



การทำนายจำนวนยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์

Predicting Numbers of Automotive Tire in Container

วิภาดา ฮันสรราช และ โอรน กิตติธีรพรชัย*

Wipada Hansraj and Oran Kittithreerapronchai*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University, Phayathai Road, Pathumwam, Bangkok, Thailand, 10330

*E-mail: oran.k@chula.ac.th, Tel.: +662-218-7881

บทคัดย่อ

เนื่องจากข้อได้เปรียบด้านวัตถุดิบและกำลังการผลิต ประเทศไทยจึงเป็นผู้นำอุตสาหกรรมยางรถยนต์ในด้านการผลิตและส่งออก กระนั้นการส่งออกยางรถยนต์ยังคงขาดประสิทธิภาพในด้านต้นทุนการขนส่งและอัตราประโยชน์เชิงปริมาตรของตู้คอนเทนเนอร์เนื่องจากลักษณะกายภาพของสินค้าดังเช่นบริษัทยางรถยนต์กรณีศึกษา บริษัทกรณีศึกษาใช้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมยางรถยนต์นำเข้าในภูมิภาคและส่งออกยางที่ผลิตในประเทศไปทั่วโลก จากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตพบว่าแผนส่งออกยางมีความคาดเคลื่อน ส่งผลให้ต้องการจัดทำเอกสารใหม่และเกิดการเคลื่อนย้ายที่ซ้ำซ้อน (Double Handling) ภายในศูนย์กระจายสินค้า ดังนั้นงานวิจัยจึงได้นำเสนอการทำนายจำนวนยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นโดยวิธีการเลือกซัพเซตที่ดีที่สุดและเปรียบกับวิเคราะห์ทางเรขาคณิตระหว่างตู้คอนเทนเนอร์กับยางโดยพิจารณาขนาดและตลอดจนวิธีจัดเรียง ผลการเปรียบเทียบด้วยข้อมูลชุดทดสอบ พบว่า สมการถดถอยมีความแม่นยำและเหมาะสมในการวางแผน

คำสำคัญ: อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์; การจัดเรียงยางรถยนต์; แบบจำลองถดถอยเชิงเส้น; เรขาคณิต

ABSTRACT

Because of the raw-material and production-capacity advantages, Thailand has become the manufacturing leader and exporter of automotive-tire industry. Nevertheless, the exporting tire remains inefficient in terms of transportation costs and cubical utilization of a container, similar to a case study manufacturer. The manufacturer imports international tires, consolidates with domestic ones, and exports them globally using Thailand as a regional hub. The analysis of historical data showed the discrepancy of load planning causing custom re-documentation and double handling of products within a distribution center. As a result, this research proposed a suitable linear regression using best subset selection method and analyzed its geometry to predicts quantities of automotive tires in each container using its dimension

and loading pattern. The comparison with the testing data reveals the linear regression has higher accuracy and is more suitable for the container planning.

Keywords: Container Utilization; Loading Pattern of Automotive Tire; Multiple Linear Regression; Geometry

1. บทนำ

การส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติจากภาครัฐสนับสนุนการส่งออกสินค้ายางรถยนต์โดยในปี 2019 ประเทศไทยสามารถส่งออกสินค้าและผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์มูลค่ามากกว่า 5,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และมีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [1] อุตสาหกรรมยางรถยนต์ไทยถือได้ว่ามีศักยภาพผลิตและมูลค่าการส่งออกสูงสุดในกลุ่มประเทศอาเซียน เนื่องจากข้อได้เปรียบด้านวัตถุดิบและกำลังการผลิต [2] กระนั้นส่งออกยางรถยนต์ด้วยตู้คอนเทนเนอร์ยังขาดประสิทธิภาพในด้านต้นทุนการขนส่งและด้านอัตราประโยชน์เชิงปริมาตรเนื่องจากลักษณะกายภาพของยางรถยนต์ดังเช่นบริษัทยางรถยนต์เกร็ดศึกษา

บริษัทเกร็ดศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายยางรถยนต์ระดับโลกที่ใช้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางในการผลิตยางรถยนต์ ในการรวบรวมยางรถยนต์นำเข้าในภูมิภาคและการส่งออกยางไปทั่วโลกในฐานะจุดรวบรวมสินค้า (Consolidation Hub) [3] จากการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราประโยชน์รายเดือนของตู้คอนเทนเนอร์สำหรับสินค้ายางรถยนต์ส่งออกพบว่าอัตราประโยชน์ต่ำกว่า 95% ของปริมาตรตู้ แม้ว่าอัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์สำหรับสินค้ายางรถยนต์ที่ผลิตในประเทศจะมีค่าสูงกว่า 95% ของปริมาตรตู้ก็ตาม การสอบถามสาเหตุจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเบื้องต้นพบว่า ฐานข้อมูลที่ไม่เป็นปัจจุบัน เนื่องจากยางรถยนต์ส่งออกมีความหลากหลายทางด้านขนาดและปริมาณ ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการคำนวณฐานข้อมูลในลักษณะเดียวกับยางที่ผลิตในประเทศได้

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการคำนวณจำนวนยางในตู้คอนเทนเนอร์ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้ข้อมูลส่งออกพร้อมทั้งนำเสนอวิธีการการวิเคราะห์ทางเรขาคณิตโดยอ้างอิงจากขนาดทางกายภาพของ

ยางรถยนต์และรูปแบบการจัดเรียง เพื่อให้ข้อมูลเป็นปัจจุบันและการคำนวณเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ที่แม่นยำ

ก่อนจะกล่าวถึงขั้นตอนการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ทางเรขาคณิตเพื่อทำนายปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ในส่วนที่ 4 และ 5 นั้นผู้วิจัยขอทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ในส่วนที่ 2 บรรยายลักษณะการส่งออกของบริษัทเกร็ดศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลส่งออกย้อนหลังในส่วนที่ 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงอัตราประโยชน์ในการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ยาง มีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลงานวิจัย ทั้งในแง่ของลักษณะเฉพาะเพื่อระบุขนาดทางกายภาพของยาง และปัญหาการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ ดังนี้

