรวมค่าน้ำหนัก และลดการสะสมของความคลาดเคลื่อนในการชั่งน้ำหนักในรอบถัดไป ทั้งนี้การเปิดใช้งานระบบรอของบนจานรับจึงเป็นองค์ประกอบ

สำคัญที่สนับสนุนการลดค่าน้ำหนักบรรจุเกิน และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยรวม

3.5 วิธีการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

หลังจากการกำหนดสมมติฐานและการออกแบบการทดลองในหัวข้อ 3.3 ซึ่งเป็นการวางกรอบแนวคิดและกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าน้ำหนักบรรจุเกิน โดยงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการอธิบายขั้นตอนการดำเนินการทดลองจริงในสภาพการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา รวมถึงวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลของการปรับปรุงกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้า ซึ่งมีวิธีการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลตามภาพที่ 3-9

3.5.1 การเตรียมการทดลองและการควบคุมปัจจัยแทรกซ้อน

นอกเหนือจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรและตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแล้ว การเตรียมการทดลองในงานวิจัยนี้ยังให้ความสำคัญกับการควบคุมปัจจัยด้านอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้สะท้อนพฤติกรรมของกระบวนการอย่างแท้จริง และลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากปัจจัยแทรกซ้อน

ด้านของผลิตภัณฑ์ผู้วิจัยได้กำหนดสเปกของสินค้าที่นำมาใช้ในการทดลองให้มีสเปกสินค้าเดียวกัน เช่น ชนิดของสินค้า ลักษณะทางกายภาพ ขนาด รูปร่าง และช่วงน้ำหนักต่อชิ้น โดยใช้สินค้าจากล็อตการผลิตเดียวกันตลอดช่วงการทดลองในรอบนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างของวัตถุดิบ ซึ่งอาจส่งผลต่อการไหลและการกระจายสินค้าบนจานรับและรางลำเลียง

ด้านของเครื่องจักรเชิงกายภาพ ทำการตรวจสอบและตั้งค่าองค์ประกอบทางกลของเครื่องชั่งแบบหลายหัว Multihead ให้พร้อมใช้งานตามสเปกของผู้ผลิต เช่น สภาพของถังชั่ง Hopper weight จานรับ รางลำเลียง และอุปกรณ์ขับเคลื่อนต่าง ๆ รวมถึงการตรวจสอบความสะอาดและการยึดติดของชิ้นส่วน เพื่อให้การทำงานของเครื่องจักรเป็นไปอย่างราบรื่นและลดโอกาสเกิดความผิดพลาดจากสภาพเครื่องจักรที่ไม่สมบูรณ์ ผู้วิจัยยังได้ทำการตรวจการสอบเทียบอุปกรณ์เครื่องมือวัด (Instruments) ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูล เช่น Load cell ของถังชั่ง และเครื่องตรวจสอบน้ำหนักรายถุง รวมถึงค่าแรงดันลมที่จ่ายให้กับเครื่องจักร เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมีความแม่นยำและอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน โดยการสอบเทียบเป็นไปตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด

ด้านของสภาพการทำงาน ผู้วิจัยได้ตรวจสอบให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตามปกติ ไม่มีการแจ้งเตือนความผิดปกติ ไม่มีการซ่อมบำรุงระหว่างการทดลอง และดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมการผลิตเดียวกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และอัตราการป้อนสินค้า เพื่อป้องกันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม มีการกำหนดแนวปฏิบัติสำหรับผู้ควบคุมเครื่องจักรให้ปฏิบัติงานตามเอกสารวิธีการปฏิบัติงานมาตรฐานเดียวกันตลอดช่วงการทดลอง เพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยด้านบุคคล

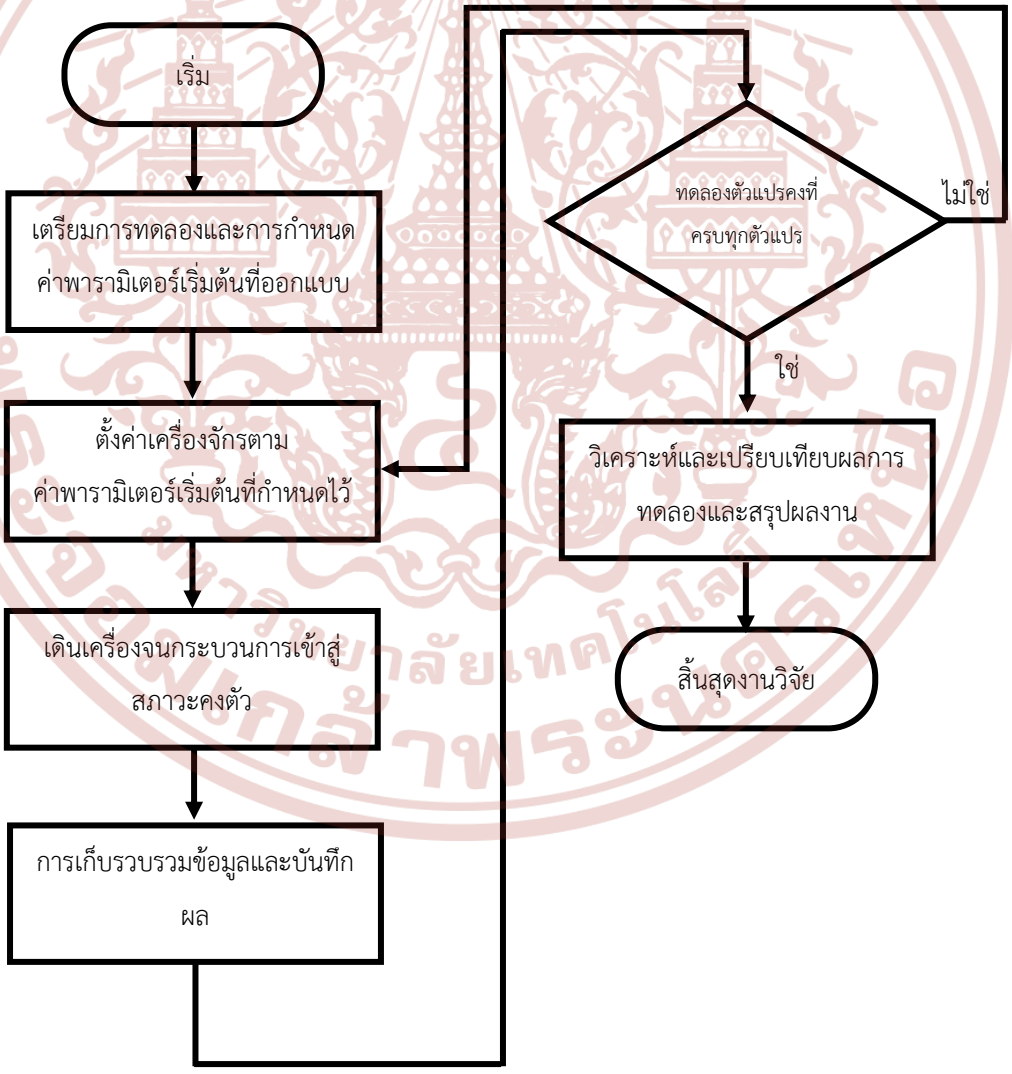
3.5.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองในงานวิจัยนี้ถูกวางแผนให้ดำเนินการภายใต้สภาพการผลิตจริงของโรงงานกรณีศึกษา โดยเริ่มจากการตั้งค่าเครื่องจักรตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้จากการออกแบบการทดลองในหัวข้อ 3.3 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการตั้งสมมติฐานและการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี ทั้งนี้ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูลจะทำการเดินเครื่องจักรจนกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงตัว เพื่อให้การทดลองดำเนินไปภายใต้สภาวะการทำงานปกติของระบบ ในระหว่างการทดลองจะทำการปรับค่าตัวแปรที่กำหนดให้เป็นตัวแปรทดลองตามลำดับความสำคัญของตัวแปรที่ออกแบบไว้ โดยตัวแปรอื่นจะถูกควบคุมให้คงที่ตามการตั้งค่าเดิมของโรงงานตลอดช่วงการทดลอง เพื่อให้สามารถประเมินผลกระทบของตัวแปรที่ศึกษาได้อย่างชัดเจนและลดผลกระทบจากปัจจัยแทรกซ้อน โดยเริ่มจากการตั้งค่าตัวแปรตามสมมติฐานดังนี้

