วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

บทความวิจัย

การจัดกลุ่มขนาดผลิตภัณฑ์โดยการประยุกต์ใช้ K-means Clustering เพื่อลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์

สุชาวดี ปลั่งศรี[1*] และ คเณศ พันธุ์สวาสดิ์[2]

[1] สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ, มหาวิทยาลัยศิลปากร
[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: s.plungsri@gmail.com

วันที่รับบทความ: 3 กุมภาพันธ์ 2563; วันที่ทบทวนบทความ: 11 มีนาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ: 17 มีนาคม 2563
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 8 กรกฎาคม 2563

บทคัดย่อ: อุตสาหกรรมผ้าเบรกรถยนต์มีกล่องบรรจุภัณฑ์หลายขนาด ส่งผลให้เกิดผลเสีย 3 ด้าน คือ (1) ต้นทุนบรรจุภัณฑ์สูง เนื่องจากการสั่งซื้อกล่องบรรจุภัณฑ์แต่ละขนาดต่อครั้งมีปริมาณต่ำ (2) พื้นที่จัดเก็บมาก และ (3) ปริมาณขนส่งต่ำ เนื่องจากไม่มีมาตรฐานการวางซ้อนและไม่ทราบขีดจำกัดการรับแรงของกล่อง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ และหาปริมาณที่มากที่สุดที่สามารถซ้อนทับกันบนพาเลท สำหรับเสนอแนวทางออกแบบบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดต้นทุนการสั่งซื้อ ลดพื้นที่การจัดเก็บ และเพิ่มปริมาณขนส่ง โดยมีขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน คือ (1) จัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีนเพื่อจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 3 ชุดข้อมูล ชุดข้อมูลละ 437 ข้อมูล (2) หาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สามารถซ้อนทับกันบนพาเลทโดยทดสอบความสามารถในการรับแรงกดของกล่อง ผลการศึกษาจากการเสนอแนวทางออกแบบบรรจุภัณฑ์ 8 แนวทาง และประเมินแบบการวิเคราะห์ปัจจัยภายใน พบว่าแนวทางที่เหมาะสมและตรงความต้องการของบริษัทมากที่สุด ได้แก่ แนวทางที่ 5 คือออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์แนวนอนไม่ใส่โฟม 2 ขนาดและยุบขนาดแนวนอนใส่โฟม โดยสามารถลดต้นทุนได้ 2.9 ล้านบาท คิดเป็น 13.43% ลดพื้นที่จัดเก็บคงคลังได้ 2.19 ล้านลูกบาศก์นิ้ว คิดเป็น 48.65% เพิ่มปริมาณการขนส่งได้ 5,200 กล่อง/รอบ คิดเป็น 86.7%

คำสำคัญ: การจัดกลุ่มแบบเคมีน; การออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์; การรับแรงกดทับของกล่องบรรจุภัณฑ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

บทความวิจัย

K-means Clustering for Grouping Product Size for Reducing Cost Packaging

Suchawadee Plungsri[1*] and Kanate Puntusavase[2]

[1] Department of Industrial Engineering Management Graduate School, Silpakorn University

[2] Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

[*] Corresponding author, E-mail: s.plungsri@gmail.com

Received: 3 February 2020; Revised 11 March 2020; Accepted: 17 March 2020

Online Published: 8 July 2020

Abstract: The brake pad industry has many packaging box sizes resulting in 3 disadvantages: (1) the high purchasing cost; purchasing each packaging box size per time with low volume, (2) a lot of storage space, and (3) low transport volume; there is no clear standard and the box's load limit is unknown. Therefore, the research aimed to group the products for designing the box sizes and find the most layers that can be stacked on a pallet. In the case of the study is to propose packaging design guidelines, to reduce purchase costs, reduce storage space and increase transport volume. This work implemented in 2 main methods. (1) K-mean clustering applied to group the products for designing a new package box size, which received in 3 sets of data, 437 data sets each. (2) analyzing the number of products that can be stacked on the pallet by applied the Box compression test (BCT) with the factors that affect the quality of the box. As a result, from proposing to 8 package design guidelines and evaluate the internal factor evaluation matrix method. The 5th approach is the most suitable guideline for the company's needs. It is designed horizontal size of packaging two sizes without adding foam and canceling sizes with foam. These found the cost reduced by 2.9 million baht or 13.43%. The storage space reduced by 2.19 million cubic inches or 48.65% and the transport volume increased by 5,200 boxes/round or 86.7%

Keywords: K-means Clustering; Design of Packaging Box Size; Box Compression Test

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

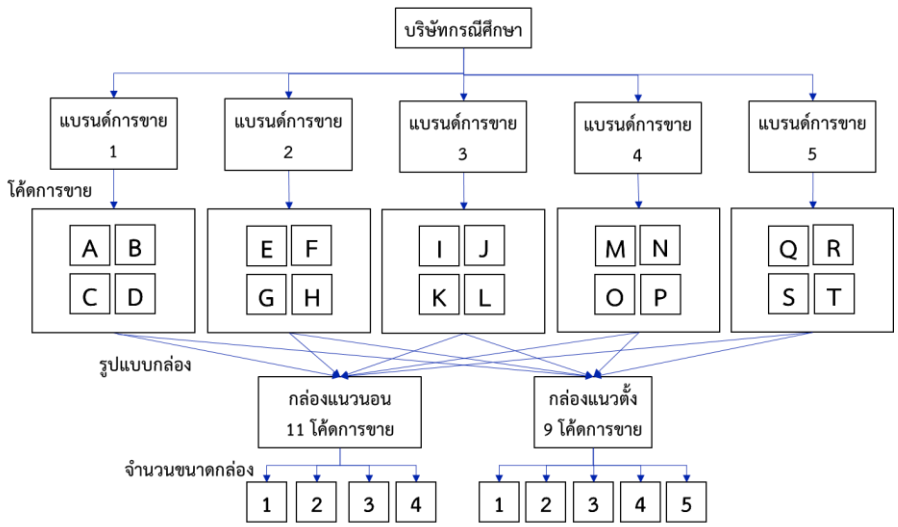
บทความวิจัย

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเศรษฐกิจไทยมีอัตราการเติบโตชะลอตัวลงจากร้อยละ 4.2 เป็นร้อยละ 4.0 ซึ่งเกิดจากผลกระทบสงครามทางการค้าของสหรัฐอเมริกากับจีนและการเมืองของประเทศไทย [1] ทำให้ความเชื่อมั่นในการลงทุนลดลง บริษัทอุตสาหกรรมจึงต้องแข่งขันกันสูงขึ้นเพื่อให้ธุรกิจรอดพ้นจากภาวะเศรษฐกิจ บริษัทจึงจำเป็นต้องปรับลดต้นทุนในการดำเนินการของบริษัท

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตผ้าเบรกรถยนต์สำหรับรถหลายประเภท เช่น รถเก๋ง รถกระบะ รถตู้ เป็นต้น โดยบริษัทมีการเติบโตจากการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้า และขายครอบคลุมทุกรุ่นรถภายใต้แบรนด์ที่หลากหลาย นอกจากนี้แต่ละแบรนด์จะมีโค้ดการขายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานและประเภทของรถ ทำให้กลุ่มลูกค้าสามารถเข้าถึงผลิตภัณฑ์ได้ง่าย