2.1 รหัสเฉพาะของยางรถยนต์

รหัสเฉพาะของยางรถยนต์ถูกระบุบนตัวยางเพื่อจำแนกประเภท ขนาด และลักษณะการใช้งานของยางรถยนต์ [4] โดยรหัสเฉพาะดังกล่าวประกอบด้วย 5 ส่วน เรียงจากซ้ายไปขวาดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 คำอธิบายขนาดทางกายภาพบนแก้มยาง [4]

- **ขนาดของหน้ายาง** เป็นตัวเลขชุดแรกมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร แสดงความยาวพื้นที่ของหน้าตัดยางที่สัมผัสกับพื้นถนน เช่น 255 มิลลิเมตร เป็นต้น

- **อัตราส่วน** เป็นตัวชุดที่สองมักมี 2 หลัก แสดงร้อยละของความยาวแก้มยางเทียบกับขนาดหน้ายาง เช่น แก้มยางมีความยาว 0.55 ของขนาดหน้ายาง
- **เส้นผ่านศูนย์กลางกระทะล้อ** เป็นชุดตัวอักษรและตัวเลขแสดงชนิดของยางและขนาดของกระทะล้อ เช่น R17 หมายถึง Radial Tire เส้นผ่านศูนย์กลาง 17 นิ้ว
- **ดัชนีน้ำหนักบรรทุก** เป็นตัวเลข 2 ตัว สัมพันธ์กับน้ำหนักสูงสุดที่สามารถรับได้ ตัวเลขดังกล่าวขึ้นกับผู้ผลิต เช่น 72 หมายถึง น้ำหนัก 355 กิโลกรัม
- **ดัชนีความเร็ว** เป็นตัวอักษร สัมพันธ์กับความเร็วสูงสุดที่ปลอดภัยภายใต้ดัชนีน้ำหนักบรรทุก ค่าดังกล่าวขึ้นกับผู้ผลิต เช่น H หมายถึง 210 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ข้อมูลรหัสเฉพาะของยางรถยนต์เป็นมาตรฐานที่ต้องระบุบนแก้มยางร่วมกับเครื่องหมายการค้า ชื่อรุ่น และเครื่องหมายตามข้อกำหนดตามกฎหมายของแต่ละประเทศ

2.2 ปัญหาการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์

ปัญหาการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ (Container Loading Problem) [5] เป็นการหาวิธีการบรรจุกล่องสินค้า (Loading Pattern) ขนาดเล็กที่มีขนาดแตกต่างกันลงในคอนเทนเนอร์ซึ่งเป็นกล่องขนาดใหญ่ที่มีขนาดคงที่ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้รรถประโยชน์เชิงปริมาตรของตู้คอนเทนเนอร์สูงสุด หรือ ใช้คอนเทนเนอร์ในการขนส่งน้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขการบรรจุ ปัญหาดังกล่าวสามารถพิจารณาว่าเป็นกรณีทั่วไปของปัญหาการบรรจุสินค้าในถัง (Bin Packing Problem) ซึ่งเป็นปัญหามาตรฐานในด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operation Research) เมื่อสินค้ามีลักษณะทางกายภาพมากกว่าหนึ่งมิติที่สัมพันธ์กัน แนวทางการแก้ปัญหาบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์จึงมักอ้างอิงผลเฉลยของแบบจำลองกำหนดการตัวเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Model) และประยุกต์วิธีการฮิวริสติกส์ (Heuristic) เพื่อกำหนดวิธีการและลำดับกล่องสินค้าในการบรรจุกล่องสินค้า [5]-[6] ซึ่งมักพิจารณาจากขนาด และปริมาณการขนส่งประกอบ

อย่างไรก็ดี การจัดเรียงกล่องสินค้าบ่อยครั้งที่สินค้าแต่ละชนิดอาจมีลำดับความสำคัญในการขนส่งไม่เท่ากัน เนื่องจากเงื่อนไขการขนส่ง อาทิเช่น การกระจายน้ำหนักภายในตู้คอนเทนเนอร์ตามกฎหมาย [7] หรือ อายุการขายและอายุการใช้งานสั้น ทำให้ต้องมีการจัดส่งบางชนิดไปก่อน [8] ดังนั้น นักวิจัยจึงประยุกต์ข้อมูลในอดีตด้วยวิธีการทางสถิติและแผนภาพ 3 มิติของการบรรจุ เพื่อกำหนดวิธีการบรรจุกล่องสินค้าเริ่มต้น หรือปรับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นตามเงื่อนไขเฉพาะ เช่น ป้องกันความเสียหายระหว่างการขนส่ง [9]-[11] ความสูงของการจัดเรียงภายในชั้นที่เท่ากัน [10] เงื่อนไขการบรรจุตามเส้นทางการขนส่ง [12] และปริมาณสินค้าขั้นต่ำต่อตู้ [13] รวมถึงการพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างประเภทของการขนส่งตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง นอกจากนี้ นักวิจัยยังมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดวิธีการบรรจุสินค้าโดยอัตโนมัติ [6] แนวคิดทางเรขาคณิตในการจัดเรียงเพื่อลดการเสียดสีและความเสียหายในการขนส่งสินค้าแต่ละชั้น [7] และประยุกต์แบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) [14]-[15] เพื่อปรับปรุงวิธีการบรรจุจากข้อมูลการขนส่งในอดีต ผู้สนใจงานวิจัยการแก้ปัญหาการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์สามารถทบทวนงานวิจัยและศึกษาการแบ่งเงื่อนไขการบรรจุเพิ่มเติมได้จาก Borfeld และ Wäscher [16]

3. บริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตรายสำคัญสำหรับยานพาหนะทุกประเภท มีสำนักงานใหญ่ในทวีปยุโรปและโรงงานผลิตกระจายอยู่ทั่วโลก ในประเทศไทย บริษัทมีโรงงานผลิต 3 โรงงาน ซึ่งกำลังการผลิตรวม 40,000 เส้นต่อวัน บริษัทกรณีศึกษาว่าจ้างผู้รับเหมา (Supplier) ขนส่งยางรถยนต์สำเร็จรูประหว่างโรงงานและคลังสินค้า รวมถึงดำเนินพิธีการทางศุลกากรและจัดการยางรถยนต์ที่นำเข้าเพื่อส่งออก