ก) น้ำหนักเป้าหมาย ตั้งไว้ที่ 0.8 % ของน้ำหนักบรรจุมาตรฐาน
ข) น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้ ตั้งไว้ที่ค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อชิ้นของสเปกสินค้า
ค) ช่วงความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุ ตั้งที่ 35 ถุงต่อนาทีตามกำลังการผลิตสูงสุด
ง) ระบบเปิด/ปิดการรอขอบนจาน ตั้งเปิดระบบตลอดการทดลอง
จ) ช่วงน้ำหนักบนจานรับ ตั้งค่าเริ่มต้นตามตารางการทดลองที่ 3-2 และใช้ค่าที่ดีที่สุด
ฉ) แรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า ตั้งค่าเริ่มต้นตามตารางการทดลองที่ 3-5 และใช้ค่าที่ดีที่สุด

3.5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการการเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้วางแผนให้ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบควบคุมของเครื่องจักรในสายการผลิต ที่ถูกเก็บอัตโนมัติไว้ในฐานข้อมูลของโรงงาน โดยข้อมูลหลักที่กำหนดให้เก็บรวบรวม ได้แก่ น้ำหนักบรรจุของสินค้าในแต่ละถุงจากเครื่องชั่งบรรจุแบบหลายหัว และเครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุง ค่าการตั้งค่าของเครื่องจักรของทุกตัวแปรที่อยู่ในการทดลอง น้ำหนักเป้าหมาย รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องจักรในระหว่างการทดลอง โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัลอย่างเป็นระบบ เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือ และเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติและการประเมินผลในขั้นตอนถัดไปได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 3-9 แสดงวิธีการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในบทนี้ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการของสถานีงานชั่งและบรรจุ ทั้งเครื่องชั่งแบบหลายหัว เครื่องบรรจุอัตโนมัติ และเครื่องชั่งตรวจสอบน้ำหนักรายถุง กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องในสถานีงานนี้ของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อหาสาเหตุของปัญหา รวมไปถึงการกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ออกแบบการทดลอง พร้อมทั้งทำการกำหนดรูปแบบการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ร่วมกับวิศวกรและผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการผลิต ขอคำปรึกษาการทำงานเชิงลึกของเครื่องจักรกับผู้ผลิตเครื่องจักร ในบทต่อไปผู้วิจัยจะทำการทดลองตามรูปแบบการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ และนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการชั่งและบรรจุ นำไปตั้งค่าเครื่องจักรต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในบทนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการผลิตในสภาวะปัจจุบัน การดำเนินการทดลองตามหลักการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการชั่งและบรรจุ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดการบรรจุน้ำหนักเกิน และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตจริง มีการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแนวทางที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดสำคัญ ได้แก่ ปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้กล่าวเอาไว้แล้วในบทที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยในการออกแบบการทดลอง การกำหนดสมมติฐานการทดลอง วิธีการดำเนินการทดลอง และการกำหนดรูปแบบการทดลอง ในบทนี้ผู้วิจัยจะทำการทดลองตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลองและนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

4.2 การเลือกการตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสม

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

4.4 การตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูล

4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.6 การวิเคราะห์สภาวะการทำงานที่เหมาะสม

4.7 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

4.8 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

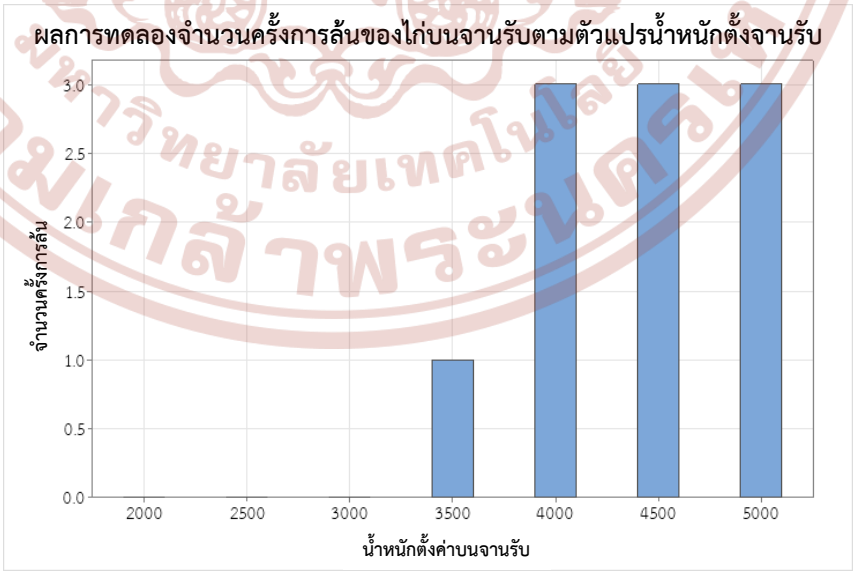
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

เมื่อผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ผู้วิจัยได้จัดทำตารางบันทึกผลการทดลองเพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นจากแต่ละเงื่อนไขของการทดลอง โดยตารางดังกล่าวประกอบด้วยข้อมูลของปัจจัยการทดลอง ระดับของปัจจัย และค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลองในแต่ละรอบ ทั้งนี้ในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองมีการดำเนินการทดลองซ้ำตามจำนวนที่

กำหนด เพื่อให้สามารถประเมินความแปรปรวนของข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลของการทดลองในตัวแปรทดลอง จะถูกแสดงตามตารางที่ 4-1 ถึง 4-2 ดังนี้

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองปรับระดับน้ำหนักบนจานรับของสินค้าประเภทไก่คาราเกะทั้งหมด 3 ครั้ง