จากกลยุทธ์การขายนี้ทำให้ต้นทุนการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุโดยละเอียดพบว่าเกิดจากการที่มีผลิตภัณฑ์และโค้ดการขายหลากหลาย ส่งผลให้กล่องบรรจุภัณฑ์หลากหลายเช่นกัน โดยกล่องบรรจุภัณฑ์ของบริษัทมีทั้งหมด 20 โค้ดการขาย แบ่งตามรูปแบบกล่องบรรจุภัณฑ์ได้ 2 กลุ่ม ประกอบด้วย รูปแบบกล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอน 11 โค้ดการขาย โดยแต่ละโค้ดการขายจะมีขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ 3-4 ขนาด และรูปแบบกล่องบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง 9 โค้ดการขาย โดยแต่ละโค้ดการขายจะมีขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์มากถึง 4-5 ขนาด รวมชนิดกล่องบรรจุภัณฑ์ได้ 77 ชนิด (SKU) แสดงดังรูปที่ 1 และเนื่องจากการสั่งซื้อจำเป็นต้องระบุทั้งโค้ดการขายและขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ ความหลากหลายของขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณการสั่งซื้อกล่องบรรจุภัณฑ์ต่อครั้งต่ำ ส่งผลให้มูลค่าการสั่งซื้อกล่องบรรจุภัณฑ์สูง



รูปที่ 1 ความหลากหลายของบรรจุภัณฑ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

และหากในอนาคตบริษัทผลิตผลิตภัณฑ์ภายใต้แบรนด์หรือโค้ดการขายใหม่โดยใช้จำนวนขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบัน ก็จะส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และเนื่องจากกล่องหลายขนาดพนักงานจะขนส่งผลิตภัณฑ์โดยเรียงผลิตภัณฑ์ซ้อนทับกันบนพาเลทเพียง 8-10 ชั้นเพื่อให้สะดวกต่อการนับจำนวนเท่านั้น ไม่มีมาตรฐานใด ๆ เนื่องจากไม่ทราบถึงขีดจำกัดในการรับแรงกดทับของกล่องบรรจุภัณฑ์แต่ละขนาด ทำให้ปริมาณการขนส่งน้อยและเกิดพื้นที่สูญเปล่าในรถคอนเทนเนอร์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์และศึกษาหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดที่สามารถวางซ้อนทับกันบนพาเลท เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ สำหรับลดต้นทุนการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์ ลดพื้นที่การจัดเก็บ (วัตถุดิบคงคลัง) เพิ่มปริมาณการขนส่งและลดพื้นที่สูญเปล่า

ขอบเขตงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก 437 รุ่น รวมทั้งศึกษารูปแบบและเงื่อนไขการบรรจุผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ หลังจากนั้นใช้การจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means Clustering Analysis) เพื่อจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์และออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ จากนั้นศึกษาเรื่องความสามารถในการรับแรงกดทับของบรรจุภัณฑ์ (Box Compression Test, BCT) เพื่อหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดที่สามารถเรียงซ้อนทับกันบนพาเลทได้ สุดท้ายวิเคราะห์หาแนวทางการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เรื่องต้นทุนบรรจุภัณฑ์ พื้นที่จัดเก็บ (วัตถุดิบคงคลัง) ปริมาณการขนส่งและพื้นที่สูญเปล่าในการขนส่งเป็นเกณฑ์

การจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) เป็นวิธีการจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วนที่ดีที่สุด ส่วนมากนิยมใช้จัดกลุ่มหุ้น [2] เช่น จัดกลุ่มหลักทรัพย์ใน SET 50 ของตลาดหลักทรัพย์ประเทศไทย ผลคือสามารถจัดกลุ่มหลักทรัพย์ที่มีความคล้ายคลึงกันได้ ซึ่งกลุ่มหลักทรัพย์เดียวกันจะถูกนำไปกระจายความเสี่ยงในการลงทุน [3] หรือ จัดกลุ่มกราฟแท่งเทียนเพื่อประกอบการตัดสินใจในการลงทุน ผลคือจัดออกมาได้ 5 แบบ ซึ่งสะท้อนลักษณะการเคลื่อนไหวของราคาที่ต่างกัน [4] เป็นต้น แต่งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เพื่อตอบโจทย์อุตสาหกรรมโดยผ่านโปรแกรมสถิติ SPSS ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่สุดเมื่อจัดกลุ่มแบบเคมีน [5]

กล่าวโดยสรุปการจัดกลุ่มแบบเคมีนจะสามารถจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมเพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสการสั่งซื้อกล่องบรรจุภัณฑ์ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มูลค่าการสั่งซื้อกล่องบรรจุภัณฑ์ลดลง นอกจากนี้การศึกษาหาความสามารถในการรับแรงกดของกล่องจะทำให้ทราบขีดจำกัดในการรับแรงกดทับของกล่องซึ่งสามารถนำมาหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดที่สามารถวางซ้อนทับกันบนพาเลทโดยไม่เกิดความเสียหายเพื่อเพิ่มปริมาณการขนส่งได้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ รูปแบบ และเงื่อนไขการบรรจุผลิตภัณฑ์

การศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดบรรจุภัณฑ์และหาขนาดสุทธิของผลิตภัณฑ์ (ขนาดหลังซีล) สำหรับบรรจุลงกล่องบรรจุภัณฑ์

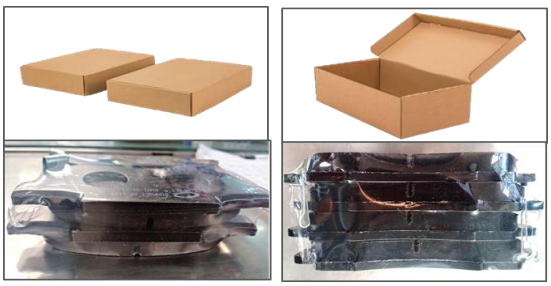
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

2.1.1 ศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์

ผ้าเบรกมีส่วนประกอบ คือ แผ่นเหล็ก ตัวผ้า และอุปกรณ์เสริมที่หลากหลาย โดยอุปกรณ์เสริมที่ส่งผลต่อขนาดบรรจุภัณฑ์คือกิ๊ฟเตือน ซึ่งขนาดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรุ่นรถที่ใช้งาน ดังนั้นเพื่อหาขนาดสุทธิของผลิตภัณฑ์จึงศึกษาภาพเขียน (Drawing) ผ้าเบรกทั้งหมด โดยศึกษาผ้าเบรก 437 รุ่น และกิ๊ฟ 85 แบบ สุดท้ายจะได้ขนาดผ้าเบรกหลังติดกิ๊ฟแล้ว 437 ขนาด