3.1 กระบวนการจัดส่งยางรถยนต์

หลังจากลูกค้าหรือผู้นำเข้าแจ้งคำสั่งซื้อผ่านระบบสารสนเทศแล้ว ข้อมูลคำสั่งซื้อจะถูกจำแนกและคำนวณจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องการและปริมาณยางในแต่ละตู้แยกตามปลายทางเพื่อจองตู้คอนเทนเนอร์กับสายเรือกำหนดวันที่เกี่ยวข้อง และดำเนินพิธีการทางศุลกากร การวางแผนปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์และการกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์มีความสำคัญต่อกระบวนการจัดส่งเนื่องจากความคุ้มค่าในการขนส่งสินค้าเกิดเมื่อจำนวนสินค้าเต็มตู้พอดี หากยางรถยนต์ล้นตู้คอนเทนเนอร์ พนักงานต้องจัดทำเอกสารใหม่และเกิดการเคลื่อนย้ายซ้ำซ้อน (Double Handling) ดังแสดงในรูปที่ 2 ก) แต่หากยางรถยนต์ไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์จะทำให้บริษัทกรณีศึกษาเสียโอกาสด้านการขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ข)



ก) ยางรถยนต์ล้นตู้ ข) ยางรถยนต์ไม่เต็มตู้
รูปที่ 2 ปัญหาการประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์

ดังนั้นการคำนวณจำนวนยางรถยนต์ที่แม่นยำ จึงควรพิจารณารูปแบบการจัดเรียงควบคู่ไปกับลักษณะทางกายภาพของยางรถยนต์

3.2 รูปแบบการจัดเรียงยางรถยนต์

การจัดส่งสินค้าสู่ประเทศปลายทางเป็นการขนส่งทางทะเลโดยการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์แบบเต็มตู้ FCL (Full Container Load) ด้วยขนาดตู้ 40 ฟุตไฮคิวบ์ ที่มีขนาดแนวกว้าง 2.3 เมตร แนวยาว 12 เมตร และแนวสูง 2.65 เมตร บริษัทกรณีศึกษาแบ่งรูปแบบการจัดเรียงยางรถยนต์เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การจัดเรียงแบบตั้ง ซึ่งยาง

รถยนต์จะซ้อนเป็นแนวตั้ง และการจัดเรียงแบบไขว้ ซึ่งยางรถยนต์ถูกเรียงสลับพื้นปลาซ้อนสูง ดังแสดงในรูปที่ 3



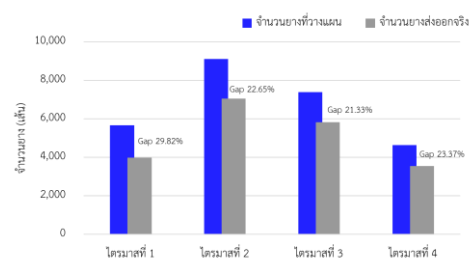
ก) จัดเรียงแบบตั้ง ข) จัดเรียงแบบไขว้

รูปที่ 3 วิธีการจัดเรียงยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์

การจัดเรียงแบบไขว้ในรูปที่ 3 ข) สามารถบรรจุได้มากกว่า แต่มีข้อจำกัดด้านเวลาการขนส่งและปลายทางเนื่องจากยางรถยนต์ต้องใช้เวลานั่งสภาพ ดังนั้น การบรรจุแบบตั้งในรูปที่ 3 ก) จึงเป็นที่นิยมมากกว่า การคำนวณปริมาณยางรถยนต์ในแต่ละประเภทการจัดเรียงอาศัยข้อมูลในอดีตของยางรถยนต์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ร่วมกับการทดลองจัดเรียงยางรถยนต์ที่หน้างาน

3.3 ข้อมูลการส่งออกและปัญหาการทำงานซ้ำซ้อน

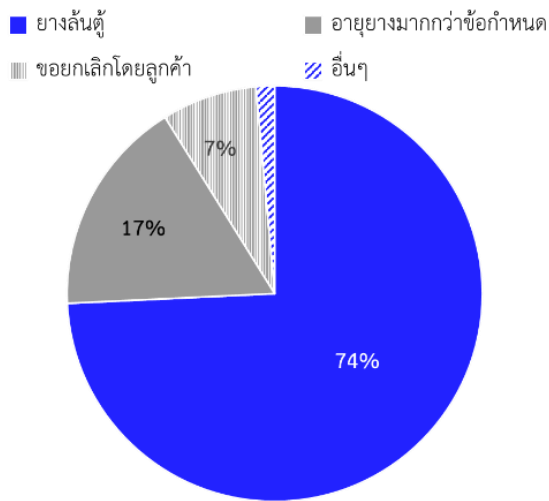
ปัญหาการประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างแผนการส่งออกและปริมาณที่ส่งออกจริงระหว่างปี ค.ศ. 2020 ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ปริมาณยางรถยนต์ตามแผนและส่งออกจริงในปี 2020

ความคลาดเคลื่อนของการแผนการส่งออกส่วนหนึ่งเกิดจากการคำนวณปริมาณยางแต่ละตู้ผิดพลาด ก่อให้เกิด

งานเข้าซ้อนจำนวน 223 ครั้งในปี ค.ศ. 2020 ดังแสดงปริมาณยางรถยนต์แยกตามสาเหตุในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ปริมาณยางรถยนต์แยกตามสาเหตุการทำงานซ้ำซ้อน