ระดับการทดลอง	การตั้งค่าน้ำหนักบนจานรับ (กรัม)	ช่วงน้ำหนักบนจานรับ ± 20% (กรัม)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ข้อสังเกตุ
1	2,000	1,600 – 2,400	ไม่ล้น	ไม่ล้น	ไม่ล้น	ไม่เกิดการล้น
2	2,500	2,000 – 3,000	ไม่ล้น	ไม่ล้น	ไม่ล้น	ไม่เกิดการล้น
3	**3,000**	**2,400 – 3,600**	ไม่ล้น	ไม่ล้น	ไม่ล้น	**ไม่เกิดการล้น**
4	3,500	2,800 – 4,200	ไม่ล้น	ล้น	ไม่ล้น	เริ่มมีแนวโน้มล้น
5	4,000	3,200 – 4,800	ล้น	ล้น	ล้น	เกิดการล้น
6	4,500	3,600 – 5,400	ล้น	ล้น	ล้น	เกิดการล้น
7	5,000	4,000 – 6,000	ล้น	ล้น	ล้น	เกิดการล้น



ภาพที่ 4-1 กราฟผลการทดลองจำนวนครั้งการล้นของไก่บนจานรับตามตัวแปรน้ำหนักตั้งค่าจานรับ

จากผลการทดลองพบว่า แม้ค่าการตั้งน้ำหนักบนจานรับจะยังไม่ถึงค่าสูงสุดตามสเปกของเครื่องจักร แต่เนื่องจากน้ำหนักจริงของสินค้าเมื่อมีการผลิตจริงที่เครื่องชั่งแบบหลายหัวมีความแปรปรวนในช่วง ±20 เปอร์เซ็นต์ ของค่าการตั้งค่าตามการทำงานของเครื่อง เมื่อน้ำหนักบนจนน้อยกว่า -20 เปอร์เซ็นต์ จะทำการส่งสัญญาณเรียกสินค้าบนสายพานลำเลียงแนวนอนมาเติมบนจาน และเมื่อสินค้ามากกว่า +20 เปอร์เซ็นต์ จะทำการสั่งหยุดสายพานลำเลียงแนวนอนเพื่อหยุดการเติมสินค้าบนจานไม่ให้ล้น ทำให้ในบางระดับการทดลองน้ำหนักจริงสูงสุดมีค่าเกินขีดจำกัดเชิงกายภาพของจานรับ และจากลักษณะของสินค้าไก่คาราเกะส่งผลให้เกิดการล้นของสินค้า

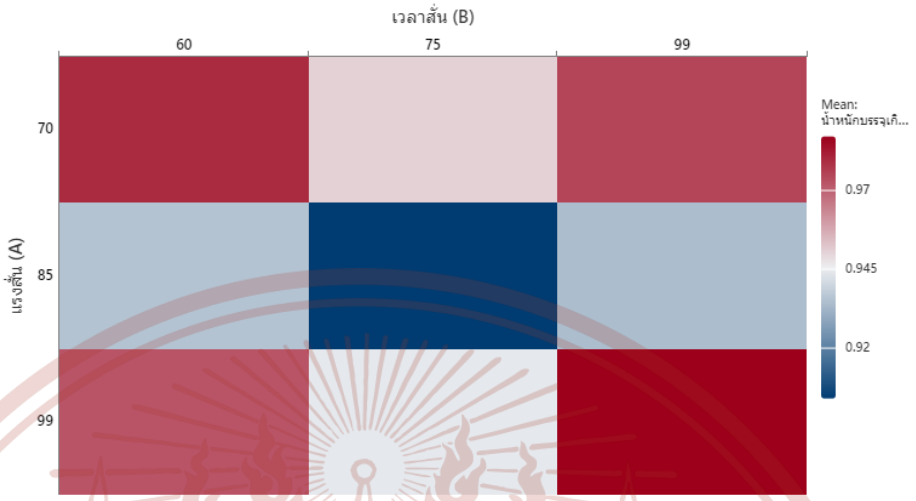
จากตารางผลการทดลองพบว่า ระดับการตั้งค่าน้ำหนักบนจานรับตั้งแต่ 2,000–3,000 กรัม ให้ผลการทดลองเป็น ไม่ล้น อย่างสม่ำเสมอในทั้ง 3 ครั้ง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสามารถทำงานได้อย่างเสถียรภายใต้ช่วงน้ำหนักจริงที่ไม่เกินประมาณ 3,600 กรัม ในขณะที่ระดับน้ำหนัก 3,500 กรัม เริ่มให้ผลไม่สม่ำเสมอ โดยเกิดการล้นของสินค้าในบางรอบการทดลอง ซึ่งสะท้อนถึงการเข้าสู่ช่วงวิกฤตของขีดจำกัดการรองรับน้ำหนักของจานรับ ส่วนระดับตั้งแต่ 4,000 กรัมขึ้นไป ให้ผลล้นอย่างต่อเนื่องในทุกการทำซ้ำ แสดงให้เห็นว่าช่วงดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง จึงยืนยันได้ว่าการล้นของสินค้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับน้ำหนักบนจานรับและช่วงความแปรปรวนของน้ำหนักจริง พบว่าการล้นของสินค้าเริ่มเกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักจริงเข้าใกล้หรือเกินประมาณ 3,600 กรัม

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้าแบบแฟกทอเรียลเต็ม

Std order	A: แรงสั่น	B: เวลาสั่น	ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ย (%)	RESI1
1	70	60	0.978	-0.0013333
2	70	75	0.951	0.0006667
3	70	99	0.969	-0.0056667
4	85	60	0.936	0.0006667
5	85	75	0.904	0.0000000
6	85	99	0.932	-0.0020000
7	99	60	0.971	-0.0010000
8	99	75	0.944	0.0000000
9	99	99	0.982	-0.0046667
10	70	60	0.989	0.0096667
11	70	75	0.942	-0.0083333

Std order	A: แรงสั่น	B: เวลาสั่น	ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ย (%)	RESI1
12	70	99	0.981	0.0063333
13	85	60	0.928	-0.0073333
14	85	75	0.893	-0.0110000
15	85	99	0.941	0.0070000
16	99	60	0.963	-0.0090000
17	99	75	0.936	-0.0080000
18	99	99	0.991	0.0043333
19	70	60	0.971	-0.0083333
20	70	75	0.958	0.0076667
21	70	99	0.974	-0.0006667
22	85	60	0.942	0.0066667
23	85	75	0.915	0.0110000
24	85	99	0.929	-0.0050000
25	99	60	0.982	0.0100000
26	99	75	0.952	0.0080000
27	99	99	0.987	0.0003333

หมายเหตุ ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเป็นค่าเฉลี่ยจากการบรรจุ 100 ถุงต่อรอบ และเฉลี่ยซ้ำจาก 3 รอบ ของการทดลอง



ภาพที่ 4-2 กราฟแผนที่ความร้อนของผลการทดลองแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า

จากผลการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง หรือจากกราฟแผนที่ความร้อน พบว่าแรงสั่นและเวลาสั่นมีผลต่อค่าน้ำหนักบรรจุเกินอย่างชัดเจน โดยค่าที่ระดับกลางของทั้งสองปัจจัยของแรงสั่น (A) = 85 และเวลาสั่น (B) = 75 ที่ให้ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าในระดับดังกล่าวช่วยให้การกระจายสินค้าไปยังถังพักและถังชั่ง (Hopper weight) เป็นไปอย่างสมดุล ลดความจำเป็นในการใช้จำนวนหัวมากเกินไป และลดการสะสมของความคลาดเคลื่อนในการชั่งน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาจากระดับการทดลองของผู้วิจัยแรงสั่น และเวลาสั่นของการกระจายสินค้า พบว่าระดับแรงสั่น (A) = 85 และเวลาสั่น (B) = 75 ให้ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ยต่ำที่สุด ซึ่งเมื่อตั้งค่าที่ดีที่สุดของการทดลอง ค่าดังกล่าวจึงถูกเลือกเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงประกอบกับตัวแปรอื่นที่ได้จากการทดลอง

4.2 การเลือกการตั้งค่าเครื่องจักรที่เหมาะสม

หลังจากดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาค่าการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เหมาะสมต่อกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้า โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนองหลัก ได้แก่ ปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไขของการทดลอง การเลือกค่าการตั้งที่เหมาะสมจะพิจารณาจากเงื่อนไขที่สามารถลดค่าน้ำหนักบรรจุเกินได้มากที่สุด พร้อมทั้งยังคงรักษาเสถียรภาพของกระบวนการผลิตและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้า โดยสรุปในตารางที่ 4-3 ดังนี้

ตารางที่ 4-3 ตารางสรุปผลการทดลองตัวแปรที่ใช้ตั้งค่าเครื่องชั่งแบบหลายหัวตามสมมติฐานดังนี้

ลำดับ	ตัวแปร	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
1	น้ำหนักเป้าหมาย	น้ำหนักบรรจุ + 0.8%	น้ำหนักบรรจุ + 0.8%
2	น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้	35	น้ำหนักเฉลี่ยสินค้าต่อชิ้น
3	ความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุ	60	35
4	ระบบเปิด/ปิดการรอของบนจาน	ปิด	เปิด
5	ช่วงน้ำหนักบนจานรับ	1,000-2,000 กรัม	2,400–3,600 กรัม
6	แรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้า	แรงสั่น 70 , เวลาสั่น 60	แรงสั่น 85 , เวลาสั่น 75

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองมีความน่าเชื่อถือ และจากการศึกษาทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ผู้วิจัยจึงได้ให้ความสำคัญกับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลการทดลองต้องเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ คือ มีการแจกแจงแบบปกติ การตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residuals) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการตรวจสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวน หากข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานดังกล่าว จะสามารถนำข้อมูลการทดลองไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสมและน่าเชื่อถือทางสถิติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำผลการทดลองในตารางที่ 4-2 มาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง โดยการตรวจสอบจะมีทั้งหมด 3 ขั้นตอนดังนี้

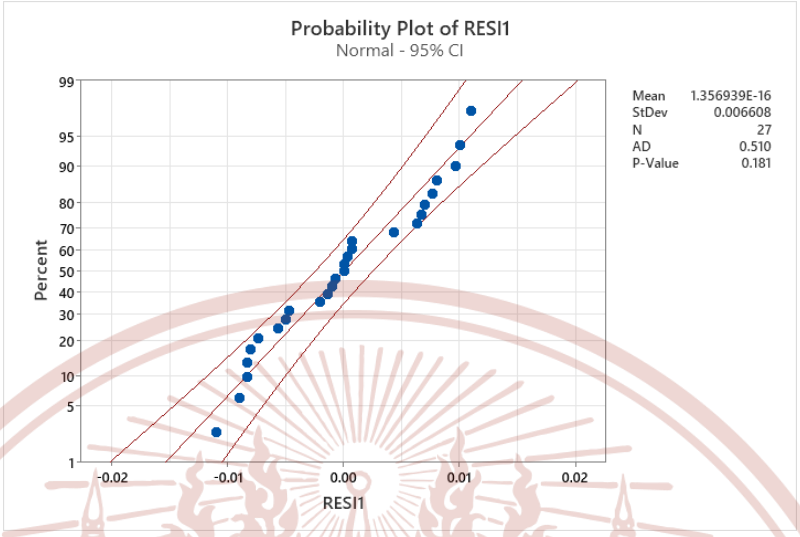
4.3.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

ผู้วิจัยพิจารณาค่าส่วนตกค้าง มีการตั้งสมมติฐานการทดสอบ ดังนี้

H_0 : ค่าส่วนตกค้าง มีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ค่าส่วนตกค้าง มีการกระจายตัวที่ไม่ใช่แบบปกติ

โดยตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab ของการทดลองในตารางที่ 4-2 แสดงดังภาพที่ 4-3 พบว่าค่า p-value ของการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลการทดลองที่ 4-2 มีค่าเท่ากับ 0.181 ซึ่งค่า p-value มากกว่า 0.05 นั่นหมายความว่า การแจกแจงข้อมูลของค่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเป็นแบบปกติ



ภาพที่ 4-3 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างของการตารางการทดลองที่ 4-2

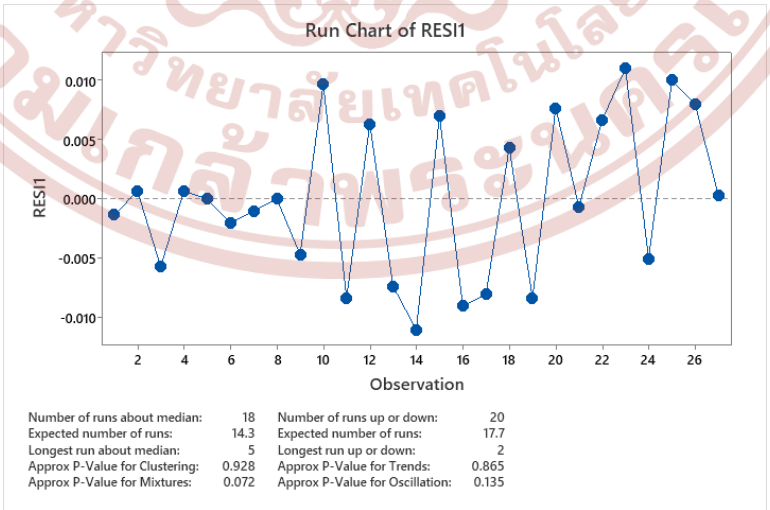
4.3.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

พิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเปรียบเทียบกับลำดับการทดลอง โดยมีการตั้งสมมติฐานการทดสอบ ดังนี้

H_0 : ค่าส่วนตกค้างเป็นแบบสุ่ม

H_1 : ค่าส่วนตกค้างไม่เป็นแบบสุ่ม

จากภาพที่ 4-4 พบว่า ค่า p-value ของการทดสอบของค่าส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลองในรูปแบบต่างๆ มีค่ามากกว่า 0.05 เท่ากับว่าการทดลองมีการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง มีการกระจายแบบสุ่มตามการออกแบบการทดลอง



ภาพที่ 4-4 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับลำดับการทดลองของตารางการทดลองที่ 4-2