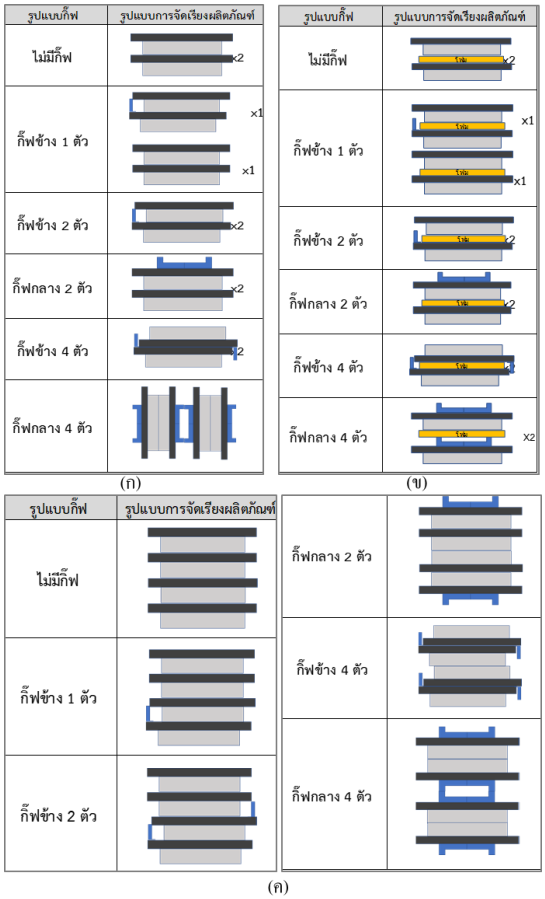
2.1.2 ศึกษารูปแบบและเงื่อนไขการบรรจุผลิตภัณฑ์

ผ้าเบรก 1 ชุด มีทั้งหมด 4 ชิ้น ก่อนบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ต้องซีลทั้ง 4 ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยรูปแบบการบรรจุผ้าเบรกลงบรรจุภัณฑ์ มี 2 รูปแบบ ขึ้นกับรูปแบบกล่องบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการบรรจุผ้าเบรก
(ก) กล่องแนวนอน (ข) กล่องแนวตั้ง

เงื่อนไขการบรรจุผลิตภัณฑ์ขึ้นกับโค้ดการขาย บางโค้ดการขายมีข้อกำหนดให้ใส่โฟมคั่นชิ้นงาน จากโค้ดการขายทั้งหมด 20 โค้ดการขาย คือ กล่องบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง 9 โค้ดการขาย และ กล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอน 11 โค้ดการขาย โดยกล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอนที่ต้องใส่โฟมกั้น มีทั้งหมด 10 โค้ดการขาย ซึ่งสามารถสรุปรูปแบบการจัดเรียงได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบการจัดเรียงผลิตภัณฑ์: (ก) จัดเรียงลงกล่องแนวนอนไม่ใส่โฟม (ข) จัดเรียงลงกล่องแนวนอนใส่โฟม และ (ค) จัดเรียงลงกล่องแนวตั้ง

จากขั้นตอน 2.1.1 ได้ขนาดชิ้นงานรวมขนาดกิ๊ฟ จากนั้นวิเคราะห์ร่วมกับรูปแบบและเงื่อนไขการบรรจุผลิตภัณฑ์จะได้ข้อมูลขนาดสุทธิของผ้าเบรก 3 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลขนาดผลิตภัณฑ์หลังซีลสำหรับ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

บรรจุลงกล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอนที่ไม่มีโฟม ชุดที่ 2 คือ ข้อมูลขนาดผลิตภัณฑ์หลังซีลสำหรับบรรจุลงกล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอนที่มีโฟม และชุดที่ 3 คือ ข้อมูลขนาดผลิตภัณฑ์หลังซีลสำหรับบรรจุลงกล่องบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง แสดงตัวอย่างข้อมูล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลขนาดสุทธิของข้อมูลชุดที่ 1

รุ่น	ความยาว	ความกว้าง	ความหนา
001	115.9	90.6	37.5
002	98.8	70.4	35.2
⋮	⋮	⋮	⋮
437	158.4	52.6	38.9

2.2 จัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการจัดกลุ่มเคมีน

หลังจากได้ขนาดสุทธิผ้าเบรกแต่ละรุ่น 3 ชุดข้อมูลแล้ว จึงนำมาจัดกลุ่ม โดยการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) เป็นเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูล โดยมีหลักเกณฑ์ในการจัดกลุ่ม คือ หน่วยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะเหมือนกัน และหน่วยที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะต่างกัน [6] ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วน และการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น การจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วนจะเริ่มจากฐานข้อมูลตัวแปรทั้งหมด n หน่วย และต้องการจัดกลุ่มออกเป็น k กลุ่ม โดยมีข้อตกลง คือ จำนวนกลุ่มที่แบ่งออกมาต้องมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนข้อมูลทั้งหมด (k<=n) และจะต้องใส่ข้อมูลที่มีอยู่ลงไปในแต่ละกลุ่มจนครบจำนวน k กลุ่ม โดยที่ แต่ละกลุ่มควรมีข้อมูลอย่างน้อย 1 ข้อมูล และข้อมูลแต่ละข้อมูลควรอยู่เพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น [2] และสำหรับการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น จะจัดกลุ่มข้อมูลโดยข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุดจะเชื่อมต่อกันรวมเป็นกลุ่มก่อน จากนั้นค่อยเชื่อมต่อกับข้อมูลที่มีระยะห่างไกลถัดไป โดยสุดท้ายแล้วการจัดกลุ่มนี้ จะเหลือกลุ่มเพียง 1 กลุ่มเท่านั้น [7]

งานวิจัยนี้เหมาะกับการจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วน เพราะต้องการจัดกลุ่มออกมาเป็น k กลุ่ม ซึ่งการจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) เป็นวิธีการจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วนที่ดีที่สุดและเหมาะสำหรับข้อมูลมากกว่า 200 ข้อมูล [8] ซึ่งขั้นตอนการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. เลือกจำนวนกลุ่มข้อมูล k กลุ่ม
2. สุ่มค่ากึ่งกลางเป็นตัวแทนข้อมูลแต่ละกลุ่ม (k กลุ่ม)
3. คำนวณระยะห่างแบบยุคลิด (Euclidean Distance) ของแต่ละข้อมูลกับค่ากึ่งกลางของกลุ่มดังสมการ [9]

$$d(p,q) = [(p_1-q_1)^2 + (p_2-q_2)^2 + \ldots + (p_n-q_n)^2]^{1/2} \quad (1)$$

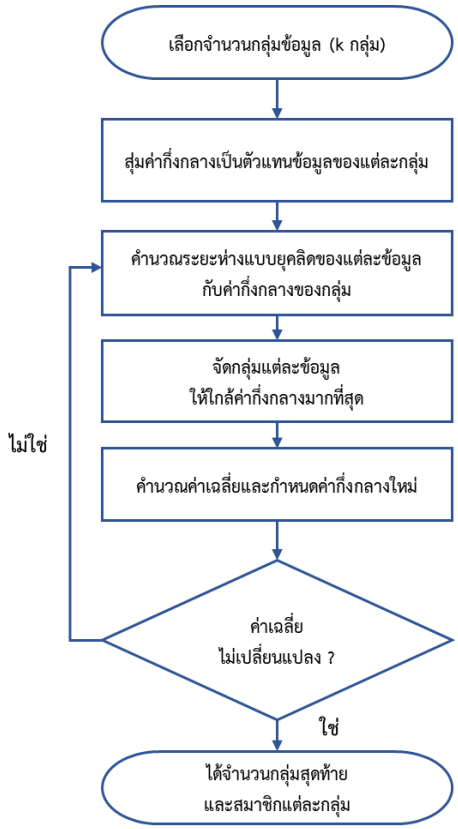
ระยะห่างแบบยุคลิดระหว่างจุด p และ q คือความยาวส่วนของเส้นตรง pq โดยที่ $p = (p_1, \ldots, p_n)$ และ $q = (q_1, \ldots, q_n)$ และ n เป็นจำนวนข้อมูลแต่ละชุด