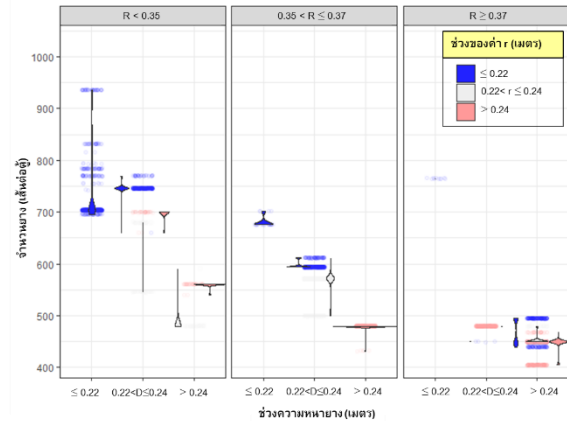
รูปที่ 5 แสดงว่ายางรถยนต์ 74% ของยางทั้งหมดจำนวน 6,411 เส้นไม่สามารถส่งออกได้ตามแผนที่วางไว้และทำให้เกิดการทำงานซ้ำซ้อนภายในศูนย์กระจายสินค้า

3.4 ปริมาณยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์

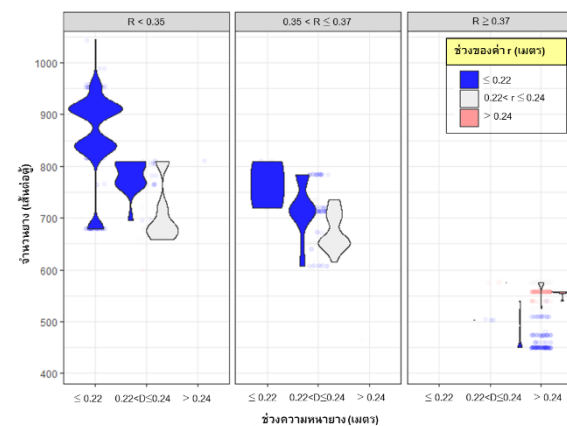
เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์และสร้างสมการในส่วนถัดไป ผู้วิจัยจึงแปลรหัสเฉพาะของยางรถยนต์ในหัวข้อที่ 2.1 ให้อยู่ในหน่วยเมตรพร้อมกำหนดสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

- Y = ปริมาณยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ (เส้น)
- D = ขนาดของหน้ายาง (เมตร)
- r = รัศมีของกระทล้อ หรือ รัศมีในของยาง (เมตร)
- R = รัศมีของยางรถยนต์ (เมตร)

จากข้อมูลการส่งออกในปีค.ศ. 2019-2020 และลักษณะกายภาพของยางรถยนต์จำนวน 7,883 ตู้คอนเทนเนอร์ ผู้วิจัยสามารถแสดงการกระจายปริมาณต่อตู้คอนเทนเนอร์สำหรับการจัดเรียงแบบตั้งและแบบไขว้ในรูปไวโอลิน (Violin Plot) ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 6 ปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปรของการจัดเรียงแบบตั้ง



รูปที่ 7 ปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปรของการจัดเรียงแบบไขว้

ถ้ายางรถยนต์มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะรัศมียางรถยนต์และขนาดของหน้ายาง ปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเปรียบเทียบปริมาณยางในรูปที่ 6 และ 7 พบว่าการบรรจุแบบไขว้สามารถบรรจุยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ได้ปริมาณและมีความแปรปรวนมากกว่าการบรรจุแบบตั้ง อนึ่ง ปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ของยางที่มีขนาดกายภาพใกล้เคียงกันมักมีปริมาณเท่ากันเนื่องจากพนักงานวางแผนการส่งออกอาศัยประสบการณ์และข้อมูลในอดีตในการกำหนดปริมาณยาง

จากการวิเคราะห์การกระจายของปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์แยกตามลักษณะกายภาพของยาง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดคำนวณปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ 2 แนวทาง

ได้แก่ การใช้ข้อมูลในการสร้างแบบจำลองสมการถดถอย และการวิเคราะห์ลักษณะทางเรขาคณิตของยางรถยนต์ ภายในตู้คอนเทนเนอร์ โดยการเปรียบเทียบแนวคิดทั้งสอง อาศัยข้อมูล 2 ชุด ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2019 ได้แก่

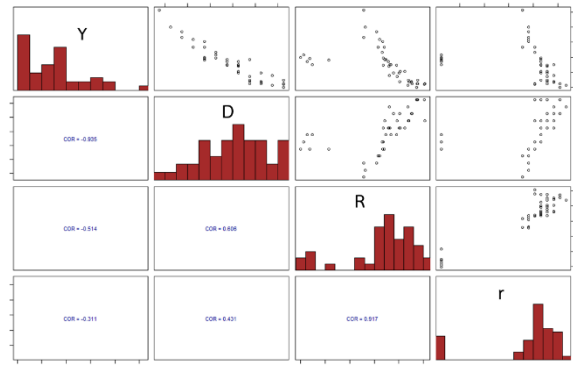
- **ข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training Dataset):** เป็นข้อมูลการส่งออกในช่วง มกราคม 2019 จนถึง กันยายน 2020 เพื่อใช้สร้างแบบจำลองสมการถดถอย และตรวจสอบการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต
 - **ข้อมูลชุดทดสอบ (Testing Dataset):** เป็นข้อมูลการส่งออกใน มกราคม 2021 ถึง มีนาคม 2021 เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการคำนวณปริมาณยางของแบบจำลองและการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต
- หลังจากตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยได้กรองข้อมูลชุดเรียนรู้และชุดทดสอบเฉพาะรายการที่มีการส่งออกเต็มตู้เท่านั้น โดยพิจารณาปริมาณยางที่สูงที่สุดในแต่ละกลุ่มลักษณะกายภาพและรูปแบบการวางของยางรถยนต์

4. การคำนวณปริมาณยางด้วยสมการถดถอย

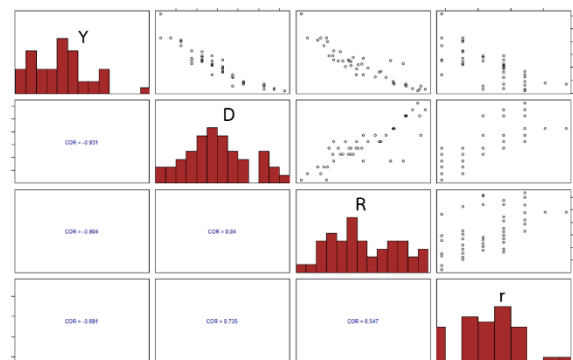
การคำนวณที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในงานวิจัยรวมถึงการสร้างแบบจำลองสมการถดถอยและการวิเคราะห์ทางสถิติ อาศัยโปรแกรม R/RStudio [16] เวอร์ชัน 1.4.1717

4.1 ความสัมพันธ์ของลักษณะกายภาพของยาง

ก่อนการสร้างแบบจำลองสมการถดถอยควรพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation: COR) และความสัมพันธ์ของการกระจายของปริมาณยางรถยนต์เต็มตู้คอนเทนเนอร์และลักษณะกายภาพของยางสำหรับการจัดเรียงแบบตั้งและการจัดเรียงแบบไขว้ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของการจัดเรียงแบบตั้ง



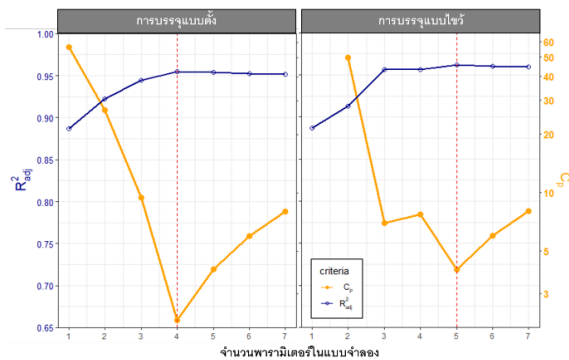
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการจัดเรียงแบบไขว้

รูปที่ 8 และ 9 ความสัมพันธ์เชิงเส้นทางลบ (Negative Linear Relationship) ระหว่างปริมาณยางรถยนต์เต็มตู้คอนเทนเนอร์ (Y) และ ลักษณะกายภาพของยางของการจัดเรียงทั้งสองแบบ โดยขนาดของหน้ายาง (D) และรัศมียางรถยนต์ (R) มีค่าสมบูรณ์ของสหสัมพันธ์ (Absolute Correction) สูงกว่ารัศมีกระทะล้อ (r) การเปรียบเทียบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะกายภาพของยางรถยนต์แยกตามการจัดเรียงจะพบว่าการจัดเรียงแบบไขว้มีค่าสมบูรณ์สูงกว่าการจัดเรียงแบบตั้ง นอกจากนี้ การวิเคราะห์รูปที่ 8 และ 9 ยังแสดงว่าลักษณะกายภาพทั้ง 3 ตัวแปร ไม่เป็นอิสระระหว่างกันและมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน (Interaction) ดังนั้น สมการถดถอยควรพิจารณาค่าอันตรกิริยาในการสร้างแบบจำลอง

4.2 การเลือกซับเซตที่ดีที่สุด

เนื่องจากค่าไม่เป็นอิสระระหว่างลักษณะกายภาพของยางรถยนต์ ผู้วิจัยจึงประยุกต์การเลือกซับเซตที่ดีที่สุด (Best Subset Selection) [18] ซึ่งพิจารณาลักษณะกายภาพและค่าอันตรกิริยาเป็นพารามิเตอร์การทำนาย (Predicted

Parameter) และเลือกข้อที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์การทำนาย ในสมการถดถอยเชิงเส้นตามจำนวนพารามิเตอร์ที่กำหนด เมื่อได้สมการถดถอยในแต่ละค่าของจำนวนพารามิเตอร์ จึงพิจารณาค่า R^2_{adj} (Adjusted R-Squared) ซึ่งแสดงความสามารถในการอธิบายค่าทำนายด้วยสมการถดถอย และค่า Mallows' C_p [18] ซึ่งแสดงความสามารถในการทำนายเทียบกับจำนวนพารามิเตอร์ในสมการถดถอยดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ค่า R^2_{adj} และ C_p ของสมการถดถอยแยกตามจำนวนพารามิเตอร์ในสมการและวิธีการการจัดเรียง

รูปที่ 10 แสดงค่า R^2_{adj} และ C_p ของสมการถดถอยที่ดีที่สุดจากข้อเลือกของสมการถดถอยเมื่อกำหนดจำนวนพารามิเตอร์เป็นหนึ่งๆ เช่น สมการถดถอยที่ดีที่สุดของการจัดเรียงแบบตั้งหากกำหนดให้มีเพียง 1 พารามิเตอร์ให้ค่า R^2_{adj} และ C_p เท่ากับ 0.87 และ 59.0 ตามลำดับ การเลือกจำนวนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสมการถดถอยพิจารณาจาก R^2_{adj} มากและค่า C_p น้อย การวิเคราะห์ค่าสถิติทั้งสองนำไปสู่การเลือกสมการถดถอยซึ่งมี 4 และ 5 พารามิเตอร์สำหรับการจัดเรียงแบบตั้งและการจัดเรียงแบบไขว้ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

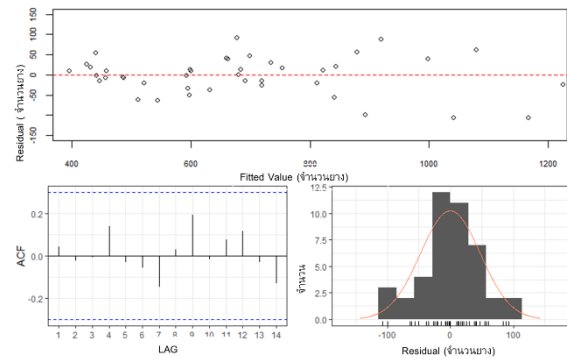
$$Y = 4820 - 27402 D - 30824 D \times R + 62082 D \times r - 45829 R \times r \quad (1)$$

$$Y = 4675 - 44124 D + 20496 r + 73158 D \times R + 60286 D \times r - 94131 R \times r \quad (2)$$

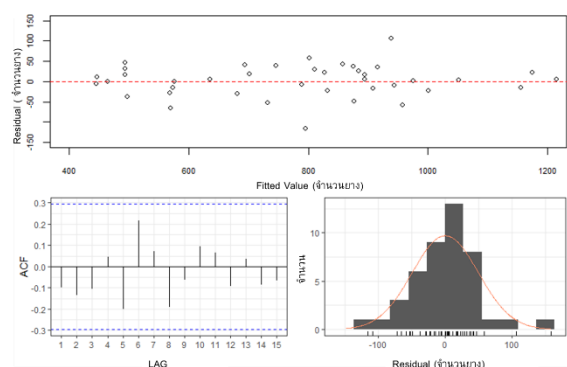
สมการทั้งสองมีพารามิเตอร์ร่วมกัน 4 เทอม แต่ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) แตกต่างกัน อนึ่ง พารามิเตอร์เทอม r หรือ รัศมีกระทะล้อ ปรากฏในสมการถดถอยของการจัดเรียงแบบไขว้ซึ่งหน้ากว้างยางรถยนต์ซ้อนในรัศมีกระทะล้อ

4.3 การตรวจสอบ Residual และความแม่นยำ

ก่อนการประยุกต์สมการถดถอยที่ได้ในการทำนาย ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำและสมมติฐานที่เกี่ยวข้องโดยการพิจารณาค่าผลต่าง หรือ Residual ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ในหัวข้อที่ 4.2 และจำนวนยางรถยนต์ต่อคู่คอนเทนเนอร์จริงดังแสดงในรูปที่ 11 และ 12



รูปที่ 11 Residual จากสมการถดถอยของการจัดเรียงแบบตั้ง



รูปที่ 12 Residual จากสมการถดถอยของการจัดเรียงแบบไขว้

ค่า Residual ของการจัดเรียงแบบตั้งและการจัดเรียงแบบไขว้ในรูปที่ 11 และ 12 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีการ

กระจายแบบปกติ การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอยกับการจัดเรียงแบบตั้ง (สมการที่ 1) และการจัดเรียงแบบไขว้ (สมการที่ 2) โดยพิจารณาค่า RMSE (Root Mean Square Error) และค่า MAPE (Mean Absolute Percentage Error) และจำนวนตู้ที่มีจำนวนยางรถยนต์ไม่เต็มตู้ หรือล้นตู้ ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลการส่งออกจริง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความแม่นยำของสมการถดถอยในข้อมูลชุดเรียนรู้

การจัดเรียง	ความแม่นยำ		จำนวนตู้คอนเทนเนอร์	
	RMSE	MAPE	ไม่เต็มตู้	ล้นตู้
การเรียงแบบตั้ง	47.12	5.01	21	22
การเรียงแบบไขว้	48.79	4.30	19	24

5. การคำนวณปริมาณยางด้วยเรขาคณิต

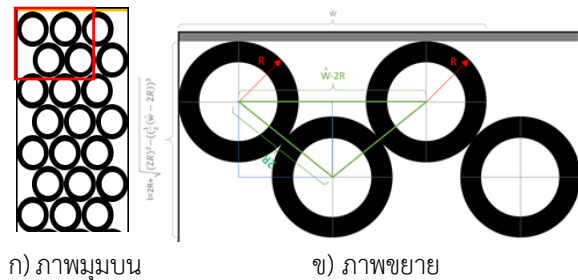
ก่อนการวิเคราะห์ปริมาณยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ ผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์แทนขนาดของตู้คอนเทนเนอร์และการจัดเรียงยางรถยนต์ภายในดังต่อไปนี้

- H = ความสูงของตู้คอนเทนเนอร์ (เมตร)
- W = ความกว้างของตู้คอนเทนเนอร์ (เมตร)
- L = ความยาวของตู้คอนเทนเนอร์ (เมตร)
- n_H = จำนวนยางในแนวสูงของตู้ (เส้น)
- n_W = จำนวนยางในแนวกว้างของตู้ (เส้น)
- n_L = จำนวนยางในแนวยาวของตู้ (เส้น)
- μ = จำนวนยางแทรกของตู้ในการวางแบบตั้ง (เส้น)
- θ_h = มุมระหว่างยางในแนวนอนในการวางแบบตั้ง
- θ_v = มุมระหว่างยางในแนวตั้งในการวางแบบไขว้

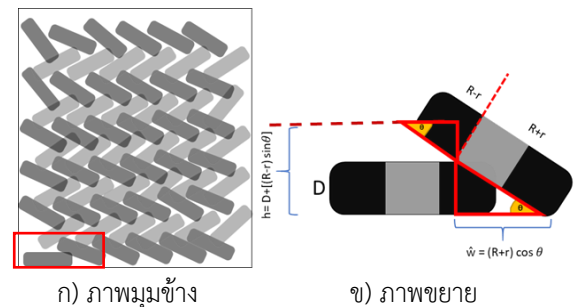
แนวคิดในการคำนวณปริมาณยางด้วยการวิเคราะห์ทางเรขาคณิตเป็นแนวคิดเดียวกับการทดลองจัดเรียงยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ของบริษัทกรณีศึกษา โดยพนักงานจะเรียงยางรถยนต์แถวในสุดของตู้คอนเทนเนอร์จนเต็มความสูงและความกว้าง จากนั้นจึงทดลองเรียงยางรถยนต์และนับจำนวนแถวตามความยาวของตู้ จำนวนยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ คือ ผลคูณของจำนวนยางในแนวสูงในแนวกว้างและในแนวยาวของตู้คอนเทนเนอร์

5.1 การวิเคราะห์จำนวนยางด้วยเรขาคณิต

การวิเคราะห์จำนวนยางอาศัยแผนภาพการจัดเรียงยางรถยนต์แบบตั้งและแบบไขว้ดังแสดงรูปที่ 12 และ 13 สมการคำนวณจำนวนยางจากการวิเคราะห์ทางเรขาคณิตและมุมระหว่างยางรถยนต์ถูกแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 12 แผนภาพการจัดเรียงแบบตั้งภายในตู้คอนเทนเนอร์



รูปที่ 13 แผนภาพการจัดเรียงแบบไขว้ภายในตู้คอนเทนเนอร์

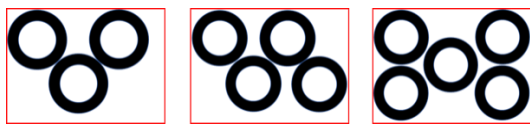
ตารางที่ 2 จำนวนยางต่อตู้และจำนวนยางในแนวของตู้

	การจัดเรียงแบบตั้ง	การจัดเรียงแบบไขว้
Y	$n_H \times n_W \times n_L + \mu$	$n_H \times n_W \times n_L$
n_H	$\left\lfloor \frac{H}{D} \right\rfloor$	$\left\lfloor \frac{H}{D + (R - r) \sin \theta_v} \right\rfloor$
n_W	$\left\lfloor \frac{W}{2R} \right\rfloor$	$1 + \left\lfloor \frac{W - 2R}{(R + r) \cos \theta_v} \right\rfloor$
n_L	$\left\lfloor \frac{L}{R(1 + \sin \theta_h)} \right\rfloor$	$\left\lfloor \frac{L}{2R} \right\rfloor$

ตารางที่ 2 (ต่อ) จำนวนยางต่อตู้และจำนวนยางในแนวของตู้

	การจัดเรียงแบบตั้ง	การจัดเรียงแบบไขว้
หมาย เหตุ	$\theta_h \in \left[0, \frac{\pi}{3}\right]$	$\theta_v \in \left[\arcsin \frac{D}{R+r}, \arcsin \frac{D}{2R}\right]$
	$\mu = \begin{cases} -n_h \left\lfloor \frac{n_L}{2} \right\rfloor & ; \text{ if } \frac{W-2n_w R}{R} \leq 1 \\ 0 & ; \text{ if } 1 < \frac{W-2n_w R}{R} \leq \sqrt{3} \\ (n_w-1)n_h \left\lfloor \frac{n_L}{2} \right\rfloor & ; \text{ otherwise} \end{cases}$	

จำนวนยางในแนวสามารถหาได้จากสัดส่วนที่เป็นจำนวนเต็มของความกว้าง ความยาว และความสูงของตู้คอนเทนเนอร์ต่อลักษณะกายภาพของยางรถยนต์ในแต่ละแนวตามรูปแบบการจัดเรียง จากลักษณะทรงกระบอกและความยืดหยุ่นสูงของยางรถยนต์ทำให้การจัดเรียงแบบตั้งมีความเป็นไปได้ในการสลับยางระหว่างแถว 3 กรณี เป็นผลให้จำนวนยางแทรกระหว่างแถว (μ) ซึ่งค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความกว้างตู้คอนเทนเนอร์ (W) และรัศมียางรถยนต์ (R) ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 ยางรถยนต์แทรกระหว่างแถวของ
การจัดเรียงแบบตั้ง

5.2 ความแม่นยำของสมการเรขาคณิต

การตรวจสอบความถูกต้องและการเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการทางเรขาคณิตอาศัยข้อมูลชุดเรียนรู้เช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 4.3 สามารถแสดงได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความแม่นยำของสมการเรขาคณิตในข้อมูลชุดเรียนรู้

การจัดเรียง	ความแม่นยำ		จำนวนตู้คอนเทนเนอร์	
	RMSE	MAPE	ไม่เต็มตู้	ล้นตู้
การเรียงแบบตั้ง	85.69	8.93	13	25
การเรียงแบบไขว้	88.11	8.20	18	23

จากตารางที่ 3 ค่า RMSE และ MAPE ของการจัดเรียงแบบตั้งและแบบไขว้มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 พบว่าการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยมีความแม่นยำมากกว่าสมการเชิงเรขาคณิต คำอธิบายประการหนึ่งของผลลัพธ์ดังกล่าวคือข้อมูลชุดเรียนรู้ถูกนำมาใช้สร้างสมการถดถอย ในขณะที่สมการทางเรขาคณิตไม่ได้พิจารณาข้อมูลในอดีต ดังนั้น การเปรียบเทียบสมการถดถอยและสมการทางเรขาคณิตจึงควรทำโดยข้อมูลชุดทดสอบดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 5.3

5.3 การเปรียบเทียบความแม่นยำด้วยข้อมูลชุดทดสอบ

การเปรียบเทียบความแม่นยำของการทำนายจำนวนยางข้อมูลชุดทดสอบในตารางที่ 4 พบว่าการคำนวณปริมาณยางรถยนต์ต่อตู้ด้วยสมการถดถอยให้ความแม่นยำสูงกว่าการคำนวณด้วยเรขาคณิตโดยมีผลต่างของค่า RMSE 24.18 และ 33.1 หรือผลต่างของค่า MAPE 2.8% และ 4.08% สำหรับการจัดเรียงแบบตั้งและการจัดเรียงแบบไขว้ตามลำดับ การเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างชุดข้อมูล พบว่าความแม่นยำของสมการถดถอยด้วยข้อมูลชุดทดสอบลดลงเมื่อเทียบกับข้อมูลชุดเรียนรู้ซึ่งเป็นลักษณะปกติของการประยุกต์แบบจำลองสมการถดถอย ในกรณีของสมการทางเรขาคณิตผู้วิจัยไม่สามารถสรุปความแตกต่างของความแม่นยำระหว่างชุดข้อมูลได้เนื่องจากความแม่นยำของข้อมูลชุดทดสอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสำหรับการจัดเรียงแบบตั้ง แต่ลดลงในการจัดเรียงแบบไขว้ โดยภาพรวมสมการการคำนวณจำนวนยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ทั้งสองแบบให้ความแม่นยำสำหรับการจัดเรียงแบบตั้งมากกว่าการจัดเรียงแบบไขว้ คำอธิบายประการหนึ่งของลักษณะดังกล่าวคือการจัดเรียงแบบไขว้มีการส่งออกจำนวนครั้งน้อยกว่า นอกจากนี้การจัดเรียงยางรถยนต์แบบไขว้ยังมีความหลากหลายของลักษณะกายภาพของยางน้อยกว่าการจัดเรียงแบบตั้ง

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาข้อมูลการส่งออกยางรถยนต์พบว่า บริษัทกรณีศึกษาสามารถเพิ่มอรรถประโยชน์และลดการทำงานซ้ำซ้อนในศูนย์กระจายสินค้าได้โดยการปรับปรุงการคำนวณ

จำนวนยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์
สมการถดถอยโดยการเลือกข้อที่ดีที่สุดจากการพิจารณา
ค่า R^2_{adj} และค่า C_p จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบความ
แม่นยำกับผลที่ได้จากวิเคราะห์สมการทางเรขาคณิต

การเปรียบเทียบพบว่าสมการถดถอยมีความแม่นยำ
สูงกว่าสมการเรขาคณิตและมีความเหมาะสมในการวางแผน

สำหรับยางรถยนต์ที่มีความถี่ในการส่งออกสูงเนื่องจากข้อมูล
ในอดีตจำนวนมาก ในขณะที่สมการทางเรขาคณิตเหมาะสม
กับการประมาณยางรถยนต์ขนาดใหม่ที่ไม่เคยมีการส่งออกใน
อดีตมาก่อนและยางรถยนต์ที่มีความถี่ในการส่งออกต่ำ

ตารางที่ 4 ความแม่นยำระหว่างสมการถดถอยและสมการทางเรขาคณิตด้วยข้อมูลชุดทดสอบ

วิธีการวิเคราะห์	การจัดเรียง	ความแม่นยำ		จำนวนตู้คอนเทนเนอร์		หมายเหตุ
		RMSE	MAPE	ไม่เต็มตู้	ล้นตู้	
สมการถดถอย	การเรียงแบบตั้ง	44.07	5.99	9	13	สมการที่ 1
	การเรียงแบบไขว้	63.55	6.72	8	4	สมการที่ 2
สมการเรขาคณิต	การเรียงแบบตั้ง	68.25	8.29	6	12	ตารางที่ 2
	การเรียงแบบไขว้	101.35	10.75	7	4	

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันพลาสติก, "เจาะลึกอุตสาหกรรมยางรถยนต์ของไทย." สิงหาคม. 18, 2563. [Online]. Available: <http://rubber.oie.go.th/>. [Accessed: สิงหาคม. 15, 2564].
- [2] กฤษณี พิสิษฐสุภกุล, "เมื่อความต้องการใช้ยางจากจีนชะลอ...ความท้าทายที่ไทยต้องเร่งปรับตัว." ธันวาคม. 2558. [Online]. Available: <https://www.bot.or.th/>. [Accessed: สิงหาคม. 15, 2564].
- [3] M. L. Cheong, R. Bhatnagar, and S. C. Graves, "Logistics network design with supplier consolidation hubs and multiple shipment options," *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 3, no. 1, p. 51, 2007.
- [4] สยามมิชลิน, "วิธีอ่านขนาดบนแก้มยาง." [Online]. Available: <https://www.michelin.co.th>. [Accessed: สิงหาคม. 15, 2564].
- [5] D. Pisinger, "Heuristics for the container loading problem," *European journal of operational research*, vol. 141, no. 2, pp. 382-392, 2002.
- [6] R. N. Cardoso, B. L. Pereira, J. Fonseca, M. Ferreira, and J. Tavares, "Automated planning integrated with linear programming applied in the container loading problem," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 24, pp. 153-158, 2013.
- [7] A. Lim, H. Ma, C. Qiu, and W. Zhu, "The single container loading problem with axle weight constraints," *International Journal of Production Economics*, vol. 144, no. 1, pp. 358-369, 2013.
- [8] T. Tian, W. Zhu, A. Lim, and L. Wei, "The multiple container loading problem with preference," *European Journal of Operational Research*, vol. 248, no. 1, pp. 84-94, 2016.

- [9] J. F. Correcher, M. T. Alonso, F. Parreño, and R. Alvarez-Valdés, "Solving a large multicontainer loading problem in the car manufacturing industry," *Computers & Operations Research*, vol. 82, pp. 139-152, 2017.
- [10] M. Alonso, R. Alvarez-Valdes, M. Iori, and F. Parreño, "Mathematical models for multi container loading problems with practical constraints," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 127, pp. 722-733, 2019.
- [11] A. G. Ramos, J. F. Oliveira, J. F. Gonçalves, and M. P. Lopes, "Dynamic stability metrics for the container loading problem," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 60, pp. 480-497, 2015.
- [12] R. R. Júnior, H. H. Yanasse, R. Morabito, and L. Junqueira, "A hybrid approach for a multi-compartment container loading problem," *Expert Systems with Applications*, vol. 137, pp. 471-492, 2019.
- [13] สลิสสา พึ่งพุทธิกานต์, อุดุลย์ นงภา, และ รพี อุดมทรัพย์, "การเพิ่มประสิทธิภาพการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์," ใน *รายงานการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ และนานาชาติ ครั้งที่ 9*, หน้า 1290-1300, 2018.
- [14] อ่ำพล นววงศ์เสถียร, สุรัตน์ จันทองปาน, ภาณุณี วุฒิภดาตร, สิทธิชัย ฝรั่งทอง, ธิปัตย์ โสถถิวรรณ, และ ชัญญุณณ์ ป้อมสา, "ต้นทุนการขนส่งรวมต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีผลต่อการเลือกรูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 1, หน้า 135-145, 2557.
- [15] กุลทรัพย์ ผ่องศรีสุข, อาณัติ ผิวดำ, และ ภคิน สอนแหยม, "การประมาณค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่มีขอบสามด้านรองรับแบบยึดแน่นและอีกหนึ่งด้านปล่อยอิสระ," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, หน้า 185-194, 2564.
- [16] A. Bortfeldt and G. Wäscher, "Constraints in container loading—A state-of-the-art review," *European Journal of Operational Research*, vol. 229, no. 1, pp. 1-20, 2013.
- [17] J. Verzani, *Getting started with RStudio*. USA: O'Reilly, 2011.
- [18] R. Miyashiro and Y. Takano, "Subset selection by Mallows' Cp: A mixed integer programming approach," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 1, pp. 325-331, 2015.