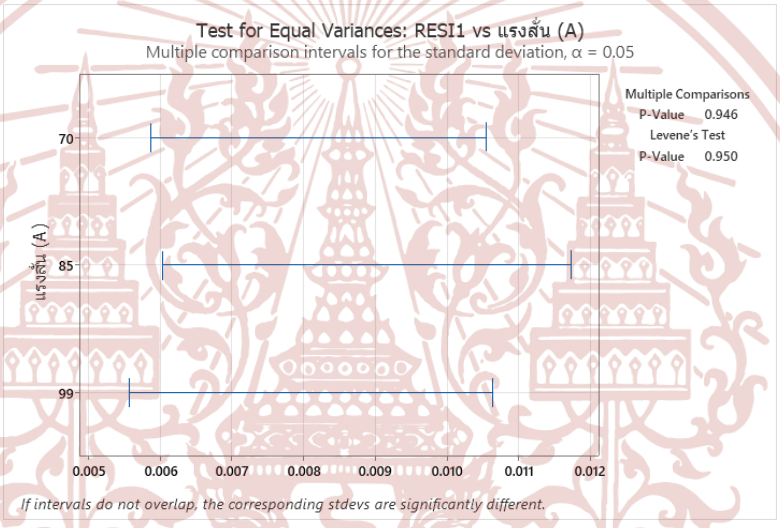
4.3.3 การตรวจสอบค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้าง

พิจารณาความแปรปรวนของส่วนตกค้าง โดยมีการตั้งสมมติฐานการทดสอบ ดังนี้

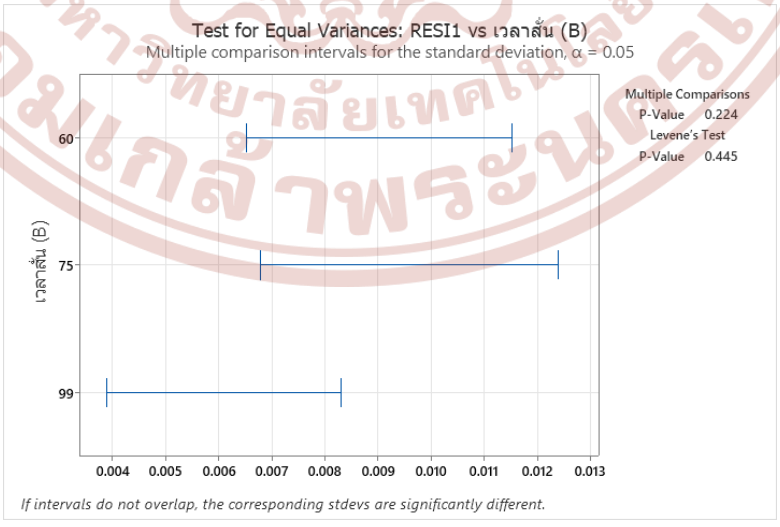
H_0 : ค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียรภาพ

H_1 : ค่าส่วนตกค้างไม่เป็นแบบสุ่มไม่มีเสถียรภาพ

จากภาพที่ 4-5 ถึง 4-6 พบว่า ค่า p-value ของการทดสอบแรงสั่น และเวลาสั่นของการกระจายสินค้า มีค่ามากกว่า 0.05 เท่ากับว่าการทดลองมีความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีค่าตวามแปรปรวนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4-5 แสดงความแปรปรวนของส่วนตกค้างการทดลองที่ 4-2 แต่ละกลุ่มของแรงสั่นของการกระจายสินค้า



ภาพที่ 4-6 แสดงความแปรปรวนของส่วนตกค้างการทดลองที่ 4-2 แต่ละกลุ่มของเวลาสั่นของการกระจายสินค้า

จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ทั้ง 3 ประการ ได้แก่ การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ซึ่งพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันตามลำดับการทดลอง และการตรวจสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง ซึ่งพบว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีความสม่ำเสมอในทุกระดับของปัจจัยการทดลอง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติ และสามารถนำแบบจำลองการทดลองไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้อย่างเหมาะสมและน่าเชื่อถือ

4.4 การตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูล

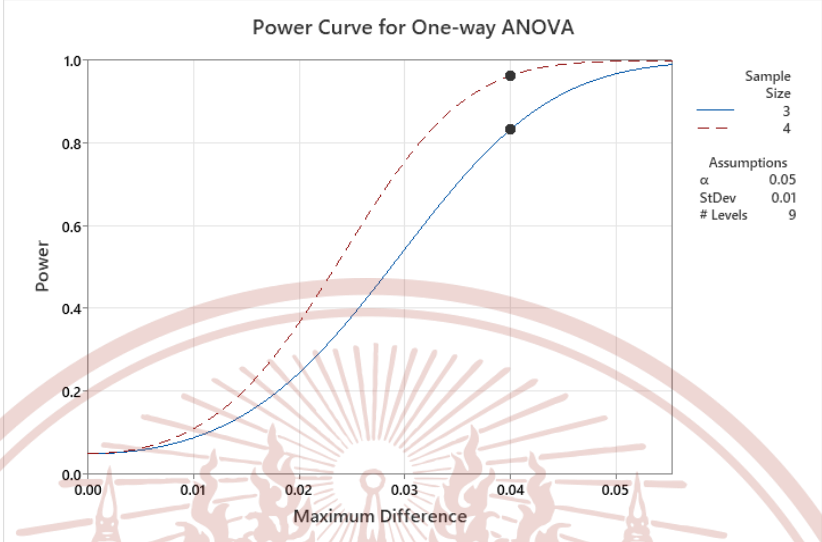
ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบอำนาจการทดสอบทางสถิติ เพื่อประเมินความสามารถของการทดลองในการตรวจพบความแตกต่างของผลกระทบระหว่างปัจจัยที่ศึกษา การตรวจสอบอำนาจการทดสอบช่วยให้สามารถประเมินได้ว่าจำนวนการทดลองและจำนวนการทำซ้ำที่กำหนดไว้ในงานวิจัยนี้มีความเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิติหรือไม่ ซึ่งจะพบว่าการทดลองในงานวิจัยนี้มีอำนาจการทดสอบสูงเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์จากผลการทดลองที่ 4-2 ที่มีจำนวนตัวอย่าง 27 การทดลองจากการทำซ้ำ 3 ครั้ง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดลองไม่เกิน 0.01 และค่าความแตกต่างมากที่สุดระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มคือ 0.04 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการทดลอง มีจำนวนการทดลองซ้ำที่เพียงพอ แสดงว่าการออกแบบการทดลองมีความเหมาะสมและสามารถตรวจจับผลกระทบของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-7 และ 4-8 ดังนี้

Results

Maximum Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.04	3	0.8	0.833621
0.04	4	0.9	0.963325

The sample size is for each level.