4. จัดกลุ่มแต่ละข้อมูลให้ใกล้กับค่ากึ่งกลางมากที่สุด
5. คำนวณค่าเฉลี่ยและกำหนดค่ากึ่งกลางใหม่
6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 จนได้ค่าเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงลำดับขั้นตอนได้ดังรูปที่ 4 [9]

เนื่องจากต้องการลดต้นทุนสั่งซื้อโดยต้องการสั่งซื้อในปริมาณมาก เพื่อให้ราคาต่อชิ้นถูกลง จึงจัดกลุ่มข้อมูลผลิตภัณฑ์แต่ละชุดใหม่ จากเดิม 4-5 กลุ่มย่อย เป็น 2-3 กลุ่มย่อย (ขนาด) เท่าที่บริษัทรับได้ โดยสมาชิกในแต่ละกลุ่มคือรุ่นของผลิตภัณฑ์ที่

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

แตกต่างกัน ซึ่งตัวอย่างผลการจัดกลุ่มจาก SPSS ของข้อมูลชุดที่ 1 เป็น 2 กลุ่มย่อย แสดงดังตารางที่ 2 และแสดงสรุปผลการจัดกลุ่มผ้าเบรกแต่ละรุ่นครบทั้ง 3 ชุดข้อมูล ดังตารางที่ 3



รูปที่ 4 ขั้นตอนการจัดกลุ่มแบบเคมีน

ตารางที่ 2 ผลจัดกลุ่มข้อมูลชุดที่ 1 เป็น 2 กลุ่มย่อย

จำนวนรุ่นในแต่ละกลุ่มย่อย		
กลุ่มย่อย	1	155.000
	2	282.000
จำนวนข้อมูลทั้งหมด		437.000
ค่าความผิดพลาด		0.000

ตารางที่ 3 สรุปผลการจัดกลุ่มย่อย 3 ชุดข้อมูล

ชุดข้อมูล	จำนวนกลุ่มย่อย (จำนวนขนาด)	จำนวนรุ่นแต่ละขนาด (รุ่น)		
		ขนาด 1	ขนาด 2	ขนาด 3
แนวนอนไม่โฟม	2	155	282	
	3	62	146	229
แนวนอนใส่โฟม	2	155	282	
	3	54	142	241
แนวตั้ง	2	189	248	
	3	5	203	229

จากตารางที่ 3 ทำให้ทราบว่าหากการออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์สำเร็จแล้ว แต่ละขนาดจะสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ครอบคลุมทั้งหมดกี่รุ่น

2.3 การออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์

ดำเนินการออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ขนาดที่ออกแบบครอบคลุมผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดหลากหลายในแต่ละกลุ่มนั้น จึงต้องออกแบบจากความยาว ความกว้าง และความหนาที่มากที่สุดของผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม ซึ่งสรุปการออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ได้ดังสมการนี้

$$H_g=\max(H^i_g) + t1 \quad (2)$$

$$W_g=\max(W^i_g) + t2 \quad (3)$$

$$T_g=\max(T^i_g) + t3 \quad (4)$$

โดย H^i_g W^i_g และ T^i_g คือ ความยาว ความกว้าง และความหนาของชิ้นงานตัวที่ i ในกลุ่มย่อย g ตามลำดับ (มิลลิเมตร) และ t1 t2 และ t3 คือ ระยะเผื่อความยาว ความกว้าง และความหนาจากการจัดชุดของพนักงาน (มิลลิเมตร) ซึ่ง t1 t2 และ t3 ได้จากการเก็บข้อมูลขนาดชิ้นงานหลังซีลในกระบวนการผลิตทั้ง 3 ชุดข้อมูล ชุดข้อมูลละ 40 ข้อมูล เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยได้ผลระยะเผื่อดังตารางที่ 4

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

ตารางที่ 4 ระยะเผื่อจากการจัดชุดของพนักงาน

ชุดข้อมูล	ระยะเผื่อ (มิลลิเมตร)		
	ความยาว	ความกว้าง	ความหนา
แนวนอนไม่โฟม	2.90	0.55	0.50
แนวนอนใส่โฟม	3.20	0.40	0.50
แนวตั้ง	2.70	0.00	0.80

2.4 หาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สามารถซ้อนทับกันได้

ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดที่สามารถซ้อนทับกันบนพาเลทอย่างปลอดภัย หาได้จากการหาค่าความสามารถในการรับแรงกดของกล่อง (Box Compression Test, BCT) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D642-76 และ ASTM D 4169-86 โดยคำนวณจากสมการของ McKee [11] ดังนี้

$$BCT = 5.87 \times ECT \times (BP \times T)^{1/2} \qquad (5)$$

โดย BCT คือ ค่าการรับแรงกดของกล่อง (ปอนด์) ECT คือ ค่าความต้านทานต่อแรงกด (ปอนด์ต่อนิ้ว) วัดจากค่าความต้านทานแรงกดแนวตั้งของกระดาษลูกฟูก (Edge -Wise Crush Resistance) โดยเครื่องกด (Crush Tester) ตามมาตรฐาน ISO 3037, TAPPI T 811, TAPPI T 823 หรือ JIS-0410 [10] BP คือ ความยาวรอบกล่องในแนวตัดขวาง (นิ้ว) และ T คือ ความหนาของกระดาษกล่อง (นิ้ว) [11] และเพื่อความปลอดภัยต่อการใช้งานจึงศึกษาร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพกล่องบรรจุภัณฑ์ [12] ได้แก่

1. ปริมาณความชื้นในอากาศ เพราะกระดาษสามารถดูดหรือคายความชื้นได้ ดังนั้นเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น กล่องจะทนต่อแรงกดได้น้อยลง

2. ระยะเวลากองเก็บกล่อง เมื่อสินค้าถูกบรรจุลงกล่องและวางกองเก็บไว้ การถูกกดทับตลอดเวลาทำให้โครงสร้างภายในของกระดาษเปลี่ยนแปลง โดยจะยืดตัวและรับแรงกดได้น้อยลง

3. ลักษณะการวางซ้อนกล่อง รวมถึงลักษณะของพื้นที่ที่กล่องถูกวางไว้ จะมีผลต่อความสามารถในการรับแรงกดของกล่อง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5

4. จำนวนการเคลื่อนย้าย จำนวนครั้งในการเคลื่อนย้ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน จะทำให้ความสามารถในการรับแรงกดกล่องน้อยลง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ลักษณะการวางซ้อนกับค่า BCT [12]

ลักษณะการวางเรียงซ้อน		%BCT ที่เหลือ	f_s
บนพื้น	การเรียงซ้อนแบบกล่องสี่เหลี่ยม (column stacking)	85	0.80
บนพื้น	การเรียงซ้อนแบบก่ออิฐ (interlocking)	60	0.60
บนพาเลท	การเรียงซ้อนแบบกล่องสี่เหลี่ยม (column stacking)	75	0.75
บนพาเลท	การเรียงซ้อนแบบก่ออิฐ (interlocking)	50	0.50

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์จำนวนครั้งการเคลื่อนย้ายและค่า BCT [12]

จำนวนครั้งของการเคลื่อนย้ายกล่อง	% BCT ที่เหลือ	f_H
2	95 %	0.95
5	80 %	0.80
10	64 %	0.64

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดแนวตั้งของบรรจุภัณฑ์ (ECT) จากการทดสอบกล่องแนวนอนและกล่องแนวตั้ง อย่างละ 10 ตัวอย่างตามมาตรฐาน ISO 3037-2013 ที่อุณหภูมิ 27±1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 65±2% ได้ผลดังนี้ ECT กล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอน 33.12 ปอนด์ต่อนิ้ว และ ECT กล่องบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง 33.46 ปอนด์ต่อนิ้ว

จากนั้นคำนวณตามสมการที่ (5) จะได้ค่า BCT และเพื่อความปลอดภัยจะศึกษาร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพกล่องบรรจุภัณฑ์และการใช้งานของบริษัท ซึ่งมี 2 ปัจจัย คือ ลักษณะการวางซ้อน ซึ่งเป็นการวางซ้อนแบบกล่องบนพาเลท ส่งผลให้ BCT ลดลง 25% และ จำนวนครั้งในการเคลื่อนย้าย ซึ่งมีทั้งหมด 2 ครั้ง ส่งผลให้ BCT ลดลง 5% [12]

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

การจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์และหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดที่สามารถวางซ้อนทับกันบนพาเลท เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ สำหรับลดต้นทุนการสั่งซื้อ ลดพื้นที่การจัดเก็บ (วัตถุดิบคงคลัง) เพิ่มปริมาณการขนส่งและลดพื้นที่สูญเปล่าได้ผลดังนี้

3.1 การจัดกลุ่มและออกแบบขนาดผลิตภัณฑ์

เมื่อจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์เป็น 2 และ 3 กลุ่มย่อยและหาความยาว ความกว้าง และความหนาที่มากที่สุดของแต่ละกลุ่มย่อยแล้ว ได้ผลดังตารางที่ 7 จากนั้นออกแบบขนาดตามสมการ (2) (3) และ (4) จะได้ขนาดบรรจุภัณฑ์สุทธิของแต่ละชุดข้อมูลดังตารางที่ 8

จากตารางที่ 8 พบว่าหากนำการจัดกลุ่มเคมีนมาใช้จัดกลุ่มผลิตภัณฑ์และออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์จะได้ขนาดแนวนอนไม่ใส่โฟม 2 ขนาด ขนาดที่ 1 จะมีขนาด ยาว : กว้าง:หนา เท่ากับ 193.8 : 157.05 : 74.3 mm และขนาดที่ 2 จะมีขนาดเท่ากับ 147.5 : 117.75 : 61.5 mm และจากตารางที่ 3 จะทราบว่าขนาดที่ 1 บรรจุได้ครอบคลุม 155 รุ่น และ ขนาดที่ 2 ครอบคลุม 282 รุ่น และเป็นรุ่นอะไรบ้าง เป็นต้น

ตารางที่ 7 ค่า $\max(H^i_g)$ $\max(W^i_g)$ และ $\max(T^i_g)$

ชุดข้อมูล	จำนวนขนาด	ขนาดที่ 1 (mm)			ขนาดที่ 2 (mm)			ขนาดที่ 3 (mm)		
		ยาว	กว้าง	หนา	ยาว	กว้าง	หนา	ยาว	กว้าง	หนา
แนวนอนไม่โฟม	2	190.9	156.5	73.8	144.6	117.2	61.0			
	3	190.9	156.5	73.8	155.4	135.7	61.4	144.6	109.8	47.8
แนวนอนใส่โฟม	2	190.9	156.5	84.7	144.6	117.2	72.0			
	3	190.9	156.5	84.7	160.3	135.7	72.4	144.6	110.4	50.7
แนวตั้ง	2	203.5	84.5	155.1	131.5	75	101.6			
	3	203.5	80.1	82.0	183.1	84.5	155.1	126.0	75.0	101.6

ตารางที่ 8 ขนาดบรรจุภัณฑ์สุทธิของข้อมูลแต่ละชุด

ชุดข้อมูล	จำนวนขนาด	ขนาดที่ 1 (mm)			ขนาดที่ 2 (mm)			ขนาดที่ 3 (mm)		
		ยาว	กว้าง	หนา	ยาว	กว้าง	หนา	ยาว	กว้าง	หนา
แนวนอนไม่โฟม	2	193.8	157.05	74.3	147.5	117.75	61.5			
	3	193.8	157.05	74.3	158.3	136.25	61.9	147.5	110.35	48.3
แนวนอนใส่โฟม	2	194.1	156.9	85.2	147.8	117.2	72.0			
	3	194.1	156.9	85.2	163.5	136.1	72.9	147.8	110.8	51.2
แนวตั้ง	2	206.2	84.5	155.9	134.2	75.0	102.4			
	3	206.2	80.1	82.8	185.8	84.5	155.9	128.7	75.0	102.4

3.2 การหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ซ้อนทับกันได้

เมื่อคำนวณค่า BCT ร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพกล่องบรรจุภัณฑ์และการใช้งานของบริษัท และนำมาคำนวณร่วมกับน้ำหนักผลิตภัณฑ์ เพื่อหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่วางซ้อนได้ผลดังตารางที่ 9

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

จากตารางที่ 9 กล่องบรรจุภัณฑ์ของบริษัทสามารถรองรับน้ำหนักได้เฉลี่ย 40,457 กรัม ซึ่งสามารถเฉลี่ยได้ 75 กล่อง ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยและความสะดวกต่อการทำงานของพนักงาน บริษัทจึงกำหนดความสูงที่ยอมรับได้ในการขนส่ง จากเดิมกล่องซ้อนกันเพียง 10 กล่อง เป็น 20 กล่อง

ตารางที่ 9 ผล BCT และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ซ้อนได้

ชุดข้อมูล, จำนวนกลุ่ม	BCT (กรัม), จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ซ้อนได้ (กล่อง)		
	ขนาด 1	ขนาด 2	ขนาด 3
แนวนอนไม่โฟม, 2	43721, 67*	37999, 86	
แนวนอนไม่โฟม, 3	43721, 61	40042, 66	37465, 92
แนวนอนใส่โฟม, 2	43721, 67	37981, 86	
แนวนอนใส่โฟม, 3	43721, 59	40384, 66	37519, 89
แนวตั้ง, 2	44858, 74	36259, 91	
แนวตั้ง, 3	40074, 47	43576, 74	35833, 97

*X,Y โดยที่ X หมายถึง ค่า BCT ที่คำนวณร่วมกับปัจจัยต่าง ๆ Y คือจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ซ้อนได้

3.3 การเสนอแนวทางออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์

จากการปรึกษากับบริษัทพบว่าลักษณะกล่องแนวนอนสำหรับโค้ดการขายที่ต้องใส่โฟมสามารถยกเลิกได้หากมีการออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ใหม่ งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการจัดกลุ่มสำหรับออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด 8 แนวทาง ได้แก่ แนวทางสำหรับกล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอน 6 แนวทาง และ แนวทางสำหรับกล่องบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง 2 แนวทาง แสดงดังตารางที่ 10

วิเคราะห์ผลแต่ละแนวทาง 3 ด้าน ได้แก่ พื้นที่การจัดเก็บ (วัตถุดิบคงคลัง) ปริมาณการขนส่งและพื้นที่สูญเปล่าในการขนส่ง และ ต้นทุนการสั่งซื้อ

3.3.1 พื้นที่การจัดเก็บ (วัตถุดิบคงคลัง)

บริษัทจัดเก็บวัตถุดิบคงคลังโดยใช้ระบบจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งตายตัว (Dedicated Storage System) ซึ่งวัตถุดิบทุกชนิด (SKU) จะมีตำแหน่งกำหนดไว้ตายตัว เดิมกล่องบรรจุภัณฑ์มีทั้งหมด 77 SKU แบ่งเป็น กล่องแนวนอน 42 SKU ใช้พื้นที่จัดเก็บ 4.51 ล้านลบ.นิ้ว และ กล่องแนวตั้ง 35 SKU ใช้พื้นที่จัดเก็บ 3.17 ล้านลบ.นิ้ว หลังจากออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ใหม่ พบว่า พื้นที่จัดเก็บของกล่องแนวนอน แนวทางที่ 1 และ 5 มี 22 SKU และใช้พื้นที่จัดเก็บน้อยที่สุด 2.32 ล้านลบ. นิ้ว ซึ่งลดพื้นที่จัดเก็บได้ 48.65% แนวทางที่ใช้พื้นที่จัดเก็บกล่องแนวตั้งน้อยที่สุด คือ แนวทาง 7 ซึ่งมี 18 SKU ใช้พื้นที่จัดเก็บ 1.59 ล้านลบ. นิ้ว ลดพื้นที่จัดเก็บได้ 50% แสดงดังรูปที่ 5

ตารางที่ 10 แนวทางออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์

แนวทาง	จำนวนขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ (ขนาด)		
	แนวนอน ไม่ใส่โฟม	แนวนอน ใส่โฟม	แนวตั้ง
1	2	2	X
2	2	3	X
3	3	2	X
4	3	3	X
5	2	X	X
6	3	X	X
7	X	X	2
8	X	X	3

3.3.2 ปริมาณขนส่งและพื้นที่สูญเปล่าการขนส่ง

การขนส่งจากเดิมวางซ้อนกันเพียง 10 ชั้นต่อพาเลท โดยรถคอนเทนเนอร์ 1 คันจะบรรจุ 10 พาเลท ปริมาณขนส่งจึงขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่วางซ้อนกันบน

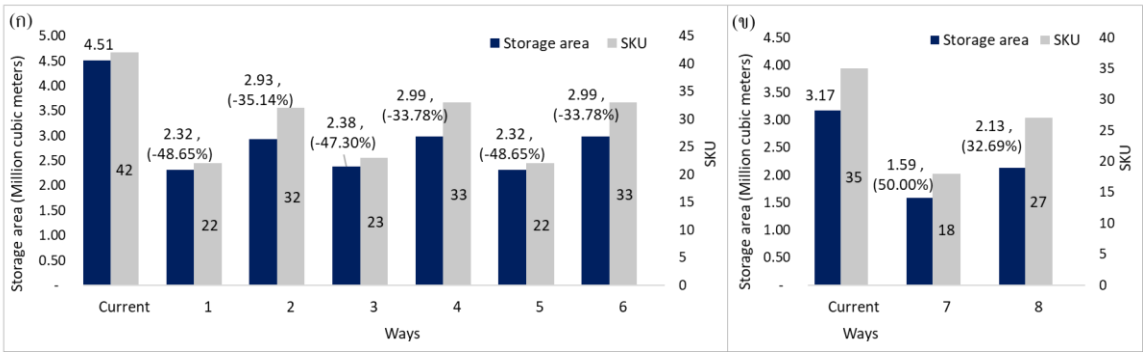
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

พาเลท หลังจากศึกษาหาปริมาณที่วางซ้อนกันได้แล้ว พบว่ากล่องใส่โฟมและไม่ใส่โฟมสามารถซ้อนทับกัน 20 กล่องได้โดยไม่เกิดความเสียหาย และหลังออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ใหม่ พบว่า กล่องแนวนอนแนวทางที่ 4 และ 6 สามารถเพิ่มปริมาณขนส่งได้มากที่สุด 5,667 กล่อง คิดเป็น 94.4% เทียบกับรูปแบบเดิม และแนวทางที่ 1 ลดพื้นที่สูญเปล่าได้มากที่สุด คิดเป็น 45.5% ขณะที่กล่องแนวตั้ง แนวทาง 8 สามารถเพิ่มปริมาณขนส่งได้ 7,233 กล่อง คิดเป็น 118.6% และลดพื้นที่สูญเปล่าได้ 47.8% ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6

3.3.3 ต้นทุนการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์

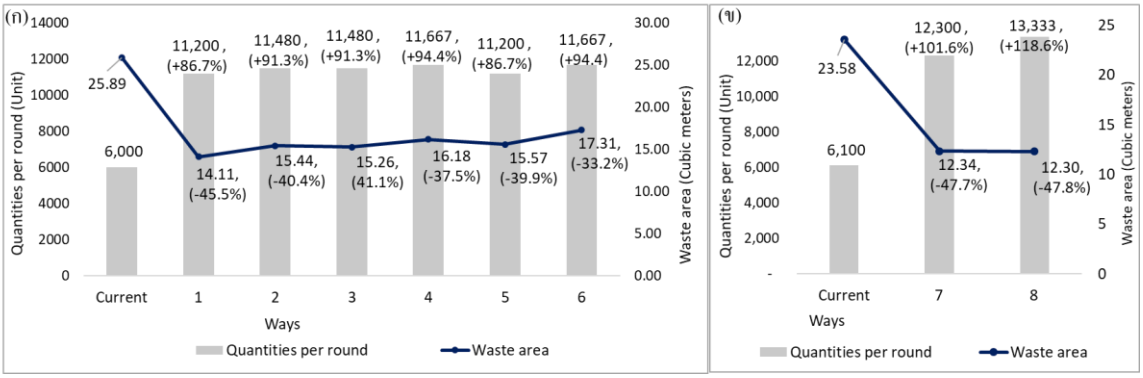
เดิมยอดสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์เดือนมกราคม ถึงธันวาคม พ.ศ. 2561 รวม 33.8 ล้านบาท แบ่งเป็นต้นทุนการสั่งซื้อกล่องบรรจุภัณฑ์แนวนอน 22 ล้านบาท และกล่องบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง 11.8 ล้านบาท เมื่อจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ใหม่ พบว่าสามารถสั่งซื้อได้ในปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้ราคาสั่งซื้อต่อชิ้นลดลง โดยแนวโน้มต้นทุนสั่งซื้อของแนวทางกล่องแนวนอนค่อนข้างคงที่ในแต่ละเดือน กล่าวคือแนวทางที่ 5 ใช้ต้นทุนน้อยที่สุด รองลงมาคือแนวทางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 7 (ก) และเมื่อคิดต้นทุนสั่งซื้อรวมทั้งปี พบว่าแนวทางที่ 5 มีต้นทุนสั่งซื้อน้อยที่สุด คือ 19.1 ล้านบาท ซึ่งลดต้นทุนการสั่งซื้อได้ 2.9 ล้านบาท คิดเป็น 13.43% รองลงมาคือแนวทางที่ 1 และ 2 มียอดสั่งซื้อ 19.8 ล้านบาท ซึ่งลดต้นทุนการสั่งซื้อได้ 2.2 ล้านบาท คิดเป็น 10.07% ดังรูปที่ 7 (ค) ขณะที่กล่องแนวตั้งมีแนวโน้มต้นทุนสั่งซื้อในแต่ละเดือนค่อนข้างแปรปรวน ดังรูปที่ 7 (ข) เมื่อคิดต้นทุนสั่งซื้อรวมทั้งปี พบว่าแนวทางปัจจุบันเป็นแนวทางที่ดีที่สุดดังรูปที่ 7 (ง)

ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความต้องการของตลาดต่อผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงกล่องแนวตั้งยังไม่มากพอที่จะเปลี่ยนช่วงราคาของปริมาณการสั่งซื้อ ทำให้การสั่งซื้อในปริมาณน้อยของกล่องบรรจุภัณฑ์หลายขนาดถูกกว่าการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่เพียง 2 หรือ 3 ขนาด ซึ่งแสดงตัวอย่างช่วงราคาและตัวอย่างการสั่งซื้อกล่องแนวตั้ง ดังตารางที่ 11

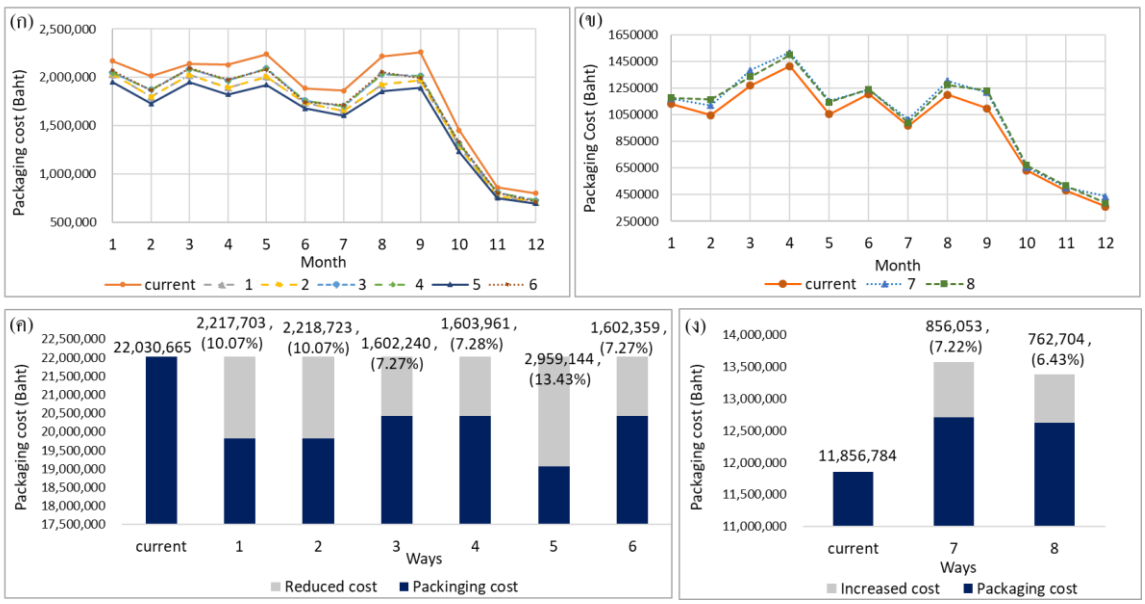


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของพื้นที่จัดเก็บและแนวทางออกแบบขนาด (ก) แนวทางกล่องแนวนอน (ข) แนวทางกล่องแนวตั้ง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ปริมาณขนส่ง พื้นที่เหลือ และแนวทางออกแบบขนาด
(ก) แนวทางกล่องแนวนอน (ข) แนวทางกล่องแนวตั้ง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ต้นทุนสั่งซื้อและแนวทางออกแบบขนาด (ก) รายเดือนของกล่องแนวนอน
(ข) รายเดือนของกล่องแนวตั้ง (ค) ต้นทุนสั่งซื้อรวมของกล่องแนวนอน (ง) ต้นทุนสั่งซื้อรวมของกล่องแนวตั้ง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

ตารางที่ 11 ช่วงราคาและการสั่งซื้อกล่องแนวตั้ง

โค้ด	ขนาด	ราคาต่อชิ้น (บาท/ชิ้น) ปริมาณ (ชิ้น) 500	1000	2000
A	1 (New)	25	19	15
	2 (New)	22	16	11
	200	23	16	11.3
	300	24	18.5	13.75
	400	22	17	12.5
	500	30	23	17.5

โค้ด	ขนาด	ปริมาณสั่งซื้อ	ราคาต่อชิ้น	ราคา	ทั้งหมด
A	1 (New)	252	25	6300	**10172**
	2 (New)	176	22	3872	
A	200	176	23	4048	
	300	200	24	4800	**9992**
	400	52	22	1144	

จากนั้นประเมินผลโดยวิธี Internal Factor Evaluation Matrix เพื่อให้ได้แนวทางที่ตรงวัตถุประสงค์การนำไปใช้งานมากที่สุด โดยจะพิจารณาจาก 4 ปัจจัย พร้อมกำหนดคุณค่า (Assign Value) ดังนี้

ต้นทุนสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์ = 10 คะแนน
พื้นที่จัดเก็บ (วัตถุดิบคงคลัง) = 8 คะแนน
ปริมาณขนส่ง = 8 คะแนน
พื้นที่เหลือในการขนส่ง = 3 คะแนน

คะแนนการกำหนดคุณค่ามาจากนโยบายการทำงานของบริษัท โดยให้ความสำคัญกับต้นทุนการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์มากที่สุด และให้ความสำคัญพื้นที่เหลือในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งการประเมินแต่ละแนวทางได้ผลดังตารางที่ 12 ซึ่งสรุปได้ว่าการจัดกลุ่มและออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์ตามแนวทางที่ 5 คือ แนวนอนไม่ใส่โฟม 2 ขนาด และยุบขนาดแนวนอนใส่โฟมตรงความต้องการของบริษัทมากที่สุด โดยสามารถลดต้นทุนได้ 2.9 ล้านบาท คิดเป็น 13.43% สามารถลดพื้นที่จัดเก็บคงคลังได้ 2.19 ล้านลูกบาศก์นิ้ว คิดเป็น 48.65% เพิ่มปริมาณการขนส่งได้ 5,200 กล่อง/รอบ คิดเป็น 86.7% และลดพื้นที่สูญเปล่าในการขนส่งได้ 10.32 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 39.9%

ตารางที่ 12 ผลประเมิน Metrix

	คะแนนน้ำหนัก		ต้นทุนบรรจุภัณฑ์	ปริมาณผลิตภัณฑ์ขนส่ง	พื้นที่จัดเก็บ (คงคลัง)	พื้นที่สูญเปล่า		
		10	8	8	3	Total	Rank
แนวทางที่ 1	5	x	x				
	4						
	3			x	x		
	2						
	1						
		40	40	24	9	113	2
แนวทางที่ 2	5	x	x				
	4						
	3				x		
	2			x			
	1						
		40	40	16	9	105	3
แนวทางที่ 3	5		x				
	4						
	3	x		x	x		
	2						
	1						
		30	40	24	9	103	4
แนวทางที่ 4	5		x				
	4						
	3	x					
	2			x	x		
	1						
		30	40	16	6	92	5
แนวทางที่ 5	5	x	x				
	4						
	3			x			
	2				x		
	1						
		50	40	24	6	120	1
แนวทางที่ 6	5		x				
	4						
	3	x					
	2			x	x		
	1						
		30	40	16	6	92	5
แนวทางที่ 7	5		x				
	4						
	3			x	x		
	2						
	1						
	0	x					
		0	40	24	9	73	-
แนวทางที่ 8	5		x				
	4						
	3				x		
	2			x			
	1						
	0	x					
		0	40	16	9	65	-

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

4. สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ และหาปริมาณที่มากที่สุดที่สามารถซ้อนทับกันบนพาเลท รวมทั้งเสนอแนวทางการออกแบบขนาดบรรจุภัณฑ์เพื่อลดต้นทุนสั่งซื้อของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรกรถยนต์ โดยศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ ซึ่งได้ข้อมูล 3 ชุดข้อมูล ชุดข้อมูลละ 437 ข้อมูล จากนั้นใช้การจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means Clustering Analysis) เพื่อจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ครั้งละ 1 ชุดข้อมูล โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS และทำการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตเพื่อหาระยะเผื่อจากการห่อของพนักงาน เพื่อออกแบบขนาดกล่องบรรจุภัณฑ์ใหม่ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดที่สามารถซ้อนทับกันบนพาเลท โดยศึกษาความสามารถในการรับแรงกดของกล่องบรรจุภัณฑ์ (Box Compression Test, BCT) ร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพกล่อง สุดท้ายเสนอแนวทางการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุภัณฑ์แนวนอน 6 แนวทาง และสำหรับบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง 2 แนวทาง โดยการประเมินการวิเคราะห์ปัจจัยภายใน โดยใช้ต้นทุนการสั่งซื้อ พื้นที่การจัดเก็บ (วัตถุดิบคงคลัง) ปริมาณการขนส่งและพื้นที่สูญเปล่าเป็นเกณฑ์ ผลการศึกษาพบว่าการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีนสามารถนำมาจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์และออกแบบขนาดได้ โดยแนวทางที่เหมาะสมสำหรับออกแบบบรรจุภัณฑ์แนวนอนและตรงความต้องการของบริษัทมากที่สุด ได้แก่ แนวทางที่ 5 คือออกแบบบรรจุภัณฑ์แนวนอนไม่ใส่โฟม 2 ขนาดและยุบขนาดแนวนอนใส่โฟม โดยสามารถลดต้นทุนได้ 2.9 ล้านบาท คิดเป็น 13.43% เพิ่มพื้นที่จัดเก็บคงคลังได้ 2.19 ล้านลูกบาศก์นิ้ว คิดเป็น 48.65% เพิ่มปริมาณการขนส่งได้ 5,200 กล่อง/รอบ คิดเป็น 86.7% และลดพื้นที่สูญเปล่าในการขนส่งได้ 10.32 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 39.9% และสำหรับแนวทางการออกแบบบรรจุภัณฑ์แนวตั้ง พบว่ารูปแบบปัจจุบันเป็นแนวทางที่ดีที่สุด เนื่องจากปริมาณความต้องการของตลาดต่อผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงกล่องแนวตั้งยังไม่มากพอที่จะเปลี่ยนช่วงราคาของปริมาณการสั่งซื้อ ทำให้การสั่งซื้อในปริมาณน้อยของกล่องบรรจุภัณฑ์หลายขนาดถูกกว่าการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่เพียง 2 หรือ 3 ขนาด

5. ข้อเสนอแนะงานวิจัย

การจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการจัดกลุ่ม นอกจากนี้ปริมาณความต้องการของตลาดมีผลต่อการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นก่อนการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้อ ควรศึกษาข้อมูลพยากรณ์ปริมาณความต้องการของตลาด (Demand Forecast) ก่อน เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบนั้น ๆ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] www.bot.or.th/Thai/BOT_Magazine/Pages/CoverStory0162.aspx. (Accessed on 04 June 2019)

[2] L.V. Bijuraj (2013) Clustering and its Applications, National Conference on New Horizons in IT–NCNHIT, Proceedings, 169-172.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2020.07.003

[3] S. Nattaporn and R. Sunisa, K-Means Clustering of the Stock Exchange of Thailand 50 (SET 50) for Portfolio Diversification, Research Gate. 2013. (in Thai) Available on Research Gate: www.researchgate.net/publication/235907198_KMeans_Clustering_of_the_Stock_Exchange_of_Thailand_50_SET_50_for_Portfolio_Diversification (Accessed on 1 July 2020)

[4] C. Sujira, M. Parinya and P. Watchara (2017) An Application of K-Means for Candle Stick Clustering, Proceeding, RMUTP Business School, 2016. (in Thai)

[5] S. Panida, Performation Comparison of Data Mining's Classification Method on Data Set with Outliers, Thai Science and Technology Journal (TSTJ), 2018, 27(6), 976-988.

[6] V. Kanlaya, Multivariate data analysis, 3rd Ed., Chulalongkorn University, Bangkok, TH, 2008. (in Thai)

[7] S. Ananthi and G. Thailambal, A Study on K-Means Clustering in Text Mining Using Python, International Journal of Computer Systems, 2016, 3(8), 560-564.

[8] J. Meng, H. Shang and L. Bian, (2009) The Application on Intrusion Detection Based on K-means Cluster Algorithm, International Forum on Information Technology and Applications, Proceeding, 150-152.

[9] P. Danai, Cluster Analysis, Academic Documents, Nation University, 2015.

[10] www.pt-pack.com/ กระดาษลูกฟูก/ การทดสอบกระดาษลูกฟูก.html. (Accessed on 10 June 2019)

[11] W. Sujin, Material Handling System Design, Academic Documents, Silpakorn University, 2017.

[12] C. Wichan, Performance improvement of package arrangement considering load bearing, Thesis, Chiang Mai University, 2013.