ภาพที่ 4-7 ผลลัพธ์การหาค่าอำนาจของการทดสอบของข้อมูลตารางการทดลองที่ 4-2



ภาพที่ 4-8 กราฟผลลัพธ์การหาค่าอำนาจของการทดสอบของข้อมูลตารางการทดลองที่ 4-2

4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

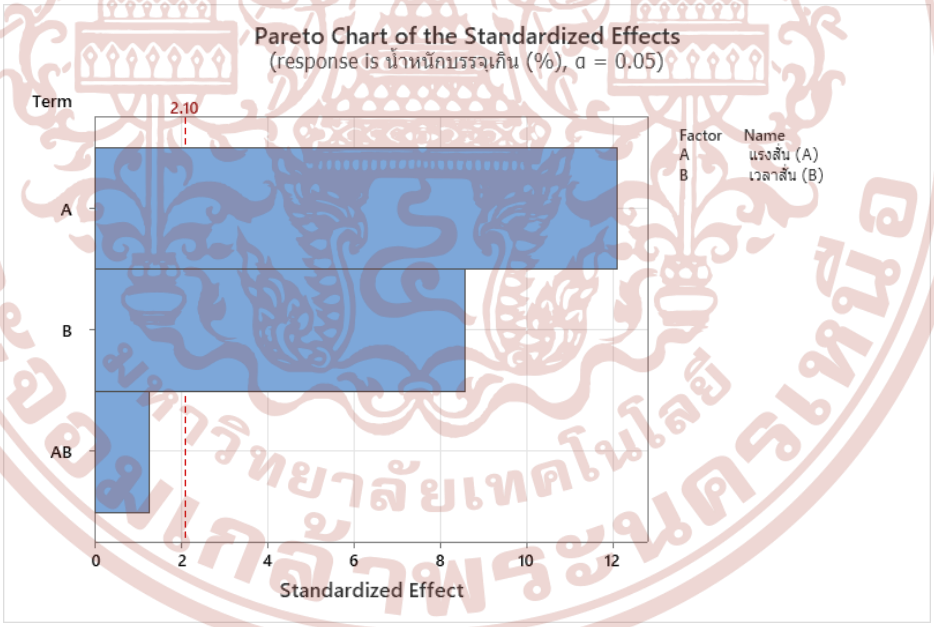
จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองในหัวข้อที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติ ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เพื่อทดสอบสมมติฐานผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการผลิต จากการทดลองที่ 4-2 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งผลที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่ 4-2 แรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้า

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	0.017455	0.002182	34.59	0.000
Linear	4	0.017059	0.004265	67.62	0.000
แรงสั่น (A)	2	0.011297	0.005648	89.55	0.000
เวลาสั่น (B)	2	0.005762	0.002881	45.68	0.000
2-Way Interactions	4	0.000396	0.000099	1.57	0.226

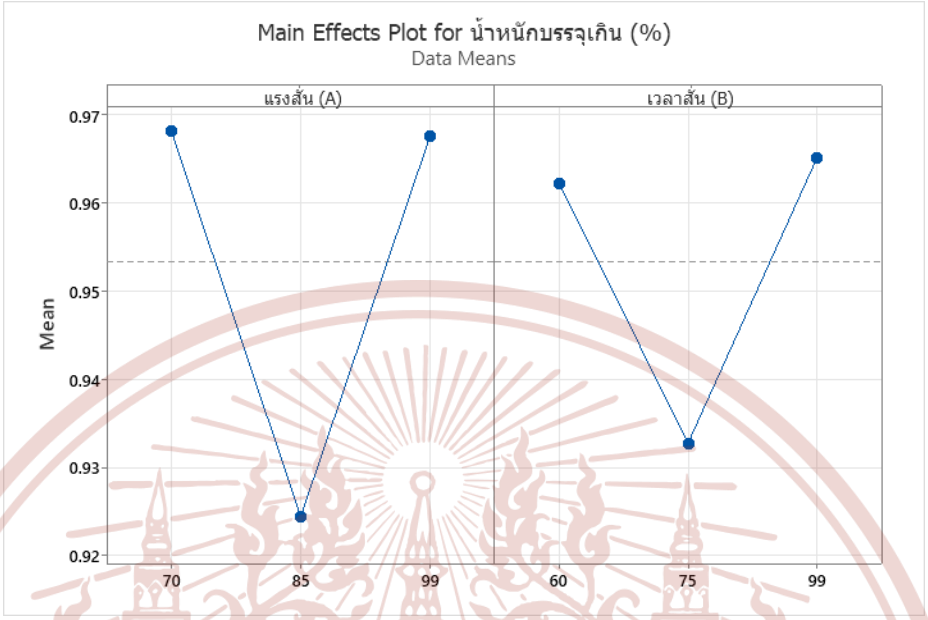
แรงสั่น (A)*เวลาสั่น (B)	4	0.000396	0.000099	1.57	0.226
Error	18	0.001135	0.000063		
Total	26	0.018590			

จากการทดลองที่ 4-2 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4-4 พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัยมีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยที่ศึกษา สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าปัจจัยแรงสั่น (A) เวลาสั่น (B) ของการกระจายสินค้า มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A และ B ที่ค่า p-value เท่ากับ 0.226 ซึ่งแสดงว่าผลของปัจจัยหนึ่งไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอีกปัจจัยหนึ่งอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดสอบสมมติฐานสรุปได้ดังภาพที่ 4-9

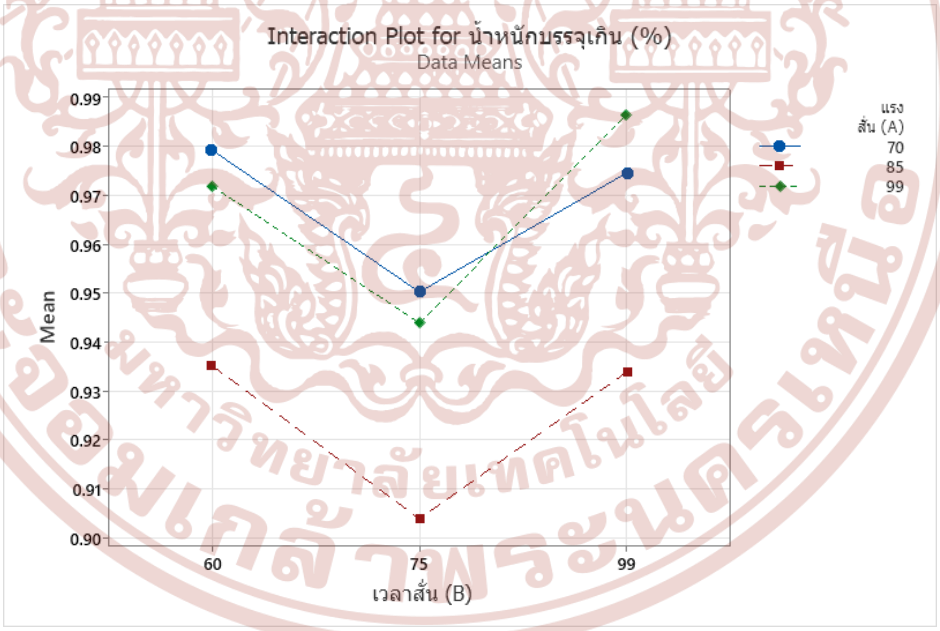


ภาพที่ 4-9 กราฟพาเรโตแสดงอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า

อิทธิพลของปัจจัยหลักคือ แรงและเวลาสั่นสามารถอธิบายได้ว่าที่แรงสั่นเท่า 85 กับเวลาสั่นที่ 75 จะได้ค่าผลลัพธ์ของค่าบรรจุน้ำหนักเกินที่ต่ำที่สุดดังภาพที่ 4-10 และ 4-11



ภาพที่ 4-10 อิทธิพลหลักแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า



ภาพที่ 4-11 อิทธิพลร่วมแรงสั่นเวลาสั่นของการกระจายสินค้า

4.6 การวิเคราะห์หาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะการทำงานของเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรสำคัญสำหรับกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้า โดยพิจารณาจากค่าระดับของปัจจัยที่สามารถลดค่าน้ำหนักบรรจุเกินได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงพิจารณาความ

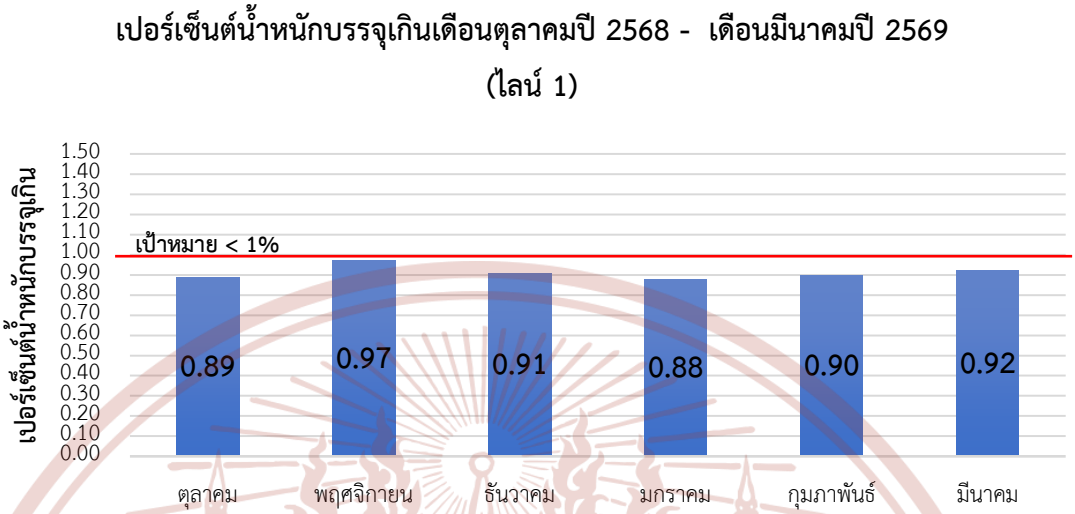
เสถียรของกระบวนการผลิตภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว โดยการทดลองนี้ผ่านการตรวจสอบทั้งความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง ตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวนให้หัวข้อที่ 4.3 ถึง 4.5 ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดค่าการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องชั่งแบบหลายหัวที่เหมาะสม สำหรับการนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตได้ดังตารางที่ 4-5 ดังนี้

ตารางที่ 4-5 ตารางสรุปตัวแปรที่ใช้ตั้งค่าเครื่องชั่งบรรจุแบบหลายหัวตามสมมติฐานการทดลองมีดังนี้

ลำดับ	ตัวแปร	ค่าของพารามิเตอร์เครื่องชั่งแบบหลายหัว
1	น้ำหนักเป้าหมาย	น้ำหนักบรรจุ + 0.8%
2	น้ำหนักขอบบนที่ยอมรับได้	น้ำหนักเฉลี่ยสินค้าต่อชิ้น
3	ความเร็วสูงสุดในการชั่งและบรรจุ	35
4	ระบบเปิด/ปิดการรอของบนจาน	เปิด
5	ช่วงน้ำหนักบนจานรับ	2,400–3,600 กรัม
6	แรงสั่นและเวลาสั่นของการกระจายสินค้า	แรงสั่น 85 , เวลาสั่น 75

4.7 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

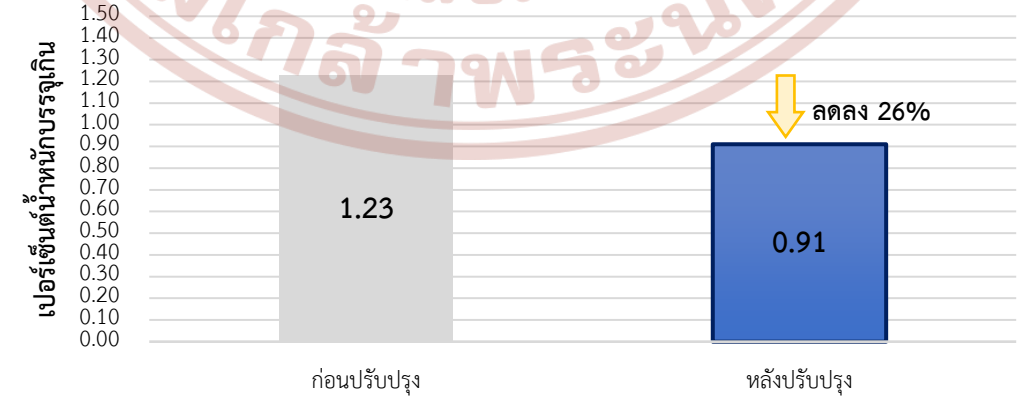
หลังจากกำหนดค่าการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เหมาะสมแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยทำการตั้งค่าเครื่องจักรตามเงื่อนไขที่ได้จากการวิเคราะห์ และดำเนินการผลิตภายใต้สภาวะดังกล่าว จากนั้นจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลน้ำหนักบรรจุที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่เดือนตุลาคมปี 2568 ถึงเดือนมีนาคมปี 2569 เป็นระยะเวลาทั้งหมด 6เดือน แสดงดังภาพที่ 4-12 เพื่อยืนยันว่าค่าการตั้งดังกล่าวสามารถลดค่าน้ำหนักบรรจุเกิดได้ และสามารถนำไปใช้ในการผลิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 4-12 กราฟแท่งแสดงน้ำหนักบรรจุเกินที่ผ่านเครื่องชั่งแบบหลายหัว 6 เดือนย้อนหลัง

4.8 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

ในขั้นตอนสุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงค่าการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักร โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดสำคัญ ได้แก่ น้ำหนักบรรจุเกินที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การเปรียบเทียบดังกล่าวช่วยให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของการปรับปรุงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ และแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในกระบวนการผลิตดัง ภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักบรรจุเกินก่อนและหลังการทดลอง

จากภาพที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรจุเกินก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าหลังจากการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องชั่งและบรรจุตามผลการออกแบบการทดลอง ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ยของกระบวนการลดลงจากร้อยละ 1.23 เหลือต่ำกว่าร้อยละ 1.00 เหลือ 0.91 เปอร์เซ็นต์ซึ่งลดลง 26 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 1.04 ล้านบาทต่อปี สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยในบทถัดไปผู้วิจัยจะทำการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะของงานวิจัยฉบับนี้

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 และบทที่ 4 โดยผู้วิจัยได้อธิบายผลของการคำนวณที่มาของตัวแปรที่ตามสมมติฐาน และนำผลของทดลองมาตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง การตรวจสอบอำนาจของการทดสอบ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และการวิเคราะห์สภาวะการทำงานที่เหมาะสมไปแล้วนั้น ในบทนี้ผู้วิจัยจะได้ทำการสรุปผลงานวิจัยรวมทั้งข้อเสนอแนะ ที่ผู้วิจัยต้องการนำเสนอแนวคิดการลดน้ำหนักบรรจุเกินที่สถานีงานชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต ให้ได้ค่าน้ำหนักบรรจุเกินเป็นไปตามเกณฑ์ที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุสินค้าด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัว และเพื่อกำหนดค่าการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เหมาะสม โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) ในการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต

จากการศึกษากระบวนการผลิตในสภาวะปัจจุบัน พบว่าปัญหาการบรรจุน้ำหนักเกินเป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีค่าน้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ที่ประมาณร้อยละ 1.23 ของน้ำหนักบรรจุ ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย เช่น การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักร ลักษณะการไหลของวัตถุดิบ และเงื่อนไขการทำงานของเครื่องชั่งแบบหลายหัว ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักร โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) พร้อมทั้งดำเนินการทดลองซ้ำในแต่ละเงื่อนไข เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการผลิตในแต่ละการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

จากผลการวิเคราะห์พบว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรตามค่าที่ได้จากการออกแบบการทดลองทั้ง 6 ตัวแปรในตารางที่ 4-5 สามารถช่วยลดปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการผลิต

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อมีการนำค่าการตั้งพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปใช้ในการผลิตจริง พบว่าค่าน้ำหนักบรรจุเกินเฉลี่ยของกระบวนการลดลงจากร้อยละ 1.23 เหลือต่ำกว่าร้อยละ 0.91 คิดเป็นการลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 คิดเป็นมูลค่ามากกว่า 1.04 ล้านบาทต่อปี โดยยังคงรักษามาตรฐานคุณภาพของสินค้าและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองในการปรับปรุงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ลดความสูญเสียจากการบรรจุน้ำหนักเกิน และเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนา และปรับปรุงกระบวนการผลิตในสถานีงานอื่น รวมถึงอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต และการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต

ควรกำหนดค่าการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องชั่งแบบหลายหัวตามผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิต เพื่อช่วยลดความแปรปรวนของน้ำหนักบรรจุและลดปริมาณน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ ควรมีการจัดทำเอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) สำหรับผู้ควบคุมเครื่องจักร เพื่อให้สามารถตั้งค่าเครื่องจักรได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการควบคุมกระบวนการผลิต

ควรมีการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักบรรจุของสินค้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อประเมินเสถียรภาพของกระบวนการผลิตและสามารถตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการได้อย่างรวดเร็ว โดยอาจประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น การควบคุมกระบวนการด้วยสถิติ (Statistical Process Control: SPC) เพื่อช่วยในการติดตามและควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต นอกจากนี้ในอนาคตองค์กรสามารถพัฒนาแนวทางการบริหารจัดการข้อมูลการผลิตในรูปแบบดิจิทัล โดยเชื่อมโยงข้อมูลจากเครื่องจักร เช่น เครื่องชั่งแบบหลายหัวและเครื่องตรวจสอบน้ำหนัก เข้าสู่ระบบฐานข้อมูลกลาง เพื่อให้สามารถติดตามสถานะการผลิตแบบเรียลไทม์ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาระบบจำลองกระบวนการผลิตในรูปแบบ Digital Twin ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนของกระบวนการผลิตจากข้อมูลจริงของเครื่องจักร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของ

กระบวนการ ทดสอบการตั้งค่าพารามิเตอร์ หรือคาดการณ์แนวโน้มของกระบวนการก่อนนำไปใช้ในการผลิตจริง แนวทางดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการ ลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงข้อมูล ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในระยะยาว

5.2.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคต อาจมีการศึกษาปัจจัยเพิ่มเติมที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องชั่งแบบหลายหัว เช่น ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ ความเร็วของกระบวนการบรรจุ หรือการทำงานของอัลกอริทึมในการเลือกชุดหัวชั่ง นอกจากนี้อาจมีการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบอัตโนมัติ ในการวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการผลิต และช่วยแจ้งเตือนและแนะนำในการเพิ่มประสิทธิภาพ รวมถึงการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการผลิตในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

จิดาภา เบ้าบัวเงิน. (2563). การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปุ่มโดยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ณัฏฐณิชา ตะกรุดแจ่ม. (2561). การศึกษาแนวทางการเพิ่มความคมชัดของภาพถ่ายอนุภาคเรืองแสงระดับนาโนเมตร โดยใช้หลักการพื้นผิวผลตอบสนอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วิชิต อินทร์กันหา. (2558). การลดการรั่วซึมของออยล์ซีลในเพลาขับล้อหลังโดยการออกแบบการทดลอง.สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สวัสดิ์ บัญชาเมฆ. (2566). การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเตรียมสินค้าประเภทรถยนต์จากลานจัดเก็บเพื่อส่งมอบลูกค้า กรณีศึกษาผู้ประกอบการธุรกิจลานจัดเก็บรถยนต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิวิเรขา คำจันทร์, อธิวัฒน์ ธันย์วัชรมงคล, และศักดิ์ดา คาจันทร์. (2564). การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต กรณีศึกษาโรงงานประกอบรถยนต์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ปีที่ 6(ฉบับที่ 2), 56–63.

ภาษาอังกฤษ

Del Castillo, E., Beretta, A., & Semeraro, Q. (2015). Analysis and optimal targets setup of a multihead weighing machine.

García-Jiménez, R., García-Díaz, J. C., & Pulido-Rojano, A. D. (2021). Packaging process optimization in multihead weighers with double-layered upright and diagonal systems. Mathematics, 9, 1039. https://doi.org/10.3390/math9091039

Pom, A., Hong, C.-J., Ri, R.-Y., Yu, C.-J., & O, C.-J. (2024). An improved single objective optimization approach for double-layered multi-head weighing process. Mathematical Modelling and Applications, 9(3), 61–69. https://doi.org/10.11648/j.mma.20240903.12

Kumar, L., Reddy, M. S., Managuli, R. S., & Pai, G. K. (2015). Kumar, L., Reddy, M. S., Managuli, R. S., & Pai, G. K. (2015). Full factorial design for optimization, development and validation of HPLC method to determine valsartan in nanoparticles. *Saudi Pharmaceutical Journal, 23*(5), 549–555. Saudi Pharmaceutical Journal, 23(5), 549–555.

Teja, S. P. S., & Damodharan, N. (2018). 2^3 full factorial model for particle size optimization of methotrexate loaded chitosan nanocarriers: A design of experiments (DoE) approach. BioMed Research International, Article ID 7834159, 9 pages. https://doi.org/10.1155/2018/7834159

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายคณินท์พงศ์ ตระกูลวิธานธำรง

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การลดน้ำหนักบรรจุเกินในกระบวนการชั่งและบรรจุด้วยเครื่องชั่งแบบหลายหัวโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว

เกิดวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2537 ที่จังหวัดนนท์บุรี

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกาวิละวิทยาลัย

สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ หลักสูตรวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์สื่อสาร

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประวัติการทำงาน

ตำแหน่งวิศวกรวางระบบ บริษัท ซีพีเอฟไอทีเซ็นเตอร์ จำกัด

ตำแหน่งวิศวกรควบคุมโครงการ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด