

การประมาณความจุของคอนเทนเนอร์ยางรถยนต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAPACITY ESTIMATION OF AUTOMOTIVE TYRE CONTAINER



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณความจุของคอนเทนเนอร์ยางรถยนต์
โดย	น.ส.วิภาดา อ้นสรราช
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญชัย โขมพัตราภรณ์)	

วิภาดา ฮันสราษ : การประมาณความจุของคอนเทนเนอร์ยางรถยนต์. ( CAPACITY ESTIMATION OF AUTOMOTIVE TYRE CONTAINER) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย

เนื่องจากข้อได้เปรียบด้านวัตถุดิบและกำลังการผลิต ประเทศไทยจึงเป็นผู้นำอุตสาหกรรมยางรถยนต์ ในด้านการผลิตและส่งออก กระนั้นการส่งออกยางรถยนต์ยังคงขาดประสิทธิภาพในด้านต้นทุนการขนส่งและ อร์รถประโยชน์เชิงปริมาตรของตู้คอนเทนเนอร์เนื่องจากลักษณะกายภาพของสินค้าดังเช่น บริษัทยางรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัทกรณีศึกษาใช้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมยางรถยนต์นำเข้าในภูมิภาคและ ส่งออกยางที่ผลิตในประเทศไปทั่วโลก จากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตพบว่าแผนส่งออกยางมีความคาดเคลื่อน ส่งผลให้ต้องการจัดทำเอกสารศุลกากรอีกครั้งเกิดการเคลื่อนย้ายที่ซ้ำซ้อน (Double Handling)งานวิจัยมี วัตถุประสงค์เพื่อลดความคาดเคลื่อนโดยการทำนายจำนวนยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ อ้างอิงจากขนาดทาง กายภาพของยาง สำหรับการบรรจุยาง 2 รูปแบบ หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลการบรรจุในอดีตและขนาดทาง กายภาพ ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นกับข้อมูลการบรรจุและพัฒนา 4 แบบจำลองที่แตกต่างกัน ได้แก่ แบบจำลอง Simple Regression, All Possible, Stepwise and The Best Subset Selection ในอีก ทางหนึ่ง ความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตระหว่างคอนเทนเนอร์กับขนาดทางกายภาพของยางได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อ พัฒนาวิธีการทำนายยางที่มีข้อมูลการบรรจุไม่เพียงพอ ผลการเปรียบเทียบกับแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพบว่า แบบจำลอง The Best Subset Selection มีความแม่นยำสูงสุดและเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดโดยมีค่า MAPE (Mean Absolute Percentage Error) คือ 5.01 และ 4.30 สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้งและแบบไขว้ ตามลำดับ ถึงอย่างไรก็ตาม แบบจำลอง The Best Subset Selection เหมาะสมกับการบรรจุยางขนาดเดียวที่มี ข้อมูลการบรรจุยางที่เพียงพอ ผลการเปรียบเทียบแสดงถึงการแบบจำลองทางเรขาคณิตมีความเหมาะสมกับการ บรรจุยางหลายขนาดหรือยางขนาดใหญ่มากกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6270262021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Container Utilization, Loading Pattern of Automotive Tire, Multiple Linear Regression, Geometry

Wipada Hansraj : CAPACITY ESTIMATION OF AUTOMOTIVE TYRE CONTAINER. Advisor:  
Assoc. Prof. ORAN KITTITHREERAPRONCHAI

Because of the raw-material and production-capacity advantages, Thailand has become the manufacturing leader and exporter of the 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 reworking of custom documents and double handling of products. This research aims to reduce such discrepancies by predicting the number of tires per container based on the physical dimensions of tires for two different loading patterns. After analyzing the historical loading data and the physical dimensions, the linear regression model was applied to loading data and developed three different models, i.e., simple linear model, stepwise model, and best-subset-selection model. Alternatively, the geometric relationships of a container and the physical dimensions of tires were analyzed to develop a predicting method for a tire with insufficient loading data. The comparison among the linear regression models reveals that the best-subset-selection model is the most accurate and suitable model as its MAPE (Mean Absolute Percentage Error) of 5.01 and 4.30 for stack and lace loading patterns, respectively. Despite the preference of the best-subset-selection model for single-size tires that have sufficient loading data, the comparison reveals that the geometric model is more suitable for multiple sizes or new sizes of tires.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะไม่สามารถล่องลอยได้หากปราศจากคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. โอฟาร กิตติธีรพรชัย ที่ได้สละเวลาให้ คำปรึกษา ช่วยชี้แนะแนวทาง วิธีการวิจัย รวมถึงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์ และความ ช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณประธานและคณะกรรมการสอบ ซึ่งประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ดาริชา สุธีวงศ์ (ประธานกรรมการ) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อริศรา เจียมสงวนวงศ์ (กรรมการ) และรอง ศาสตราจารย์ ดร. เจริญชัย โขมพัฒนารักษ์ (กรรมการภายนอก) ที่ได้ให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับ นี้มีความสมบูรณ์และมีประโยชน์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีสึกษา ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลการส่งออกและการเก็บข้อมูลหน้างาน เพิ่มเติม เพื่อนำมาวิเคราะห์และพัฒนากระบวนการ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่คอยให้กำลังใจรอบตัว ได้แก่ ครอบครัว เพื่อนๆ ร่วมกลุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษา และเพื่อนผู้เกี่ยวข้องท่านอื่นๆ ที่ได้ช่วยอ่านและให้คำแนะนำ ทั้งนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่าง ยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ

วิภาดา ฮันสราช

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	7
1.4 ผลที่ได้รับ.....	8
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	8
1.6 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	10
2.1 การจัดการโซ่อุปทาน .....	10
2.2 การส่งออกสินค้า.....	10
2.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และการเลือกใช้แบบจำลองสมการถดถอย .....	13
2.3.1 เทคนิคการสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรง .....	14
2.3.2 เกณฑ์การเลือกแบบจำลองสมการถดถอยที่เหมาะสม .....	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.4.1 ด้านการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ .....	18

2.4.2 แนวคิดด้านการจัดส่งและสินค้าส่งออก .....	22
2.4.3 แนวคิดด้านการเลือกตัวแปรแบบ Subset Selection .....	24
บทที่ 3 บริษัทกรณีศึกษา .....	28
3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัท .....	28
3.2 โครงสร้างองค์กร .....	28
3.3 ตำแหน่งที่ตั้งและโรงงานผลิต .....	30
3.4 ผลิตภัณฑ์ .....	33
3.5 ประเภทของลูกค้า .....	34
3.5.1 แบ่งตามการผลิตและการใช้งานของลูกค้า .....	34
3.5.2 แบ่งตามการส่งสำหรับลูกค้าต่างประเทศ .....	34
3.6 วิธีการดำเนินงานในการส่งออกสินค้า และตัวชี้วัดในปัจจุบัน .....	35
3.6.1 วิธีการดำเนินงานการส่งออกสินค้า .....	35
3.6.2 ตัวชี้วัดของการส่งออกสินค้า .....	38
3.7 ระบบสารสนเทศที่ใช้ในการจัดการการขนส่ง .....	39
3.8 ขั้นตอนการทำงาน การวางแผนสินค้าส่งออก .....	41
3.9 เงื่อนไขในการขนส่งสินค้าไปยังประเทศปลายทาง .....	41
3.9.1 วิธีการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ (Loading Method) .....	42
3.9.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับอายุของสินค้า (Aging of Product) .....	42
3.10 วิธีการวัดยางในตู้คอนเทนเนอร์ของบริษัทกรณีศึกษา .....	43
3.11 วิธีบรรจุยางของคลังสินค้า .....	45
3.12 การวิเคราะห์ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา .....	48
บทที่ 4 การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล .....	52
4.1 แหล่งที่มาของข้อมูล .....	52
4.1.1 ข้อมูลการบันทึกธุรกรรมการขายจากระบบ ERP .....	52



4.1.2	ฐานข้อมูลคำนวณในปัจจุบัน .....	53
4.2	การจัดการข้อมูลยาง .....	55
4.3	การวิเคราะห์ข้อมูลยาง .....	60
4.3.1	การวิเคราะห์ข้อมูลยางสำหรับการบรรจุแบบตั้ง .....	60
4.3.2	การวิเคราะห์ข้อมูลยางสำหรับการบรรจุแบบไขว้ .....	63
4.4	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	66
บทที่ 5	การคำนวณปริมาณยางรถยนต์บรรจุด้วยสมการถดถอย .....	69
5.1	แนวคิดการสร้างสมการถดถอย .....	69
5.2	สมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง .....	70
5.2.1	แบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่าย .....	72
5.2.2	แบบจำลอง Stepwise .....	76
5.2.3	แบบจำลอง All Possible .....	79
5.2.4	แบบจำลอง Best Subset Selection .....	82
5.3	สมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ .....	85
5.3.1	แบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่าย .....	88
5.3.2	แบบจำลอง Stepwise .....	91
5.3.3	แบบจำลอง All Possible .....	95
5.3.4	แบบจำลอง Best Subset Selection .....	98
5.4	รูปสมการและความแม่นยำของสมการถดถอย .....	100
5.4.1	รูปสมการถดถอย .....	101
5.4.2	ความแม่นยำของสมการถดถอย .....	101
บทที่ 6	การคำนวณปริมาณยางรถยนต์ด้วยทางเรขาคณิต .....	104
6.1	แนวคิดการคำนวณทางเรขาคณิต .....	104
6.2	การคำนวณทางเรขาคณิตสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง .....	106

6.3 การคำนวณทางเรขาคณิตสำหรับวิธีบรรจุแบบไขว้.....	111
6.4 การทดสอบความแม่นยำของสมการเรขาคณิต.....	114
6.5 เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างวิธีสมการถดถอยและการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต.....	118
6.6 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด.....	122
6.6.1 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง.....	123
6.6.2 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้.....	127
6.7 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก.....	131
6.7.1 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง.....	131
6.7.2 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้.....	133
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	136
7.1 สรุปผลงานวิจัย.....	136
7.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต.....	138
บรรณานุกรม.....	140
ประวัติผู้เขียน.....	162

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4-1 ดัชนีน้ำหนักบรรทุกที่ปรากฏบนหน้าयरलयनंद.....	56
ตารางที่ 4-2 ดัชนีความเร็วที่ปรากฏบนหน้าयरलयनंद.....	57
ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างคำอธิบายและการคำนวณ ขนาดยงที่ปรากฏบนหน้าयरलयनंद.....	60
ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของข้อมูล การบรรจุแบบตั้ง.....	62
ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของข้อมูล การบรรจุแบบตั้ง.....	65
ตารางที่ 5-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของข้อมูลการบรรจุแบบตั้ง.....	72
ตารางที่ 5-2 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายทางตรง วิธีบรรจุแบบตั้ง.....	73
ตารางที่ 5-3 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบตั้ง.....	74
ตารางที่ 5-4 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ทางตรง การบรรจุแบบตั้ง.....	76
ตารางที่ 5-5 แบบจำลอง Stepwise ทางตรง วิธีบรรจุแบบตั้ง.....	76
ตารางที่ 5-6 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ การบรรจุแบบตั้ง.....	78
ตารางที่ 5-7 แบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบตั้ง.....	78
ตารางที่ 5-8 แบบจำลอง All Possible ทางตรง วิธีบรรจุแบบตั้ง.....	80
ตารางที่ 5-9 แบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบตั้ง.....	81
ตารางที่ 5-10 ค่าการพิจารณาเลือกแบบจำลองสมการถดถอย สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง.....	84
ตารางที่ 5-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของข้อมูลการบรรจุแบบไขว้.....	88
ตารางที่ 5-12 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายทางตรง วิธีบรรจุแบบไขว้.....	89
ตารางที่ 5-13 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบไขว้.....	90
ตารางที่ 5-14 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ทางตรง การบรรจุแบบไขว้.....	91
ตารางที่ 5-15 แบบจำลอง Stepwise ทางตรง วิธีบรรจุแบบไขว้.....	92
ตารางที่ 5-16 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ การบรรจุแบบไขว้.....	93
ตารางที่ 5-17 แบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบไขว้.....	93

ตารางที่ 5-18 แบบจำลอง All Possible ทางตรง วิธีบรรจุแบบไขว้ .....	95
ตารางที่ 5-19 แบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบไขว้ .....	96
ตารางที่ 5-20 ค่าการพิจารณาเลือกแบบจำลองสมการถดถอย สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ .....	100
ตารางที่ 5-21 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอย การบรรจุแบบตั้ง .....	102
ตารางที่ 5-22 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอย การบรรจุแบบไขว้ .....	102
ตารางที่ 6-1 สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ .....	105
ตารางที่ 6-2 รูปสมการการคำนวณด้วยวิธีเรขาคณิต .....	114
ตารางที่ 6-3 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการเรขาคณิต การบรรจุแบบตั้ง .....	115
ตารางที่ 6-4 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการเรขาคณิต การบรรจุแบบไขว้ .....	116
ตารางที่ 6-5 ความแม่นยำของสมการถดถอยและสมการเรขาคณิต วิธีการบรรจุแบบตั้ง .....	119
ตารางที่ 6-6 ช่วงที่สมการมีความแม่นยำสูงสุด การบรรจุแบบตั้ง .....	119
ตารางที่ 6-7 ความแม่นยำของสมการถดถอยและสมการเรขาคณิต วิธีการบรรจุแบบไขว้ .....	120
ตารางที่ 6-8 ช่วงที่สมการมีความแม่นยำสูงสุด การบรรจุแบบไขว้ .....	121
ตารางที่ 6-9 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง .....	124
ตารางที่ 6-10 ผลการวิเคราะห์ T-Test วิธีการบรรจุคละขนาดแบบตั้ง .....	126
ตารางที่ 6-11 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ .....	128
ตารางที่ 6-12 ผลการวิเคราะห์ T-Test วิธีการบรรจุคละขนาดแบบไขว้ .....	129
ตารางที่ 6-13 เปรียบเทียบผลการคำนวณ การบรรจุแบบตั้ง คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก .....	133
ตารางที่ 6-14 เปรียบเทียบผลการคำนวณ การบรรจุแบบไขว้ คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก .....	135

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 ข้อมูลการส่งออกยางล้อรถยนต์จากไทย ในปี 2017-2019 [1]..... 1

รูปที่ 1-2 ตัวอย่างการบรรจุยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ ของบริษัทกรณีศึกษา ..... 2

รูปที่ 1-3 ตัวอย่างปัญหาจากการวางแผนงานที่ไม่แม่นยำ ..... 4

รูปที่ 1-4 อรรถประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ส่งออก ปี 2019 ..... 5

รูปที่ 1-5 อรรถประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ แยกตามผลิตภัณฑ์ ปี 2019 ..... 6

รูปที่ 1-6 อรรถประโยชน์ และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ส่งออกของผลิตภัณฑ์ยาง RE ปี 2019..... 7

รูปที่ 2-1 แนวคิดของวิธีการ Subset Selection [24]..... 25

รูปที่ 3-1 โครงสร้างองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา..... 29

รูปที่ 3-2 แผนที่แสดงที่ตั้งของคลังสินค้า ..... 32

รูปที่ 3-3 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา ..... 33

รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการส่งออกสินค้าของแผนกส่งออก ..... 37

รูปที่ 3-5 ตัวชี้วัดของระยะเวลาโดยรวม..... 38

รูปที่ 3-6 สารสนเทศที่ใช้ในการจัดการการขนส่ง ..... 40

รูปที่ 3-7 ตัวอย่างสัญลักษณ์บนแก้มยาง และสัญลักษณ์บอกสปีดาร์และปีที่ผลิต ..... 42

รูปที่ 3-8 วิธีการวัดยางสำหรับการบรรจุยางแบบตั้ง..... 44

รูปที่ 3-9 วิธีการวัดยางสำหรับการบรรจุยางแบบไขว้..... 45

รูปที่ 3-10 ความเสียหายที่เกิดจากการบรรจุยาง..... 47

รูปที่ 3-11 อัตราส่วนสินค้าที่ไม่สามารถบรรจุได้เทียบกับจำนวนยางที่วางแผน ในปี 2020 ..... 48

รูปที่ 3-12 สัดส่วนของปัจจัยที่ก่อให้เกิดการทำงานช้าซ้อนในปี 2020 ..... 49

รูปที่ 3-13 ความแตกต่างของปริมาณขนาด ยางนำเข้าเพื่อส่งออก ในปี 2020..... 50

รูปที่ 4-1 ตัวอย่างฐานข้อมูลบันทึกธุรกรรมการส่งออก ..... 53

รูปที่ 4-2 ฐานข้อมูลที่ใช้คำนวณปริมาณยาง ..... 54

รูปที่ 4-3 คำอธิบายขนาดทางกายภาพบนแก้มยาง [27] .....	55
รูปที่ 4-4 ขั้นตอนแปลข้อมูลลักษณะทางกายภาพของยางเพื่อใช้ในแบบจำลอง .....	58
รูปที่ 4-5 ปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปรของการจัดเรียงแบบตั้ง .....	61
รูปที่ 4-6 ปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปรของการจัดเรียงแบบไขว้ .....	64
รูปที่ 4-7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง.....	67
รูปที่ 5-1 ความสัมพันธ์ทางตรงระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง .....	70
รูปที่ 5-2 ความสัมพันธ์ส่วนกลับระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง .....	71
รูปที่ 5-3 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายทางตรง บรรจุแบบตั้ง .....	74
รูปที่ 5-4 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ บรรจุแบบตั้ง.....	75
รูปที่ 5-5 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ทางตรง บรรจุแบบตั้ง .....	77
รูปที่ 5-6 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ บรรจุแบบตั้ง .....	79
รูปที่ 5-7 Residual จากแบบจำลอง All Possible ทางตรง บรรจุแบบตั้ง .....	80
รูปที่ 5-8 Residual จากแบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ บรรจุแบบตั้ง.....	82
รูปที่ 5-9 ค่า $R^2_{adj}$ และ $C_p$ ของแบบจำลอง Best Subset Selection การบรรจุแบบตั้ง.....	83
รูปที่ 5-10 Residual จากแบบจำลอง Best Subset Selection .....	84
รูปที่ 5-11 ความสัมพันธ์ทางตรงระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ .....	86
รูปที่ 5-12 ความสัมพันธ์ส่วนกลับระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้.....	87
รูปที่ 5-13 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายทางตรง บรรจุแบบไขว้ .....	89
รูปที่ 5-14 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ บรรจุแบบไขว้.....	91
รูปที่ 5-15 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ทางตรง บรรจุแบบไขว้ .....	92
รูปที่ 5-16 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ บรรจุแบบไขว้.....	94
รูปที่ 5-17 Residual จากแบบจำลอง All Possible ทางตรง บรรจุแบบไขว้.....	96
รูปที่ 5-18 Residual จากแบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ บรรจุแบบไขว้.....	97
รูปที่ 5-19 ค่า $R^2_{adj}$ และ $C_p$ ของแบบจำลอง Best Subset Selection การบรรจุแบบไขว้.....	98

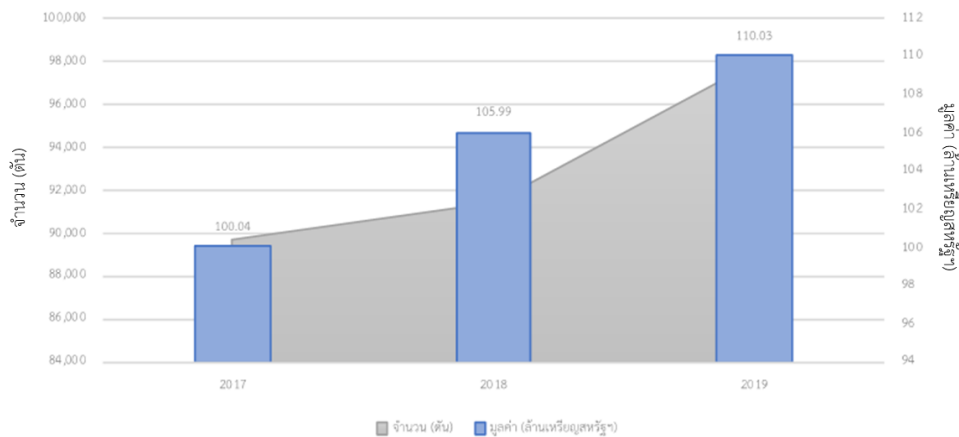
รูปที่ 5-20 Residual จากแบบจำลอง Best Subset Selection บรรจุแบบไขว้.....	99
รูปที่ 6-1 รูปและขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ ขนาด 40 ฟุตไฮคิวบ์ [28].....	105
รูปที่ 6-2 ภาพจำลองการบรรจุแบบตั้งในตู้คอนเทนเนอร์.....	107
รูปที่ 6-3 ภาพขยายการบรรจุแบบตั้งในตู้คอนเทนเนอร์.....	107
รูปที่ 6-4 กรณีของการจัดเรียงภายในแนวกว้างสำหรับการบรรจุแบบตั้ง .....	109
รูปที่ 6-5 การจำลองการบรรจุแบบไขว้.....	111
รูปที่ 6-6 ตัวอย่างสามเหลี่ยมคล้ายจากการบรรจุแบบไขว้ .....	112
รูปที่ 6-7 ความแตกต่างของการบรรจุต่างขนาด การบรรจุแบบตั้ง .....	116
รูปที่ 6-8 ความแตกต่างของการบรรจุต่างขนาด การบรรจุแบบไขว้ .....	117
รูปที่ 6-9 การบรรจุคละขนาด .....	122
รูปที่ 6-10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด การบรรจุแบบตั้ง .....	126
รูปที่ 6-11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด การบรรจุแบบไขว้.....	130
รูปที่ 6-12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด สิ้นค่านำเข้าเพื่อส่งออก บรรจุแบบตั้ง. 132	
รูปที่ 6-13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด สิ้นค่านำเข้าเพื่อส่งออก บรรจุแบบไขว้134	

# บทที่ 1

## บทนำ

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจโลก การส่งเสริมการลงทุนในอุตสาหกรรมยาง และการส่งเสริมการส่งออกสินค้า ทำให้ประเทศไทย สามารถส่งออกสินค้าและผลิตภัณฑ์ยานยนต์ ได้มากขึ้น โดยในปีค.ศ. 2019 มีอัตราการส่งออกสินค้า ยานยนต์ สูงเป็นอันดับที่ 5 ของโลก รองจากจีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และ เยอรมนี ซึ่งไทยมีมูลค่าการส่งออกในปี 2019 สูงกว่าร้อยล้านเหรียญสหรัฐฯ [1] หรือประมาณ สามพันสามร้อยล้านบาท อ้างอิงข้อมูลจากกรมการค้าไทย ดังแสดงในรูปที่

1-1



รูปที่ 1-1 ข้อมูลการส่งออกยางล้อรถยนต์จากไทย ในปี 2017-2019 [1]

เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มพบว่า ยอดการส่งออกมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2018 มีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้น 10% เมื่อเทียบกับปี 2017 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลงทุนของบริษัทต่างชาติ



นำของโลกในไทยเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการจ้างงาน และการซื้อวัตถุดิบ หรือยางสด จากเกษตรกรในไทย โดยจะทำให้เกิดเม็ดเงินมูลค่ามหาศาลไหลเข้าประเทศ ดังเช่นบริษัทกรณีศึกษาที่ทำการผลิตและกระจายยางรถยนต์สำเร็จรูป บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตยางรถยนต์ชั้นนำของโลกและมีโรงงานผลิตยางรถยนต์หลายแห่งในทวีปเอเชียรวมทั้งประเทศไทย นอกเหนือจากเป็นแหล่งผลิตแล้ว ประเทศไทยยังเป็นศูนย์กลางนำเข้าและกระจายยางรถยนต์ไปยังคลังสินค้าของบริษัทและโรงงานประกอบรถยนต์ในภูมิภาคเอเชียอีกด้วย

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นฐานการผลิตและส่งออกจะส่งไปยังประเทศต่าง ๆ ในทุกทวีป ขนส่งสินค้าทางเรือเป็นหลัก มีการส่งออกเฉลี่ยเดือนละ 1,000 ตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับยางทุกประเภท บริษัทกรณีศึกษามีวิธีการบรรจุสินค้า 2 วิธี ได้แก่ วิธีการบรรจุสินค้าแบบตั้ง (Stack หรือ Pile) และวิธีการบรรจุสินค้าแบบไขว้ (Lace) ดังแสดงในรูปที่ 1-2



ก) การบรรจุสินค้าแบบตั้ง (Stack)



ข) การบรรจุสินค้าแบบไขว้ (Lace)

รูปที่ 1-2 ตัวอย่างการบรรจุยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ ของบริษัทกรณีศึกษา

จากรูปที่ 1-2 วิธีการบรรจุสินค้าแบบตั้ง มีลักษณะวางเรียงแบบเต็มเส้นในชั้นล่าง โดยเริ่มวางเส้นแรกจากด้านใน-ล่าง-ซ้าย แล้วจึงซ้อนขึ้นไปเป็นชั้นในแนวตรงจนสุดเพดานของตู้คอนเทนเนอร์ วิธีการบรรจุชนิดนี้มักทำให้ยางคงรูป ไม่เสียหายระหว่างการขนส่ง มักใช้ในยางสำหรับลูกค้าที่เป็นบริษัทผลิตรถยนต์ และลูกค้าในประเทศที่มีอากาศหนาว เพื่อป้องกันยางเสียรูป เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ก) และวิธีการบรรจุสินค้าแบบไขว้ มีลักษณะไขว้กัน โดยจะวางยางหนึ่งเส้นเป็นฐานในชั้นล่างสุด แล้ววางยางเส้นอื่นพาดต่อกันมาจนครบชั้น จากนั้น จึงทำการวางแบบสลับขึ้นไปในช่องว่างตรงกลางยางซึ่งลักษณะนี้จะทำให้บรรจุสินค้าได้มากกว่า มักใช้ในประเทศที่มีคำสั่งซื้อในปริมาณมาก เพื่อเพิ่มอรรถประโยชน์ของตู้ เช่น จีน ไต้หวัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น พบว่า มีวิธีการคำนวณที่อาจทำให้เกิดความยุ่งยากและไม่แม่นยำ โดยวิธีการคำนวณปัจจุบัน คิดจากการนำยางหนึ่งขนาด บรรจุเต็มตู้ เมื่อทราบจำนวนเต็มตู้แล้ว จะนำมาคิดแบบเทียบบัญญัติไตรยางศ์ เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ของยางหนึ่งเส้นต่อตู้คอนเทนเนอร์ การความไม่แม่นยำของการคำนวณในลักษณะนี้ ส่งผลให้สินค้าเกิดการบรรจุไม่เพียงพอในตู้คอนเทนเนอร์ หรือสินค้าล้นตู้ ส่งผลต่อคำสั่งซื้อที่ไม่สามารถส่งได้ และต้องนำไปส่งในสัปดาห์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1-3 ก) หรือ พื้นที่ในตู้คอนเทนเนอร์เหลือมากเกินไป (Low Percentage Utilization of Container) ทำให้เหลือพื้นที่ที่สามารถจัดส่งยางได้ เกิดความไม่คุ้มค่าในการขนส่งและส่งผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 1-3 ข)

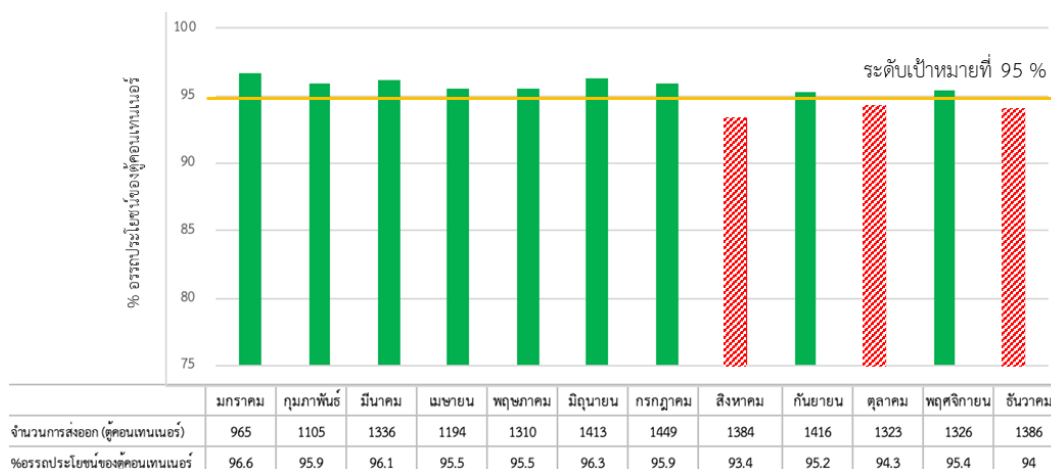


ก) สินค้าล้นตู้คอนเทนเนอร์

ข) พื้นที่ในตู้คอนเทนเนอร์เหลือมากเกินไป

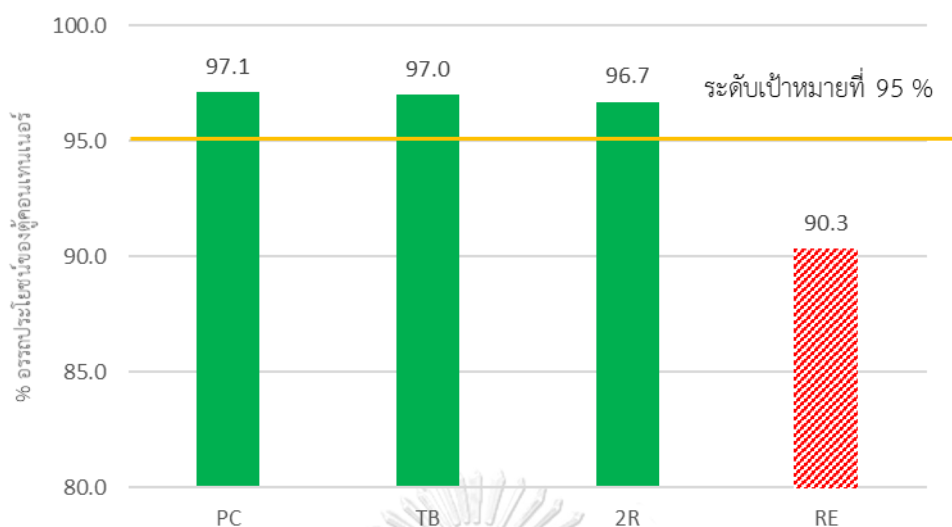
รูปที่ 1-3 ตัวอย่างปัญหาจากการวางแผนงานที่ไม่แม่นยำ

ตัวอย่างปัญหาจากรูปที่ 1-3 ทั้งสองกรณีข้างต้น ก่อให้เกิด การส่งมอบสินค้าไม่ได้เต็มจำนวน ตามที่ลูกค้าเปิดคำสั่งซื้อ เวลานำในการส่งสินค้านานขึ้น เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของผู้ต่ำเกินไป หรือ อาจเกิดความเสียหาย (Damage) กับยางในกรณีที่บรรจุแน่นเกินไป บริษัทกรณีศึกษาวิเคราะห์ กรณีทั้งสองโดยใช้เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ (Utilization) และตั้งเป้าหมายอยู่ที่ไม่ต่ำกว่า 95% ดัง แสดงในรูปที่ 1-4 ซึ่งกล่าวถึงเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์สำหรับทุกผลิตภัณฑ์ และ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ส่งออกทั้งหมดในปี 2019



รูปที่ 1-4 อัตราประโยชน์ของคู่คอนเทนเนอร์ และจำนวนคู่คอนเทนเนอร์ส่งออก ปี 2019

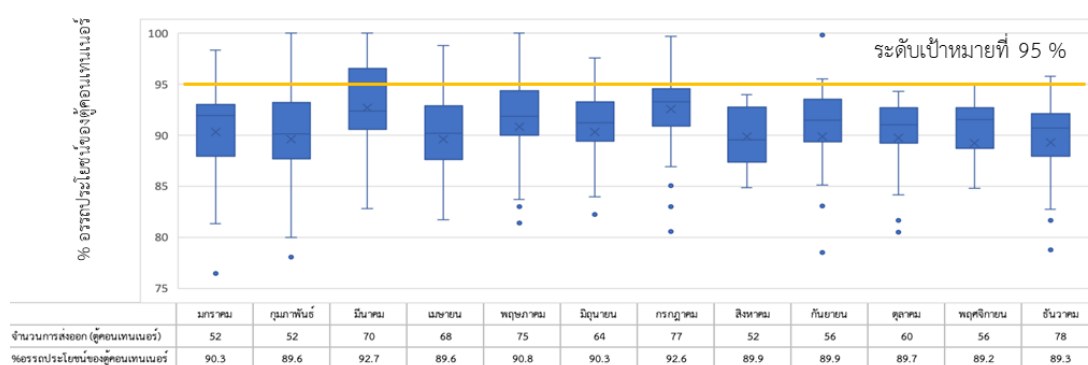
จากข้อมูลในรูปที่ 1-4 พบว่า มีเพียงเดือนสิงหาคม และเดือนธันวาคมเท่านั้น ที่ไม่บรรลุเป้าหมาย เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรวมทั้งปี โดยแยกตามผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่มยางล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถกระบะบรรทุกทุกเล็ก (Passenger Car Tyre and Light Truck Tyre : PC), กลุ่มยางล้อรถบรรทุกและรถโดยสารขนาดใหญ่ (Truck and Bus Tyre :TB), กลุ่มยางรถจักรยานยนต์และรถ 2 ล้อ (Motorcycle Tyre and 2 Wheel Tyre : 2R), กลุ่มยางนำเข้าเพื่อการส่งออก ( Re-Export Tyre : RE) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถบรรลุระดับเป้าหมายที่ 95% และเป็นตัวถ่วงให้ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้แก่ ยางที่นำเข้าเพื่อการส่งออก ดังรูปที่ 1-5 ซึ่งแสดงถึง เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของคู่คอนเทนเนอร์ปี 2019 แยกตามผลิตภัณฑ์ โดยยางนำเข้าเพื่อการส่งออก มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ทั้งปี อยู่ที่ 90.33 % ซึ่งมีค่าไม่ผ่านระดับเป้าหมาย และยังมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น



รูปที่ 1-5 อัตราประโยชน์ของผู้คอนเทนเนอร์ แยกตามผลิตภัณฑ์ ปี 2019

จากรูปที่ 1-5 พบว่ายังนำเข้าไปเพื่อการส่งออก มีอัตราประโยชน์ต่ำสุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น แม้ว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มส่งออกมีวิธีการคำนวณปริมาณอย่างต่อเนื่องที่เหมือนกัน สมมติฐานเบื้องต้นของข้อมูลดังกล่าวคือข้อมูลที่ต่างกัน เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ทำการผลิตในประเทศ ส่งผลให้มีปริมาณน้อยในแต่ละขนาดของยาง จึงไม่สามารถใช้วิธีการสร้างฐานข้อมูลในการคำนวณจากวิธีการเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาคือ การคำนวณเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ต่อผู้คอนเทนเนอร์มีความไม่แม่นยำ เกิดสินค้าล้นตู้จากการวางแผนงานด้วยเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ที่ 95 % และไม่สามารถขนส่งไปได้ทั้งหมดตามที่ได้คำนวณเพื่อวางแผนได้ และปัจจัยอื่น เช่น ความหลากหลายของขนาดในหนึ่งตู้คอนเทนเนอร์ และความสามารถในการบรรจุยางของพนักงาน ก่อให้เกิดการทำงานที่ซ้ำซ้อน ทั้งในด้านการทำเอกสารเพื่อดำเนินพิธีการทางศุลกากรขาออก และการนำยางไปเก็บยังตำแหน่งจัดเก็บเดิมที่เคยนำออกมา จากการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับค่าเฉลี่ยทั้งปี 2019 ของยางนำเข้าเพื่อการส่งออกในแต่ละเดือน พบว่า ไม่มีเดือนใดที่สามารถทะลุเป้าหมายของเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ได้ แต่มีบางตู้คอนเทนเนอร์ที่สามารถมีเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ ที่ 100% เนื่องจาก

เป็นการบรรจุสินค้าแบบขนาดเดียวเต็มตู้ ดังรูปที่ 1-6 ซึ่งแสดงถึงเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ ของ ตู้คอนเทนเนอร์ และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ส่งออก ของผลิตภัณฑ์ยางนำเข้าไปส่งออก ในปี 2019



รูปที่ 1-6 อรรถประโยชน์ และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ส่งออกของผลิตภัณฑ์ยาง RE ปี 2019

ดังนั้น การปรับปรุงการคำนวณฐานข้อมูลให้แม่นยำ จึงสามารถช่วยให้ข้อมูลเป็นปัจจุบันและช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์อรรถประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์สมเหตุสมผล โดยงานวิจัยนี้จะดำเนินการปรับปรุงวิธีการคำนวณปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ที่นำมาใช้เป็นฐานข้อมูล และการพัฒนาฐานข้อมูลที่นำมาใช้ให้เป็นปัจจุบัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

พัฒนาการคำนวณขนาดยางในตู้คอนเทนเนอร์ และปรับปรุงขั้นตอนการวางแผนงาน เพื่อให้ข้อมูลเป็นปัจจุบันและการคำนวณเปอร์เซ็นต์อรรถประโยชน์ที่แม่นยำมากขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- ศึกษาयरถยนต์นั่งส่วนบุคคล และรถกระบะบรรทุกเล็กเพื่อการส่งออก
- ศึกษาวิธีการคำนวณ การจัดเรียง และขั้นตอนการบรรจุยางในตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุตไฮ

คิวบ์

- ผลิตภัณฑ์ประเภทยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และยางกระบรถทุกเล็กที่ทำการศึกษา เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา
- ศึกษาวิธีการบรรจุยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ มี 2 วิธี ได้แก่ การบรรจุแบบแบบตั้ง (Pile) และการบรรจุแบบไขว้ (Lace)

#### 1.4 ผลที่ได้รับ

- วิธีการสร้างฐานข้อมูลการคำนวณปริมาณยาง

#### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- สามารถเข้าใจความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์
- ลดความสูญเสียจากการทำงานซ้ำซ้อน ในระหว่างการวางแผน
- เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์สำหรับการส่งออกเพิ่มขึ้น โดยปราศจากความเสียหายของยางระหว่างการขนส่ง

#### 1.6 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

- ศึกษาขั้นตอนการคำนวณ แนวคิดของโปรแกรมในปัจจุบัน และการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ รวมไปถึง ระยะเวลาการดำเนินการ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการขนส่ง เพื่อเข้าใจในกระบวนการส่งออกของสินค้าทั้งหมด
- ศึกษาข้อมูลและวิธีการ การบรรจุสินค้า ณ หน่วยงานจริง
- เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ปัญหา จากการศึกษาข้อมูลการส่งออกย้อนหลัง
- เก็บข้อมูลขนาดของสินค้าชนิดใหม่ที่เข้ามาในคลังสินค้า เพื่อสร้างฐานข้อมูล
- กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการคำนวณขนาดสินค้า เพื่อเทียบกับการคำนวณแบบเดิม

- ทดลองใช้งานโปรแกรมทั้งสองไปควบคู่กัน เพื่อศึกษาผลการทดลอง
- ติดตามผลระหว่างการทำงานทั้ง 2 วิธี วิเคราะห์ข้อมูล ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น
- สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยในอนาคต





## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีซึ่งเกี่ยวกับการจัดการโซ่อุปทาน การส่งออก และการคำนวณด้วยแบบจำลองสมการถดถอยหลายตัวแปร รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการบรรจุ

#### 2.1 การจัดการโซ่อุปทาน

การจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management : SCM) เป็นคำที่มีผู้นิยมเริ่มใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ช่วงค.ศ. 1980 [2] ซึ่งหมายถึงการบูรณาการของกระบวนการทางธุรกิจที่เริ่มต้นจากผู้บริโภคชั้นสุดท้ายผ่านไปจนกระทั่งถึงผู้จัดจำหน่ายชั้นแรกสุดที่ทำหน้าที่จัดหาสินค้า บริการ และสารสนเทศ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ผู้บริโภค ข้อแตกต่างสำคัญระหว่างการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ คือ การจัดการโซ่อุปทานเป็นการจัดการกระบวนการทางธุรกิจหลักทุกประเภทที่เชื่อมโยงระหว่างสมาชิกทุกหน่วยที่อยู่ภายใต้โซ่อุปทาน และเป็นแนวทางการจัดการธุรกิจที่ค่อนข้างใหม่กว่า อีกทั้งมีขอบเขตกว้างกว่าโลจิสติกส์ โดยโลจิสติกส์จะเน้นแต่เพียงด้านการขนส่งเสียมากกว่า

#### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจัดการโซ่อุปทานจึงเป็นการจัดการเชิงระบบโดยอาศัยแนวคิดเชิงบูรณาการที่รวบรวมกิจกรรมที่เกี่ยวข้องของการไหลของวัสดุ บริการ และสินค้าตั้งแต่หน่วยงานต้นน้ำ (Upstream) และหน่วยงานปลายน้ำ (Downstream) ที่ต้องมีการติดต่อประสานงานกันระหว่างหน่วยงานต่างๆ มีความซับซ้อน และต้องอาศัยการพิจารณาเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยของการปรับกิจกรรมบางอย่างภายในโซ่อุปทาน

#### 2.2 การส่งออกสินค้า

การส่งออกสินค้า (Export) หมายถึงการค้าขายสินค้าไปยังประเทศอื่น องค์กรสามารถว่าจ้างคนกลางอิสระด้านการตลาดซึ่งเป็นลักษณะของการส่งออกทางอ้อม (Indirect Exporting) หรือจะทำ

การตลาดด้วยตัวเอง (Direct Exporting) ก็ได้ [3] เนื่องจากกิจการที่ส่งออกนั้นได้รับมอบหมายให้ ผู้รับจัดการขนส่ง (Freight Forwarder) ผู้กระจายสินค้า (Distributor) กิจการผู้ค้า (Trading Company) และหน่วยงานอื่น ๆ ทำหน้าที่ทางโลจิสติกส์และการตลาดแทน

การจัดการสินค้าส่งออก จะจัดการผ่านตัวแทนศุลกากร (Customshouse Broker) จัดการ เอกสารที่และดำเนินพิธีการทางศุลกากร ตัวอย่างของเอกสารที่ใช้เพื่อดำเนินการมีดังนี้

- Commercial Invoice เป็นเอกสารออกโดยผู้ขายสินค้า เพื่อใช้ตรวจสอบว่ารายการใดต้องมีการชำระเงิน และมีความจำเป็นในการนำสินค้าผ่านด่านเป้าหมาย
- Packing list เป็นเอกสารออกโดยผู้ส่งออก เพื่อแสดงรายละเอียดของการบรรจุภัณฑ์ในการส่งออก
- Certificate of Origin เป็นเอกสารที่ออกโดยผู้ส่งออกหรือผู้ขนส่งสินค้าในนามผู้ส่งออก เนื่องจากบางประเทศต้องการคำรับรองแหล่งกำเนิดของสินค้า เพื่อการวิจัยทางด้านสถิติหรือการประเมินภาษีโดยเฉพาะเมื่อมีข้อตกลงทางการค้า
- Ocean Bill of Landing (B/L) ออกโดยสายการบิน เพื่อใช้เป็นสัญญาในการขนส่งระหว่างผู้ส่งสินค้า กับผู้ขนส่ง ความรับผิดชอบกฎหมายและการจำกัดภาระสำหรับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการขนส่ง B/L สามารถใช้เป็นหลักฐานแสดงกรรมสิทธิ์ในสินค้าตามชื่อที่ปรากฏในเอกสาร และยังแสดงรายละเอียดในการจัดส่ง เช่น จำนวนชิ้น น้ำหนัก จุดหมายปลายทาง

เงื่อนไขในการขนส่งสินค้า (Terms of Trade) หรือเงื่อนไขทางการขาย ต้องถูกระบุอยู่ใน เอกสารการส่งออก โดยเงื่อนไขดังกล่าวจะกำหนดว่าใครจะเป็นผู้รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอนการจัดส่ง รับความเสี่ยง และชำระเงินในแต่ละขั้นตอนของการส่งสินค้า โดยเงื่อนไขการส่งสินค้านี้ระหว่าง

ประเทศถูกกำหนดโดยสภาหอการค้าสากล (International Chamber of Commerce) มีตัวอย่าง ดังนี้

- EX-Works (EXW) : ผู้ขายจะหมดภาระหน้าที่ต่อเมื่อได้ส่งมอบสินค้าให้ผู้ซื้อ ณ สถานที่ของผู้ขายเอง เช่น ที่โรงงานหรือคลังสินค้าของผู้ขาย ซึ่งผู้ขายไม่ต้องรับผิดชอบในการขนส่งสินค้าขึ้นยานพาหนะที่ผู้ซื้อจัดมา ผู้ขายจะต้องจัดทำ Commercial Invoice หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ได้เหมือนกับ Commercial Invoice เพียงเท่านั้น
- Free on Board (FOB) : ผู้ขายสินค้าจะหมดภาระก็ต่อเมื่อได้นำสินค้าไปส่งมอบลงไว้ในเรือ ณ ท่าเรือที่ระบุไว้ รวมทั้งผ่านพิธีการและเสียภาษีส่งออก หากสินค้าต้องขออนุญาตส่งออกก็ต้องจัดทำใบอนุญาตส่งออกให้ ส่วนผู้ซื้อจะต้องรับภาระค่าใช้จ่ายและความเสี่ยงจากจุดที่ผู้ขายนำสินค้ามาส่งมอบไว้ในระหว่าง และจ่ายค่าระวางเรือเมื่อสินค้าถึงปลายทาง รวมทั้งต้องดำเนินการจัดทำใบอนุญาตนำเข้าผ่านพิธีการทางศุลกากรขาเข้าและเสียภาษีนำเข้าประเทศของตน
- Free Carrier (FCA) : ผู้ขายจะต้องรับผิดชอบขนส่งสินค้าขึ้นไปบนยานพาหนะที่ผู้ซื้อจัดหา โดยผู้ขายจะหมดภาระต่อเมื่อส่งมอบสินค้าให้อยู่ในความรับผิดชอบของผู้รับขน (Carrier) ณ สถานที่ที่ผู้ซื้อได้ตกลงกับผู้ขายไว้ และทำพิธีการทางศุลกากรและเสียภาษีส่งออกให้ด้วย
- Carriage and Insurance Paid (CIP) : ผู้ขายจะหมดภาระก็ต่อเมื่อได้นำสินค้าทั้งหมดไปส่งมอบให้อยู่ในความดูแลของ Carrier ณ สถานที่ที่ได้ระบุไว้ โดยผู้ขายเป็นผู้จองและจ่ายค่าระวางเรือเพื่อนำสินค้าไปยังสถานที่ปลายทางดังกล่าว และผู้ขายจะต้องจัดทำเอกสารขาออก พร้อมทั้งขออนุญาตส่งออกและเสียภาษีส่งออก ส่วนผู้ซื้อจะต้องดำเนินพิธีศุลกากรและเสียภาษีนำเข้าประเทศปลายทาง

พิกัดอัตราทางศุลกากร (Harmonize Code : HZ Code) เป็นระบบการจำแนกประเภท และระบุชนิดสินค้าด้วยรหัสตัวเลข 6 หลัก สำหรับแจ้งภาษีอากร ซึ่งประกาศใช้โดย องค์การศุลกากร โลก (World Customs Organization : WCO) และระบบนี้ได้รับการยอมรับจากองค์การการค้าโลก (World Trade Organization : WTO) จึงได้นำมาใช้เป็นสากลทางการค้าระหว่างประเทศ โดยที่ ประเทศไทยเป็นภาคีสมาชิกองค์การ ศุลกากรโลกและเป็นภาคีอนุสัญญาาระบบฮาร์โมนีของ องค์การศุลกากรโลก โดยพิกัดอัตราทางศุลกากร สำหรับสินค้าประเภทยานยนต์นั่งส่วนบุคคล จะ ใช้พิกัดอัตราทางศุลกากรคือ 4011.10.00

เขตการค้าเสรี (Free Trade Area : FTA) หรือ เขตการค้าระหว่างประเทศ เป็นเขตกิจการที่ สามารถส่งสินค้าโดยสามารถเลื่อนเวลาในการจ่ายภาษีศุลกากรหรือลดค่าภาษีศุลกากรได้ สินค้าใน FTA ไม่ต้องชำระค่าภาษีจนกว่าจะได้มีการส่งสินค้าภายในเขตสินค้านี้ดังกล่าวไปยังประเทศเป้าหมาย เพื่อลดอุปสรรคทางการค้าระหว่างประเทศและอำนวยความสะดวกทางการค้า

### 2.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และการเลือกใช้แบบจำลองสมการถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรเพื่อพยากรณ์ โดยตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์คือตัวแปรตาม และตัวแปรที่ใช้ในการ พยากรณ์คือตัวแปรอิสระ ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นหากมีตัวแปรอิสระที่ใช้พยากรณ์เพียงตัว แปรเดียวเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) แต่หากมี ตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปจะเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) รูปแบบของสมการจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร กำหนดให้  $Y$  เป็นตัวแปร ตามหรือผลลัพธ์ที่เราคาดหวัง ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่ม มีการกระจายตัวแบบปกติ และตัวแปร  $X$  เป็นตัว แปรต้นหรือตัวแปรพยากรณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน กำหนดให้มีจำนวนพจน์  $p$  สามารถเขียนรูปสมการได้ ดังสมการที่ 2-1 [4]

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{p-1} x_{p-1} + \epsilon \quad (2.1)$$

สมการที่ 2-1 แสดงถึงรูปแบบของสมการการถดถอย ซึ่งเกิดจากการสร้างแบบจำลองการถดถอยในการวิเคราะห์ตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งบางครั้งอาศัยประสบการณ์ในการตัดสินใจเลือกตัวแปร โดยปกติแล้วมักจะเลือกตัวแปรที่คิดว่าสำคัญเพื่อให้ตัวแปรตามหรือผลลัพธ์มีการตอบสนองที่เพียงพอ ดังนั้นการเลือกตัวแปร คือการคัดกรองตัวแปรที่เป็นตัวเลือกเพื่อให้ได้สมการถดถอยที่มีชุดตัวแปรที่ดีที่สุด เพื่อนำไปสู่การสร้างสมการเพื่อการพยากรณ์ได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ ในทางกลับกัน ควรมีจำนวนตัวแปรที่น้อยที่สุดคือมีเฉพาะตัวแปรที่สำคัญ เพื่อง่ายต่อการคำนวณของสมการ อย่างไรก็ตาม มักไม่มีสมการที่มีตัวแปรที่ดีที่สุดแต่จะมีตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสมการการคำนวณ [5] ซึ่งมีเทคนิคการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมได้หลากหลายวิธี เช่น

### 2.3.1 เทคนิคการสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรง

- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งการศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่สามารถร่วมพยากรณ์หรืออธิบายการผันแปรของตัวแปรตามได้โดยการวิเคราะห์หาค่าสำคัญของตัวแปร ซึ่งอาจใช้การเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) หากตัวแปรที่เลือกมีนัยสำคัญก็จะส่งผลต่อค่าที่ต้องการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น และยังเป็น การลดตัวแปรที่ไม่จำเป็น เพื่อให้รูปสมการมีความไม่ซับซ้อน และง่ายต่อการคำนวณ

- All Possible Regression (วิธีเลือกทุกตัวแปรที่เป็นไปได้) เป็นวิธีการปรับสมการถดถอยโดยการทดลองใส่ทีละตัวแปรเข้าไปในสมการแล้วพิจารณาว่าตัวแปรเหล่านี้ส่งผลต่อสมการอย่างไร มีนัยสำคัญและเป็นไปตามหลักสถิติหรือไม่ เพื่อเลือกแบบจำลองการถดถอยที่ดีที่สุด หากมีตัวแปรที่ทำ

การทดลอง  $k$  ตัว จะต้องทำการทดสอบทั้งหมด  $k^2$  ครั้ง เช่น มีตัวแปรที่ต้องการศึกษา  $k=4$  จะมีสมการถดถอยที่เป็นไปได้  $2^4=16$  สมการ หรือ  $k=10$  จะมีสมการถดถอยที่เป็นไปได้  $2^{10} = 1,024$  สมการ ดังนั้นจำนวนสมการที่ต้องตรวจสอบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีตัวแปรมากขึ้น

- Stepwise Regression (การถดถอยแบบขั้นตอน เป็นวิธีการเลือกตัวแปรที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย วิธีการนี้จะสร้างลำดับของตัวแบบการถดถอยเข้าไปเข้ามาโดยการเพิ่มหรือลบตัวแปรในแต่ละขั้นตอน เกณฑ์ในการเพิ่มหรือลบตัวแปรในขั้นตอน มักจะแสดงในรูปแบบ F-test โดย  $f_{in}$  เป็นค่าของตัวแปรสุ่มที่เพิ่มลงในสมการ และให้  $f_{out}$  เป็นค่าของตัวแปรสุ่มที่ลบออกจากสมการ ผลลัพธ์ที่ได้ควรมี  $f_{in} \geq f_{out}$  ซึ่งสามารถคำนวณค่า F ได้ดังสมการที่ 2-2

$$f_{in} = \frac{SSR(\beta_j | \beta_1, \beta_0)}{MS_E(x_j, x_1)} \quad (2-2)$$

การถดถอยแบบขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลองตัวแปรเดียว โดยใช้ตัวแปรการถดถอยที่มีความสัมพันธ์สูงสุดกับตัวแปรตาม  $Y$  กล่าวคือเป็นตัวแปรที่ก่อให้เกิดค่า  $F$  สูงสุด ตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนแรกที่ตัวแปร  $x_1$  ถูกเลือก ในขั้นตอนที่สอง จำนวนตัวแปรที่เป็นตัวเลือกที่เหลือ  $K - 1$  ตัว จะถูกเลือกมาสร้างในสมการถัดไปที่จะตัวแปร หากพบว่าตัวแปรใดที่สร้างสมการที่มีผลลัพธ์  $f_{in} < f_{out}$  ตัวแปรนั้นจะไม่ถูกเลือกมาสร้างสมการถดถอย วิธีการนี้มักคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจากต้องมีการวิเคราะห์หลายขั้นตอน

- Best Subset Selection (วิธีการเลือกตัวแปรที่ดีที่สุด) เป็นวิธีการเลือกตัวแปรที่นำมาใช้พยากรณ์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์และเงื่อนไขที่วางไว้ เช่น พิจารณาค่า  $R^2$  ที่สูงที่สุด ค่า  $MSE$  ที่ต่ำที่สุด หรือพิจารณาจากค่า Mallows's  $C_p$  และ AIC [6] ซึ่งเป็นวิธีการที่รวดเร็วและมี

คุณภาพ ในการกำหนดขอบเขตของตัวแปรเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น โดยสามารถกำหนดจำนวนตัวแปรที่สนใจได้ตั้งแต่เริ่มต้นทำการทดลอง ซึ่งวิธีนี้มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถรองรับข้อจำกัดในทางปฏิบัติต่างๆ เช่น ข้อจำกัดด้านตัวเลขของตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ (Limiting the Number of Predictor Variables) และ ข้อจำกัดของโครงสร้างสหสัมพันธ์ที่ต้องการ (Limiting the Correlation Structure Desired) [7]

### 2.3.2 เกณฑ์การเลือกแบบจำลองสมการถดถอยที่เหมาะสม

หนึ่งในปัญหาที่สำคัญของสมการถดถอยคือการเลือกแบบจำลองเพื่อนำมาใช้สร้างสมการ การใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองเป็นวิธีการเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการถดถอยโดยการพิจารณาจากเกณฑ์การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม ดังนี้

- ค่า R - Square และค่า ปรับแต่งของ R-Square คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ใช้ตรวจสอบแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมแก่การนำมาพยากรณ์ ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 2-3

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2-3)$$

จากสมการแสดงวิธีการคำนวณค่า  $R^2$  โดย คือ SSR ผลรวมกำลังสองถดถอย SSE คือผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน และ SST คือผลรวมกำลังสองทั้งหมด ซึ่งแบบจำลองที่มีค่า  $R^2$  สูงนั้นหมายความว่า เป็นตัวแบบที่มีประสิทธิภาพที่ดี แต่ในขณะเดียวกัน ค่า  $R^2$  จะเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่มีจำนวนพจน์ของตัวแปรสูงขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดความซับซ้อนที่ไม่จำเป็นในสมการถดถอย จึงได้มีค่าปรับแต่งของค่า  $R^2$  (R-Square Adjusted :  $R^2_{adj}$ ) ซึ่งมีพื้นฐานการคำนวณจาก  $R^2$  ดังสมการที่ 2-4

$$R^2_{adj} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p} \right) \frac{SSE}{SST} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p} \right) (1-R^2) \quad (2-4)$$

จากสมการจะเห็นว่า  $R^2_{adj}$  มีการคำนวณคล้ายกับ  $R^2$  แต่ค่าจะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนตัวแปร มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่า  $R^2_{adj}$  ใช้หลักการเดียวกับค่า  $R^2$  คือ ยิ่งมีค่ามาก แบบจำลองยิ่งเหมาะสม

- ค่าเฉลี่ยกำลังสองความคลาดเคลื่อน (Mean Square Error : MSE) คือค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนนำไปยกกำลังเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดของความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากการหักล้างของทิศทางของข้อมูล พิจารณาแบบจำลองที่ดีที่สุดจากค่า MSE ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 2-5

$$MSE = \frac{SSE}{n-p} \quad (2-5)$$

- รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) มีคุณสมบัติที่คล้ายกับ MSE แต่เพิ่มเติมคือการนำ MSE มาถอดรากที่สอง ซึ่งทำให้เปรียบเทียบตัวเลขได้ง่ายกว่าค่า MSE เนื่องจากข้อมูลไม่มีการยกกำลังสอง ข้อมูล พิจารณาแบบจำลองที่ดีที่สุดจากค่าน้อยที่สุด

- ค่า  $C_p$  ของ Mallows เป็นเกณฑ์ที่พิจารณาจำนวนตัวแปรของแต่ละแบบจำลองย่อย เทียบกับแบบจำลองหลัก โดยเป็นการเปรียบเทียบ ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน กับ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองของแบบจำลองเต็มรูปแบบ (Full Model) ซึ่งก็คือแบบจำลองการถดถอยซึ่งประกอบด้วยตัวแปรอิสระทั้งหมดที่ทำการศึกษา เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด พิจารณาจากค่า  $C_p$  ที่มีค่าน้อยที่สุด มีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 2-6

$$C_p = \frac{SSE}{MSE} - n + 2p \quad (2-6)$$



เมื่อทราบเกณฑ์การคัดเลือกตัวแปรแล้ว จะสามารถหาแบบจำลองเพื่อสร้างสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดได้จากวิธีการสร้างแบบจำลองและเกณฑ์ข้างต้น

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีแนวคิดหลักที่เกี่ยวกับการขนส่งและการบรรจุสินค้าอยู่ 3 ส่วน ได้แก่

- ด้านการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์
- ด้านการจัดส่งสินค้าและการส่งออก
- ด้านการเลือกตัวแปรแบบ Subset Selection และการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

### 2.4.1 ด้านการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์

ปัญหาการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ (Container Loading Problem : CLT) คือการหาความเหมาะสมในการบรรจุกล่องเล็ก เข้าสู่กล่องขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาดตายตัวหรือเรียกว่าคอนเทนเนอร์ มักมีปัญหาคือเป็นที่รู้จักคือ ปัญหาการบรรจุแถบ (Strip Packing) ที่มักประยุกต์ใช้กับการจัดส่งหลายปลายทาง ปัญหาถุงกระสอบ (Knapsack Loading Problem) ที่เป็นการเลือกสินค้าเข้าสู่ตู้คอนเทนเนอร์เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด ปัญหาการบรรจุถุงขยะ (Bin-Packing Problem) เป็นการบรรจุสินค้าทั้งหมด โดยใช้จำนวนตู้คอนเทนเนอร์น้อยที่สุด และปัญหาจากความหลากหลายสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ (Multi-Container Loading Problem) มีลักษณะคล้ายกับปัญหาการบรรจุถุงขยะ แตกต่างกันที่ความหลากหลายของขนาดของสินค้า มีจุดประสงค์เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดได้ ทำการทดลองโดยแก้ปัญหาถุงกระสอบ สิ่งที่ต้องการได้แก่ จำนวนกล่องที่อยู่ในชั้นล่างสุด จำนวนจากชั้นล่างถึงขอบบน และจำนวนจนถึงท้ายตู้ กล่องสามารถหมุนได้ จากนั้นดำเนินการ 2 วิธีการ เริ่มจากการวางสินค้าชิ้นแรก ชิดขอบกำแพงของตู้คอนเทนเนอร์ (Wall-Building Algorithm) แล้วค่อยวาง

ถอยย้อนกลับมาจนเต็มตู้ (Backtracking Step) โดยการนำกล่องใหญ่บรรจุก่อน และอันดับต่อมา คือ การทดลองการคำนวณ โดยใช้แผนผังต้นไม้ เพื่อหาจำนวนแถว และความกว้างของแต่ละชุดการจัดเรียง เมื่อได้วิธีการคำนวณ นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนหน้า พบว่าสามารถบรรจุได้มากขึ้น และการเลือกสินค้าที่บรรจุก่อนหรือหลัง ได้ปรับปรุงให้พิจารณาจาก ขนาด และ ปริมาณการขนส่งสูงสุด เพื่อให้วิธีการคำนวณมีประสิทธิภาพมากขึ้น [8]

อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญของการส่งออกนอกจากจะคำนึงถึงต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดแล้ว คือ สินค้าพิเศษ อันได้แก่ ของที่มีอายุการขายสั้นเช่นสินค้า Fashion และของที่มีอายุการใช้งาน หรือ Shelf Life จำเป็นต้องส่งก่อนหากเป็นไปได้ ส่วนสินค้าอื่นหากพบว่าไม่สามารถบรรจุให้เต็ม Container ได้ จะจัดส่งในรอบการส่งถัดไป จึงนับเป็นปัญหาเรื่อง MCLPP (Multiple Container Loading Problem with Preference) โดยแก้ปัญหาของการวิจัยด้วยการแบ่ง ออกเป็น 2 ช่วงได้แก่ ประเมินวิธีการที่มีแนวโน้มการใช้พื้นที่สูงสุดโดยพิจารณาจากค่าสถิติย้อนหลังที่มีประสิทธิภาพ และ ทาวิธีการที่เป็นไปได้โดยใช้แบบจำลองรูปภาพการบรรจุ 3 มิติมาใช้ โดยจุดเด่นของงานวิจัยฉบับนี้คือ การประเมินค่าเฉลี่ยของความสามารถในการบรรจุของแต่ละตู้คอนเทนเนอร์ และนำมาเป็นค่าตั้งต้นของการวางแผนการบรรจุ เพื่อให้วิธีการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้จริง [9]

ด้านของอุตสาหกรรมยานยนต์โดยยกตัวอย่างกรณีศึกษาโรงงานผลิตรถยนต์แห่งหนึ่งที่มีโรงงานอยู่หลายแห่งทั่วโลก พบว่าไม่ใช่ทุกโรงงานที่จะมีอะไหล่ (Parts) เพียงพอต่อการผลิตในแต่ละวัน ในทุกวัน จึงต้องมีการขนส่งจำนวนมาก ระหว่างโรงงานทั่วโลก โดยวิธีการบรรจุในรถบรรทุกและตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งสิ่งที่ท้าทายที่สุดคือการบรรจุชิ้นส่วนให้ได้อย่างคุ้มค่าที่สุดเพื่อเป็นการทำให้รอบการขนส่งลดน้อยที่สุด จากการวิจัยพบว่าปัญหาส่วนมากเกิดจากการบรรจุ โดยนำหลักการด้าน

เราคาดคิดว่าใช้เพื่อป้องกันสินค้าเหลื่อมกันในแต่ละชั้นและเสียหายจากการบรรจุ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดอื่นซึ่งเกี่ยวข้องกับการวางสินค้า โดยวางสินค้าในแนวราบ จากนั้นซ้อนเป็นชั้นสูงขึ้นไป และทำเช่นนี้ซ้ำกันจนเต็มตู้คอนเทนเนอร์ โดยคำนึงถึงข้อจำกัดทางด้านน้ำหนักบรรจุรวม และน้ำหนักของสินค้าที่อยู่ชั้นบนไม่ให้ทำให้สินค้าที่อยู่ชั้นล่างเสียหาย [10]

นอกเหนือจากการบรรจุในลักษณะกล่องแล้ว การบรรจุอีกรูปแบบหนึ่งที่เป็นที่แพร่หลายและนิยมใช้กันก็คือการบรรจุแบบพาเลทลงในตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งบริษัทแห่งหนึ่งได้ทำการวิเคราะห์ด้วย สมการถดถอยแบบเส้นตรง Integer Linear Model โดยมีข้อจำกัด 3 ได้แก่ รูปทรง, น้ำหนัก และ ความสมดุลของพาเลท เพื่อให้พาเลทสามารถวางได้ในรถบรรทุกแบบไม่เหลื่อมกัน น้ำหนักบรรทุกทุกในระดับที่รถบรรทุกสามารถบรรทุกได้ และตำแหน่งศูนย์กลางของรถอยู่ในจุดสมดุล โดยสุดท้ายช่องว่างระหว่างพาเลทที่น้อยที่สุด, สินค้าไม่เกิดการเสียหายระหว่างการขนส่ง และความสูงของการจัดเรียงภายในชั้นที่เท่ากัน ตัดสินใจโดยการวิเคราะห์จากตัวอย่างที่มีน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเพื่อนำมาใช้อ้างอิงในการสร้างแบบจำลอง [11]

สำหรับสินค้าที่มีการขนส่งแบบหลายปลายทาง การคำนึงถึงเส้นทางการขนส่ง ถือเป็นส่วนหนึ่งของการลดต้นทุนการขนส่ง ดังเช่นงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการบรรจุเครื่องดื่มขวดให้เป็นแพ็ค โดยมองให้มีลักษณะเป็นกล่อง การขนส่งในหนึ่งรอบจะขนส่งที่หลายประเภทหรือกล่องหลายขนาด โดยใช้ข้อมูลจริงจากบริษัทน้ำอัดลมแห่งหนึ่ง ความสูงภายในชั้นแต่ละชั้นต้องเท่ากันและมีกระดาษลูกฟูกคั่นกลางระหว่างชั้น น้ำหนักบรรจุของตำแหน่งต่างๆในคอนเทนเนอร์เพื่อให้ได้สมดุลในการบรรจุ นอกจากนี้ยังศึกษาความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนแปลงเส้นทางหากพบว่าการบรรจุเพื่อขนส่งในเส้นทางเดิมนั้นไม่ก่อให้เกิดความคุ้มค่า [12]

ด้วยข้อจำกัดหลากหลายที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ โดยได้ศึกษาข้อจำกัดโดยการเก็บข้อมูลการศึกษาย้อนหลังสำหรับงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษในระดับนานาชาติ ตั้งแต่ปี 1980 ถึงปี 2011 ซึ่งปัญหาการบรรจุสินค้า สามารถอธิบายได้ด้วย หลักทางเรขาคณิต 3 มิติ กล่าวคือ การนำสินค้าชิ้นเล็กไปบรรจุในกล่องขนาดใหญ่ที่มี 3 มิติในลักษณะเหลี่ยมหรือเรียกว่าคอนเทนเนอร์ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าที่สุดและสามารถบรรจุไปได้โดยสิ่งของไม่เสียหาย อาจมีข้อกำหนดเพิ่มเติม เช่น สินค้าทุกชิ้นต้องวางในลักษณะไม่เหลื่อมกัน ซึ่งจากรูปแบบการบรรจุแบบเต็มซ้ำ ๆ เรียกว่า Loading Pattern สินค้าชิ้นย่อย อาจมีลักษณะหลายรูปแบบ เช่นสี่เหลี่ยมมุมฉาก และทรงกลม แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะทำการวิจัยในรูปแบบสินค้าชิ้นย่อยที่มีลักษณะกล่องเพียงเท่านั้น ข้อจำกัดที่พบสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ข้อจำกัดในด้านน้ำหนัก, ข้อจำกัดของตัวสินค้าบรรจุ เช่น การกำหนดทิศทางหรือตำแหน่ง, ข้อจำกัดที่เกี่ยวกับโกดังสินค้า หรือทำการขนส่ง, ข้อจำกัดในการวางสินค้า และข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้า ซึ่งมีงานวิจัยที่สามารถแก้ปัญหาจากข้อจำกัดข้างต้นได้ เช่น การสร้าง อัลกอริทึมเพื่อใช้ในการประมาณการบรรจุสินค้าบางประเภท [13] งานวิจัยวัตถุประสงค์เพื่อใช้พื้นที่ในตู้คอนเทนเนอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และเกิดต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด โดยประยุกต์นำการคำนวณแบบเชิงเส้น Linear Programming และวิธี Simplex Method มาช่วยตัดสินใจในการคำนวณ และพัฒนาระบบการคำนวณทั้งหมดให้เป็นแบบอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ กำหนดการคำนวณของโปรแกรมให้สอดคล้องกับการทำงาน ณ หน่วยงานจริง อาทิ ให้เริ่มคำนวณสินค้าชิ้นแรก วางตรงจุดใน-ซ้าย-ล่าง สุดของตู้คอนเทนเนอร์ จากนั้นค่อยบรรจุสินค้าออกมาจนถึงด้านหน้าตู้ หลังจากคำนวณเสร็จ โปรแกรมจะส่งผลการคำนวณให้แก่ระบบควบคุมการบรรจุสินค้าโดยอัตโนมัติ และโปรแกรมสามารถแสดงภาพรูปแบบการบรรจุสินค้าแบบจำลอง (Loading Pattern) เพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ [14] การบรรจุสินค้าโดยใช้พื้นที่ตู้คอนเทนเนอร์เต็มพื้นที่ และปราศจากความเสียหายของสินค้า จะ

ช่วยลดจำนวนเที่ยวของการใช้ตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งเป็นต้นทุนทางด้านการขนส่งหลัก ในการขนส่งระหว่างประเทศ โดยการวางแผนการบรรจุสินค้า จะช่วยให้เราสามารถตัดสินใจในการเลือกขนาดตู้ที่เหมาะสม โดยการกำหนดปริมาณสินค้าขั้นต่ำต่อตู้ หากสินค้านั้นมีขนาดเดียวกัน [15] และสามารถคำนวณโดยแบบจำลองการบรรจุสินค้าโดยวิธีฮิวริสติกหากสินค้านั้นมีขนาดที่หลากหลาย ทั้งสินค้าที่มีบรรจุภัณฑ์แบบกล่องหลายมิติ [16] โดยใช้ข้อมูลขนาดตู้คอนเทนเนอร์ และขนาดกล่องเป็นหลัก ในการคำนวณ โปรแกรมการคำนวณจะเลือกนำตู้คอนเทนเนอร์ที่มีราคาต่อคิวบิกเมตรต่ำที่สุดมาคำนวณเป็นอันดับแรก และกล่องของสินค้าจะต้องวางในแนวระนาบโดยที่กล่องด้านบนขนาดใหญ่กว่ากล่องด้านล่างเสมอ โดยโปรแกรมเริ่มคำนวณจากการวางกล่องด้านในตู้จากซ้ายไปขวา แล้วจึงซ้อนขึ้นมาจนสุดความสูงของตู้ นับเป็นขั้นที่หนึ่ง จากนั้นจึงคำนวณการเรียงออกมาจนถึงด้านหน้าตู้ โดยโปรแกรมจะพิจารณาการหมุนกล่องเพื่อให้เข้ากับพื้นที่ว่างในตู้ ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาณมาของกล่องแต่ละขนาด และ จุดศูนย์กลางของตู้อยู่ตรงกลางของตู้คอนเทนเนอร์ ในกรณีที่กล่องมีน้ำหนักต่างกัน เพื่อให้เกิดความสมดุลในระหว่างการขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถวางแผนการบรรจุสินค้าสำหรับสินค้าที่ขนส่งเป็นพาเลท โดยใช้ข้อมูลขนาดตู้คอนเทนเนอร์และขนาดของพาเลท เป็นตัวตั้งต้นในการคำนวณ โดยโปรแกรมจะกำหนดให้ผู้ใช้าน เป็นคนเลือกขนาดของตู้คอนเทนเนอร์และขนาดของพาเลทที่ต้องการทำการขนส่ง จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณโดยคำนึงถึงปริมาตรของพาเลท กับปริมาตรของตู้คอนเทนเนอร์ โดยผลลัพธ์ที่ได้คือจำนวนของพาเลทแต่ละชนิด และน้ำหนักของสินค้านั้นที่คำนวณ [17]

#### 2.4.2 แนวคิดด้านการจัดส่งและสินค้าส่งออก

นอกจากปัญหาการบรรจุแล้ว ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกฎหมายของประเทศต่าง ๆ ก็มีผลในการวางแผนการบรรจุสินค้าเข้าสู่ตู้คอนเทนเนอร์เช่นบางรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา มีกฎหมายคมนาคมกำหนดให้ตู้คอนเทนเนอร์นำเข้า จะต้องมีย่านน้ำหนักมาตรฐานแต่ละแกนบรรทุกของรถบรรทุก

ที่นำตู้ส่งจากท่าเรือไปถึงจุดหมายปลายทาง ก่อนนำตู้คอนเทนเนอร์ออกจากท่า จะต้องตรวจสอบ น้ำหนักบรรทุกแต่ละแกน และน้ำหนักรวมของตู้คอนเทนเนอร์ หากพบว่ามีข้อใดไม่ผ่านเกณฑ์จะต้อง ทำการ รื้อแล้วบรรจุใหม่ หรืออาจต้องแยกเป็นรถบรรทุก 2 คัน ซึ่งต้นทุนแรงงานเพิ่มเติมมีราคาสูง บริษัทจึงมีความต้องการการปรับปรุงการวางแผน การบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อให้ สอดคล้องกับ กฎหมายของประเทศปลายทาง จึงได้ทำการ วิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหา โดยการ ผสมผสาน วิธีGRASP wall-building algorithm กับ Linear Integer programming โดยการ ทดลองใช้ข้อมูลจากเหตุการณ์จริง และพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจ แม้สุดท้ายแล้ว งานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้ทำให้ต้นทุนขนส่ง มีราคาถูกลงที่สุด แต่วิจัยเพื่อตอบสนองความต้องการของบริษัท ที่ต้องการทำให้ถูกกฎหมายของประเทศ ปลายทางตั้งแต่ต้นทาง [18]

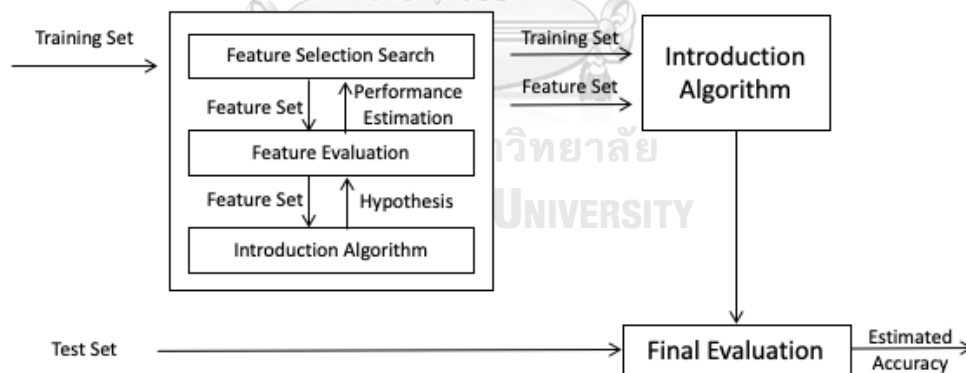
ความเสียหายระหว่างการขนส่ง ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงในการขนส่ง โดยการศึกษา ความเสียหายของสินค้าหรือกล่องที่อยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ โดยใช้ 2 ค่าที่สนใจ คือ จำนวนของกล่องที่ อยู่ที่พื้น และ เปอร์เซ็นต์ของกล่องที่ได้รับการรองรับที่ไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยฉบับนี้ศึกษา จากตัวแทนปลายทางเดียวเท่านั้น ไม่สามารถอ้างอิงกับการขนส่งทั่วโลกได้ เป็นเพียงแค่แนวทาง โดย ได้มีการเสนอตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพใหม่สองตัวเพื่อประเมินความสามารถในการขนส่งสินค้า ได้แก่ จำนวนกล่องตก และจำนวนกล่องในการทดสอบความเปราะบางของเส้นโค้งความเสียหาย โดยใช้กว่า 1500 ตัวอย่างเพื่อศึกษาการจำลองพฤติกรรมแบบไดนามิกของการจัดวางตู้คอนเทนเนอร์ นอกจากนี้ ยังมีการเสนอค่าความเสถียรแบบไดนามิกใหม่โดยแบบจำลองการวิเคราะห์ของตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพ เสถียรภาพที่เสนอซึ่งคำนวณโดยการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณโดยผลการคำนวณโดยคร่าวมีความเสถียร มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้ก่อนหน้า [19] ซึ่งนอกจากการบรรจุสินค้าในตู้และขนาดของตู้ คอนเทนเนอร์แล้ว รูปแบบการขนส่งก็มีผลต่อต้นทุนการขนส่งเช่นกัน จากการศึกษาพบว่ากลยุทธ์

สำคัญคือการเชื่อมโยงรูปแบบการขนส่งมากกว่าหนึ่งรูปแบบขึ้นไปเพื่อใช้ในการลดต้นทุนการขนส่ง และเพิ่มความยืดหยุ่น เช่น การเลือกความเชื่อมโยงระหว่าง รถบรรทุก-เรือ [20] จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมการจัดเรียงของบนรถบรรทุก สร้างขึ้นเพื่อศึกษาและทดสอบทฤษฎีการเขียน อัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขคือสามารถกำหนดค่าของขนาดกระเบาะบรรจุ ขนาดของสินค้า และจำนวนของ สินค้าแต่ละขนาด มีวัตถุประสงค์เพื่อบรรจุให้เหลือพื้นที่ใช้งานที่ว่างน้อยที่สุด โดยเป็นการบรรจุสินค้า ลักษณะกล่อง 3 มิติและกล่องทั้งหมดที่นำมาจัดเรียงจะต้องมีขนาดไม่เกินขนาดของรถบรรทุก ระบบ จะทำงานตามขั้นตอนโดยการหาตำแหน่งว่างเพื่อวางของ การนำกล่องวางยังตำแหน่ง และวิธีการหา กล่องที่เหมาะสมใส่ลงในตำแหน่งว่างภายในรถบรรทุก [21]

#### 2.4.3 แนวคิดด้านการเลือกตัวแปรแบบ Subset Selection

วิธีวิเคราะห์แบบสมการถดถอยนับเป็นวิธีการที่นิยมนำมาประมาณค่า โดยงานวิจัยนี้เป็นการ สร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าธรรมชาติและอัตราส่วนทางเรขาคณิตมาวิเคราะห์แบบถดถอยเพื่อ ทำนายค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นวัสดุเชิงประกอบ [22] ซึ่งวิธีการ Subset Selection หรืออาจ เรียกว่าวิธีการ Feature Subset Selection คือวิธีการสร้างแบบจำลองการเขียนโปรแกรมทาง คณิตศาสตร์ในรูปแบบใหม่ใหม่เพื่อแก้ไขปัญหาการเลือกตัวแปรในการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อเลือกจำนวนตัวแปรที่น้อยที่สุดมาใช้พยากรณ์โดยผลลัพธ์ไม่ผิดพลาด เพื่อให้ได้ สมการถดถอยที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวิธีการนี้จะใช้อัลกอริทึมวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปร อย่างซ้ำๆซึ่งจะถูกเปรียบเทียบกับตัวแปรที่สร้างก่อนหน้าเสมอ โดยผลลัพธ์ของวิธีการนี้เป็นที่ยอมรับ ได้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน หรือค่า  $R_{adj}^2$  ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือผู้วิจัยสามารถสร้างขอบเขตหรือ กำหนดตัวแปรที่ต้องการนำมาสร้างแบบจำลองได้ และมีความยืดหยุ่น นำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายแม้จะมี ข้อจำกัดทางด้านปฏิบัติ รวมไปถึงวิธีการนี้เป็นวิธีการเลือกตัวแปรที่รวดเร็วและมีคุณภาพเมื่อ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานทางทฤษฎี [7] ปัญหาของ Subset Selection ในการถดถอยเชิงเส้น

พหุคูณเกี่ยวข้องกับการเลือกตัวแปรที่มีจำนวนน้อยที่สุดโดยไม่สูญเสียความสามารถในการวิเคราะห์ของแบบจำลอง ในบทความนี้จะประยุกต์ใช้วิธีการปรับอัลกอริทึมแบบพันธุกรรม (Genetic Algorithm) และการจำลองการเลือกตัวแปรในการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ประสิทธิภาพของวิธีการแบบผสมผสานนี้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่ได้จากการเลือกไปข้างหน้า การกำจัดย้อนหลัง และการค้นหาอัลกอริทึมทางพันธุกรรมแบบคลาสสิก การวิเคราะห์เปรียบเทียบชุดข้อมูลแสดงให้เห็นว่าวิธีฮิวริสติกแบบผสมผสานอาจมีประสิทธิภาพสามารถแทนที่วิธีการเลือกตัวแปรแบบอื่น โดยวิธีการนี้จะช่วยลดตัวแปร เนื่องจากหากมีตัวแปรที่ไม่จำเป็นมากเกินไปจะก่อให้เกิดตัวรบกวน และผลลัพธ์ที่ไม่แม่นยำ [23] ซึ่งการที่อัลกอริทึมต้องเรียนรู้การเลือกตัวแปรเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยไม่สนใจตัวแปรที่ไม่มีผล และพิจารณาว่าข้อมูลในอัลกอริทึมชุดการฝึกมีความสัมพันธ์กับชุดทดสอบอย่างไร จึงศึกษาความสัมพันธ์และความเกี่ยวข้องของการเลือกตัวด้วยวิธีการ Subset Selection โดยเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ซึ่งแนวคิดของวิธีการ Subset Selection เป็นไปดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 แนวคิดของวิธีการ Subset Selection [24]

จากรูปที่ 2-1 จะเห็นว่าแนวคิดเริ่มจากการกำหนดข้อมูลชุดที่นำมาสร้างอัลกอริทึม ซึ่งทำงานจากข้อมูลในฐานข้อมูล โดยปกติแล้วจะแบ่งเป็นชุดการฝึกและตัวแปรต่างๆที่ไม่มีผลจะถูกลบ



นอกจากการสร้างอัลกอริทึม อัลกอริทึมที่ให้ค่าที่ดีที่สุดจะถูกคัดเลือกเพื่อนำไปใช้กับข้อมูลชุดทดสอบ เป็นลำดับถัดไป ถึงแม้ว่าเป้าหมายของการสร้างอัลกอริทึมด้วยวิธีการอื่นจะเพื่อต้องการเพิ่มความแม่นยำสูงสุดเพียงอย่างเดียว แต่วิธีการ Subset Selection นั้นมีแนวทางเพื่อหาและใช้เฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวข้องเท่านั้น เพื่อให้เกิดความซับซ้อนน้อยสุด [24] ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านพยากรณ์ได้อย่างหลากหลาย เช่น งานวิจัยการวิเคราะห์สาเหตุของความรุนแรงที่เกิดจากอุบัติเหตุจากการทำงานในอุตสาหกรรมเคมี รวมถึงวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความรุนแรงของอุบัติเหตุเพื่อนำไปสู่การวางแผนป้องกันอุบัติเหตุ โดยศึกษาอุบัติเหตุจากการดำเนินงานของอุตสาหกรรมเคมี เช่น อุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี เหล็ก อลูมิเนียม และอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทั้งหมด 22 ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ 41 ตัวแปร และจำนวนอุบัติเหตุ 872 ครั้งในช่วงระยะเวลา 10 ปี (ตั้งแต่ปี 2006-2015) ข้อมูลจากวิธีการ Subset Selection พบว่ามี 30 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความรุนแรงของอุบัติเหตุสูง ผลการศึกษานี้ยืนยันว่าความรุนแรงของอุบัติเหตุในอุตสาหกรรมเคมีเป็นไปตามทฤษฎีพหุปัจจัย นอกจากนี้การศึกษานี้ยังระบุว่าวิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบ Subset Selection ร่วมกับวิธีการถดถอยแบบหลายตัวแปรสามารถเป็นประโยชน์และนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์อุบัติเหตุและข้อมูลอื่น ได้อย่างครอบคลุม [25] อีกหนึ่งงานวิจัยที่นำวิธีการเลือกตัวแปรด้วยวิธีนี้มาใช้ร่วมกับการพยากรณ์ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการสร้างแบบจำลองที่แม่นยำสำหรับการคาดการณ์ความต้องการไฟฟ้าครัวเรือนล่วงหน้าหนึ่งเดือน โดยพิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลทั้งหมด 20 ตัวแปร ซึ่งรวมถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือน ตัวแปรสภาพอากาศ 14 ตัวแปร และตัวแปรทางสังคม 5 ตัวแปร ข้อมูลที่นำมาใช้ช่วงเวลาตั้งแต่ มกราคม 1991 ถึง ธันวาคม 2012 โดยข้อมูล 240 เดือนแรกใช้สำหรับการสร้างรูปแบบและอีก 24 เดือนสำหรับการทดสอบ การประเมินประสิทธิภาพของสมการถดถอยโดยใช้ค่า MAPE, MAE, RMSE, MBE และ UPA นอกจากนี้ยังได้นำผลการพยากรณ์เปรียบเทียบกับวิธีก่อนหน้า เช่น Artificial Neural Network และ Auto-

Regressive Integrated Moving Average, พบว่าวิธีการนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมและจำเป็นสำหรับการพยากรณ์ทำให้มีความสามารถในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในระยะสั้นได้อย่างเป็นไปได้น่าเชื่อถือ เพื่อช่วยผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสามารถตัดสินใจวางแผนการผลิตและจ่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [26]

ในบทถัดไปจะกล่าวถึงบริษัทกรณีศึกษา เพื่อให้ทราบถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดในองค์กรก่อนอธิบายขั้นตอนการวิจัยซึ่งประยุกต์ทฤษฎีและงานวิจัยในบทที่ 4 ต่อไป



## บทที่ 3

### บริษัทกรณีศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงบริษัทกรณีศึกษา รวมไปถึงผลิตภัณฑ์และวิธีการดำเนินงานของหน่วยงาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัท

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตรายสำหรับยานพาหนะทุกประเภทระดับโลกที่ก่อตั้งมากกว่าร้อยปี มีสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ในทวีปยุโรป และผลิตรายรถยนต์เพื่อวางจำหน่ายในกว่า 170 ประเทศทั่วโลก โดยผลิตรายเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดและการใช้งานบนสภาพถนนที่แตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่นจากโรงงานที่มีอยู่มากกว่า 50 แห่งในทุกทวีปทั่วโลก พนักงานทั้งหมดมากกว่าแสนคน โดยบริษัทกรณีศึกษาเริ่มลงทุนในประเทศไทยเมื่อปี 1987 และยังคงขยายการลงทุนอย่างต่อเนื่องจนปัจจุบัน

#### 3.2 โครงสร้างองค์กร

บริษัทกรณีศึกษา มีโครงสร้างองค์กรการบริหารงานแบ่งหน่วยงานหลักเป็นฝ่ายวิจัยพัฒนา นวัตกรรม ฝ่ายบริหารภาพรวมธุรกิจ และฝ่ายกลยุทธ์องค์กร ซึ่งแต่ละฝ่ายมีศูนย์กลางในการบริหารและจัดการอยู่ที่ทวีปยุโรป แต่จะแบ่งการควบคุมดูแลในระดับภูมิภาคเป็น 6 กลุ่มประเทศหลัก ได้แก่ กลุ่มประเทศตะวันออกกลางและอินเดีย กลุ่มประเทศจีน กลุ่มประเทศยุโรป กลุ่มประเทศอเมริกาเหนือ กลุ่มประเทศอเมริกาใต้ และ กลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงและออสเตรเลีย ซึ่งประเทศไทยเป็นศูนย์กลางในการบริหารกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงและออสเตรเลียเนื่องจากมีกำลังการผลิตและส่งออกสูงสุดในภูมิภาค ซึ่งแผนกที่ทำการศึกษา คือแผนกส่งออก-นำเข้า สินค้าสำเร็จรูป (FG

Export-Import) มีความรับผิดชอบทั้งในส่วนของการส่งออกยางรถยนต์ที่ผลิตในประเทศไทย ดำเนินการนำเข้ายางรถยนต์สำหรับส่งขายในประเทศ รวมไปถึงการดูแลลูกค้าโดยตรงสำหรับลูกค้ารายใหญ่ที่อยู่ในกลุ่มประเทศอาเซียน ขึ้นตรงกับส่วนงานบริหารการขนส่งและโซ่อุปทาน (Logistic & Supply Chain Management) โครงสร้างองค์กรดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 โครงสร้างองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา

จากรูปที่ 3-1 ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างองค์กรของบริษัทกรณีศึกษา จะเห็นได้ว่า แผนกนำเข้าและส่งออก จะทำงานร่วมกับแผนกการจัดการโซ่อุปทาน ในการจัดการบริหารคำสั่งซื้อและสินค้าคงคลัง และ แผนกควบคุมดูแลคลังสินค้าในไทย ในแง่ของการจัดการบรรจุสินค้าเพื่อจำหน่ายแก่ลูกค้าปลายทาง ซึ่งทั้งสองแผนกที่กล่าวมานั้น จะมีหน่วยงานที่รับผิดชอบตั้งแต่โรงงานผลิต ส่วนงานวางแผน รวมไปถึง ถึงการจัดการคลังสินค้า

### 3.3 ตำแหน่งที่ตั้งและโรงงานผลิต

บริษัทกรณีศึกษาได้มีโรงงานผลิตยางสำหรับรถทุกประเภท ตั้งอยู่ในทวีปยุโรป 38 แห่ง ทวีปอเมริกาเหนือ 14 แห่ง ทวีปอเมริกาใต้ 6 แห่ง และทวีปเอเชีย 5 แห่ง ซึ่งตั้งอยู่ในประเทศไทย 3 โรงงาน ได้แก่ โรงงานผลิต จังหวัดสมุทรปราการ ผลิตยางรถจักรยานยนต์ (Motorcycle Tyre) และ ยางรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Tyre) โรงงานผลิต จังหวัดชลบุรี ผลิตยางรถยนต์ส่วนบุคคล (Passenger Car Tyre) และยางรถกระบะบรรทุกทุกเล็ก (Light Truck Tyre) และ โรงงานผลิต จังหวัดสระบุรี ผลิตยางรถบรรทุก-รถบัส (Truck & Bus Tyre) และยางเครื่องบิน (Aircraft Tyre) นอกจากนี้ โรงงานสระบุรี ยังรับหล่อดอกยาง (Re-Tread) ทั้งยางรถบรรทุกและยางเครื่องบิน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่ง เมื่อรวมกำลังการผลิตของทุกโรงงานเข้าด้วยกัน จะทำให้มีกำลังการผลิตของยางทุกประเภทสูงถึงกว่า 40,000 เส้นต่อวัน

หลังจากกระบวนการผลิตแล้ว ยางสำเร็จรูปจากโรงงาน จะถูกจัดส่งมายังคลังสินค้า ที่บริษัท ได้จ้างให้ผู้รับเหมา (Supplier) มาทำการควบคุมดูแล ตลอดจนเดินรถเพื่อขนส่งยางระหว่าง โรงงานผลิต และคลังสินค้า โดยมีจำนวนทั้งหมด 6 แห่ง แบ่งตามโรงงานที่ผลิต และกลุ่มการขาย ดังนี้

- คลังสินค้าอำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี เก็บยางประเภทยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและยางรถจักรยานยนต์ โดยรับยางจากโรงงานจังหวัดสมุทรปราการ โรงงานจังหวัดชลบุรี และยางนำเข้าเพื่อทำการขายในประเทศ และส่งออกนอกประเทศ

- คลังสินค้าอำเภอสรีราชา จังหวัดชลบุรี เก็บยางประเภทยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และยางรถกระบะบรรทุกเล็ก จากโรงงานจังหวัดสมุทรปราการ และโรงงานจังหวัดชลบุรี เพื่อสำหรับการส่งออกเท่านั้น

- คลังสินค้าอำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เก็บยางประเภทยางรถบรรทุก-รถบัส จากโรงงานจังหวัดสระบุรี เพื่อทำการขายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศ

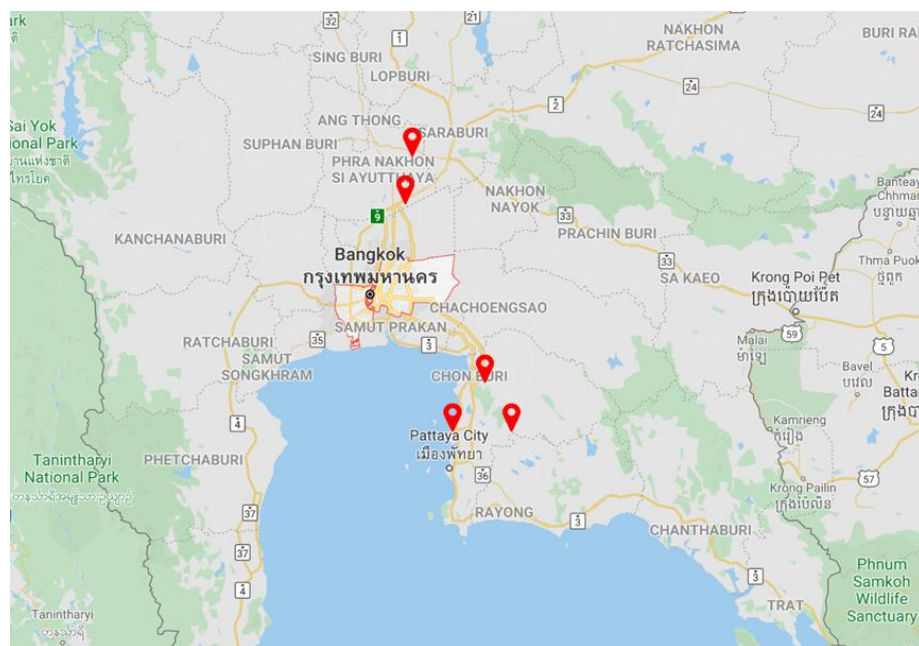
- คลังสินค้าอำเภอนองแสง จังหวัดสระบุรี เก็บยางประเภทยางรถบรรทุกหล่อดอก จากโรงงานจังหวัดสระบุรี และยางนำเข้าที่มีขนาดใหญ่ เช่น รถบรรทุก ยางเกษตรกรรม เพื่อทำการขายในประเทศ และส่งออกนอกประเทศ

- คลังสินค้าอำเภอนองแคว จังหวัดสระบุรี เก็บยางประเภทยางเครื่องบินใหม่ และยางเครื่องบินหล่อดอก จากโรงงานจังหวัดสระบุรี และยางเครื่องบินนำเข้า เพื่อทำการขายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ

- คลังสินค้าเขตประกอบการเสรี (Free Trade Zone) อำเภอบ่อวิน จังหวัดชลบุรี เก็บยางประเภทยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคุณภาพสูง ที่นำเข้ามาทั้งหมด เพื่อทำการขายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ

ซึ่งคลังสินค้าทั้ง 6 แห่งที่ได้กล่าวมานั้น มีทำเลที่ตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3-2 แผนกนำเข้า-ส่งออกอย่างเสรีรูป มีสำนักงานอยู่ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ทำหน้าที่ประสานงานระหว่างลูกค้า

ปลายทาง และตัวแทนให้บริการทางโลจิสติกส์ (Third Party Logistic: 3PL ) ซึ่งได้แก่ คลังสินค้า และตัวแทนดำเนินพิธีการทางศุลกากรและขนส่ง เพื่อจัดการขนส่งสินค้าไปส่งลูกค้า ปลายทาง



รูปที่ 3-2 แผนที่แสดงที่ตั้งของคลังสินค้า

จากรูปที่ 3-2 จะพบว่า คลังสินค้าถูกแบ่งเป็น 2 พื้นที่หลักๆ โดยคลังสินค้าที่อยู่ในจังหวัด ชลบุรี ใกล้กับท่าเรือแหลมฉบัง ดังนั้นเมื่อสินค้า ถูกบรรจุที่คลังสินค้าอำเภอบ้านบึง คลังสินค้าอำเภอ ศรีราชา และคลังสินค้าอำเภอบ่อวินแล้ว ตู้คอนเทนเนอร์จะถูกนำไปส่งคืนที่ท่าเรือแหลมฉบัง ส่วน สินค้าที่ถูกบรรจุจากคลังสินค้าอำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา คลังสินค้าหนองแคและ คลังสินค้าหนองแขง จังหวัดสระบุรี ส่วนมากจะคืนตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือกรุงเทพ และ สถานีบรรจุ และแยกกล่องสินค้าลาดกระบัง (Inland Container Depot: ICD)

### 3.4 ผลិតภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีสึกษา สามารถแบ่งได้เป็น 9 กลุ่ม ตามลักษณะการใช้งาน ดังแสดง  
ในรูปที่ 3.3



ยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล  
(Passenger Car Tyre)



ยางรถกระบะบรรทุกเล็ก  
(Light Truck Tyre)



ยางรถบรรทุก-รถบัส  
(Truck&Bus Tyre)



ยางรถจักรยานยนต์  
(Motorcycle Tyre /Motorbike Tyre)



ยางเครื่องบิน  
(Air Craft Tyre)



ยางรถจักรยาน  
(Bicycle Tyre)



ยางสำหรับเกษตรกรรม  
(Agricultural & Farming Tyre)



ยางสำหรับอุตสาหกรรมและเหมืองแร่  
(Mining & Construction Tyre)



ยางสำหรับรถไฟฟ้าในเมือง  
(Metro Tyre)

รูปที่ 3-3 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีสึกษา



โดยผลิตภัณฑ์ที่นำมาทำการศึกษา ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และยางรถ กระบะบรรทุกเล็กเนื่องจากการส่งออกจากประเทศไทยมากที่สุดในภูมิภาค

### 3.5 ประเภทของลูกค้า

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทขนาดใหญ่ จึงมีกลุ่มลูกค้าที่หลากหลาย ในที่นี้สามารถ แบ่งกลุ่มลูกค้าตามเงื่อนไขได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะการผลิตและการใช้งานของลูกค้า และ ลักษณะแบ่งตามการส่งสำหรับลูกค้าต่างประเทศ

#### 3.5.1 แบ่งตามการผลิตและการใช้งานของลูกค้า

ลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา แบ่งตามการผลิตและการใช้งานแล้ว สามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- **ยางที่ขายแก่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ (Original Equipment Tyre: OE)** คือการขายยางให้แก่ บริษัทผู้ผลิตรถยนต์โดยตรง เพื่อผลิตรถยนต์ที่ใช้ยางของบริษัทกรณีศึกษา ติดกับรถใหม่ออกสู่ ท้องตลาด โดยการขายในลักษณะนี้ จะขายในไซส์เดิมที่ขายอยู่เป็นประจำ ด้วยปริมาณสูง ในราคาที่ถูกกว่า การขนส่งจึงมักเป็น 1 ขนาดของยางปริมาณเต็มตู้ ต่อ 1 ตู้คอนเทนเนอร์

- **ยางที่ขายเพื่อนำไปเปลี่ยนรถยนต์ (Replacement Tyre: RT)** คือยางที่ขายให้แก่ ผู้ประกอบการค้าปลีก เพื่อกระจายเข้าสู่ตลาดสำหรับลูกค้ารายย่อย ที่ต้องการเปลี่ยนยางรถยนต์เมื่อ ครบอายุการใช้งาน มักขายในไซส์ที่หลากหลาย ตามความต้องการของลูกค้า ส่วนมากยางประเภทนี้ จะส่งตรงเข้าคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาเป็นหลัก การขนส่งจึงมักเป็นหลายไซส์ผสมกัน ต่อ เต็ม ตู้ 1 ตู้ คอนเทนเนอร์

#### 3.5.2 แบ่งตามการส่งสำหรับลูกค้าต่างประเทศ

ลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา เมื่อแบ่งตามปลายทางของสินค้าแล้ว สามารถแบ่งกลุ่มลูกค้าได้ 2 กลุ่ม ได้แก่

- **ส่งเข้าคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาที่มีสาขาต่างประเทศ** (Other-branch of Company) คือ บริษัทกรณีศึกษาที่มีสำนักงานของบริษัทอยู่ ณ ประเทศปลายทาง สามารถเปิดคำสั่งซื้อ และจัดส่งสินค้าในนามของบริษัท และสินค้าจะถูกส่งไปยังคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ณ ประเทศปลายทาง ส่วนมากลูกค้าในลักษณะนี้ จะใช้เทอมในการค้าแบบ CIP เมื่อขนส่งทางเรือ และแบบ FCA เมื่อขนส่งทางรถบรรทุก โดยลูกค้าผู้ดำเนินพิธีการศุลกากรฝั่งขาเข้า จะใช้ชื่อของบริษัทในการจัดการทั้งหมด

- **ส่งเข้าคลังสินค้าของลูกค้าปลายทางที่เป็นลูกค้าโดยตรง** (Direct Customer) คือ ลูกค้าที่มีคลังสินค้าเป็นของตัวเอง หรือผู้ค้าส่ง ณ ประเทศนั้นๆ โดยลูกค้าจะไม่สามารถเปิดคำสั่งซื้อเองได้ ต้องติดต่อผ่านผู้ดูแลลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อเปิดคำสั่งซื้อ สินค้าจะถูกส่งไปที่คลังสินค้าของลูกค้าโดยตรง ณ ประเทศปลายทาง ลูกค้าในลักษณะนี้มักใช้เทอมการขายเป็นเทอม FCA สำหรับลูกค้าในประเทศเพื่อนบ้านที่จัดส่งโดยรถบรรทุก และเทอม FOB สำหรับลูกค้าในประเทศที่จัดส่งทางเรือ โดยการดำเนินพิธีการทางศุลกากรฝั่งขาเข้า จะเป็นลูกค้าปลายทางเป็นฝ่ายดำเนินการ

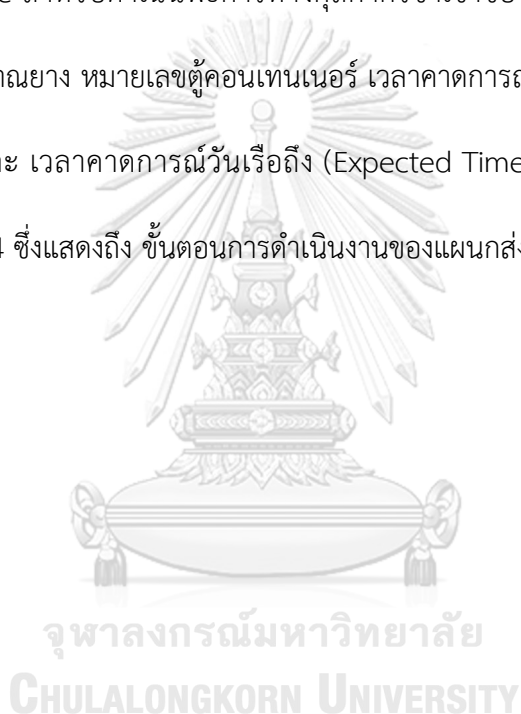
### 3.6 วิธีการดำเนินงานในการส่งออกสินค้า และตัวชี้วัดในปัจจุบัน

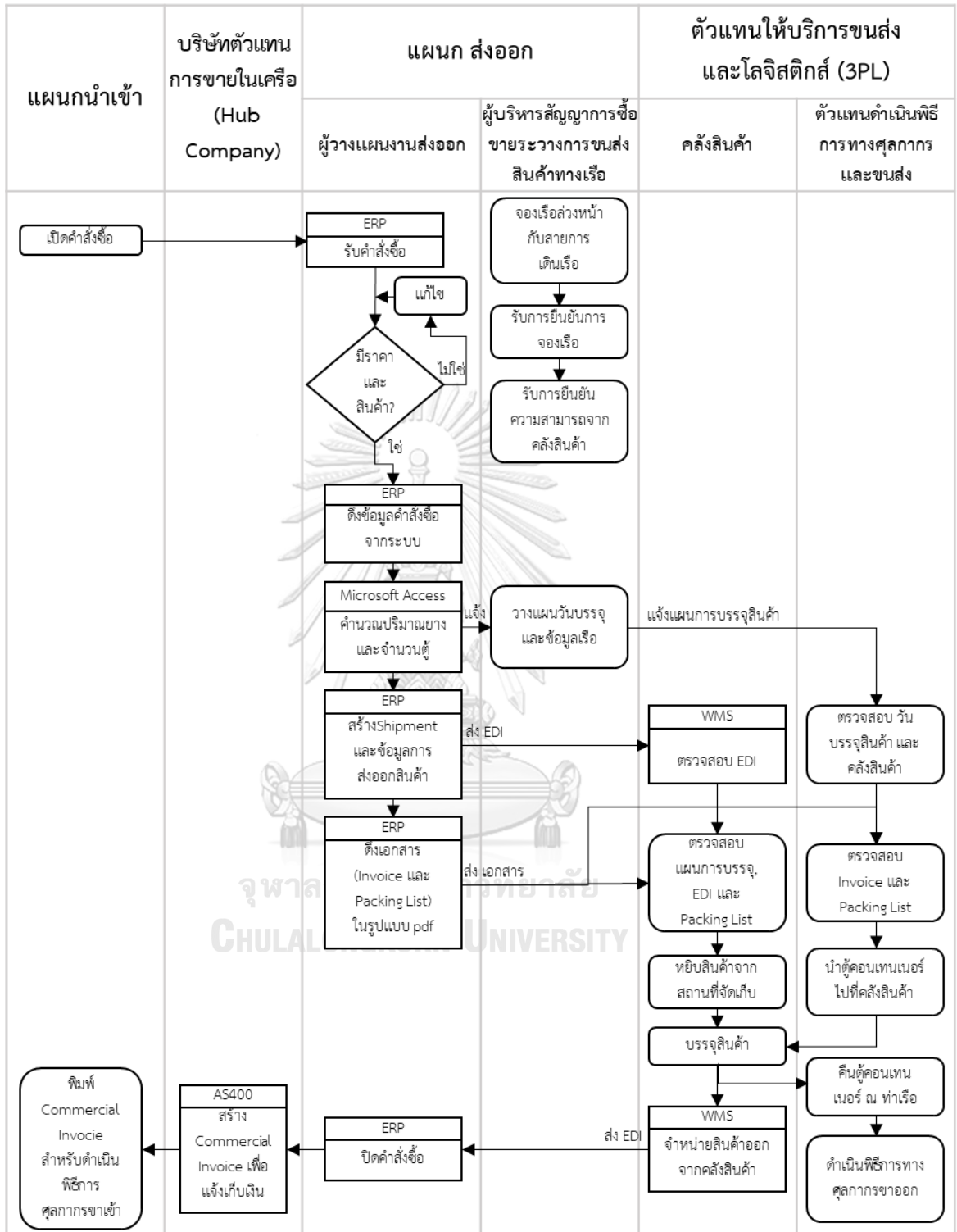
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานและตัวชี้วัดจากการดำเนินงานของแผนกส่งออก เพื่อให้สามารถเห็นภาพของการทำงานปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.6.1 วิธีการดำเนินงานการส่งออกสินค้า

วิธีการดำเนินงานการส่งออกของบริษัทกรณีศึกษา เกิดขึ้นหลังจากแผนกนำเข้า (Importer) ทำการเปิดคำสั่งซื้อผ่านทางระบบ เมื่อคำสั่งซื้อได้เข้ามาในระบบของประเทศต้นทางแล้ว แผนกส่งออก โดยผู้วางแผนการส่งออก จะทำการคำนวณปริมาณอย่างต่อเนื่องต่อตู้คอนเทนเนอร์ ระบุท่าปลายทาง และแจ้งผู้บริหารสัญญาการซื้อขายระวางการขนส่งสินค้าทางเรือเพื่อทำการติดต่อเรือกับสายเรือที่มีการจองไว้ล่วงหน้าแล้ว จากนั้นจะจัดวันเพื่อทำการบรรจุสินค้า ให้เหมาะสมกับระยะเวลา นำให้ทัน

ระยะเวลาส่งเอกสาร (VGM&SI) และเวลาปิดตู้หนัก (Closing Time) โดยจะให้ความสำคัญแก่ลูกค้าที่เป็นบริษัทผู้ผลิตรถยนต์และลูกค้าปลายทางที่เป็นลูกค้าโดยตรงก่อน จากนั้น ผู้วางแผนการส่งออกจะส่งเอกสารให้แก่ตัวแทนให้บริการขนส่งและโลจิสติกส์ ซึ่งได้แก่คลังสินค้า และตัวแทนดำเนินการทางศุลกากร และขนส่ง เมื่อทำการบรรจุสินค้าเสร็จแล้ว คลังสินค้าจะส่งข้อความกลับมาทางระบบ จากนั้นระบบ จะส่งข้อความไปยังบริษัทตัวแทนการขายในเครือ (Hub Company) เพื่อสร้าง Commercial Invoice สำหรับดำเนินการพิธีการทางศุลกากรขาเข้าของปลายทาง รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ขนาดยาง ปริมาณยาง หมายเลขตู้คอนเทนเนอร์ เวลาคาดการณ์วันเรือออก (Expected Time Departure: ETD) และ เวลาคาดการณ์วันเรือถึง (Expected Time Arrival: ETA) ดั้งขั้นตอนการดำเนินงานในรูปที่ 3-4 ซึ่งแสดงถึง ขั้นตอนการดำเนินงานของแผนกส่งออกสำหรับการส่งออกสินค้า



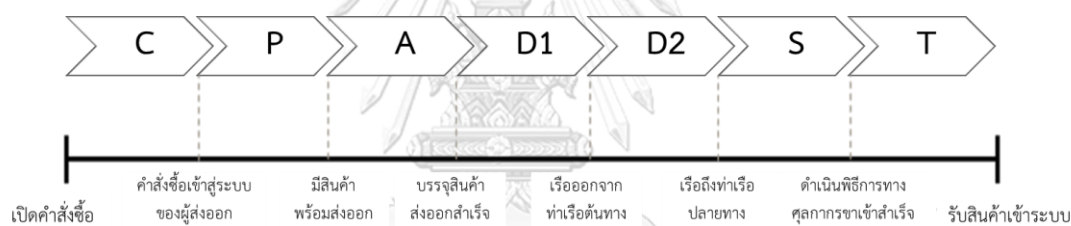


รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการส่งออกสินค้าของแผนกส่งออก

### 3.6.2 ตัวชี้วัดของการส่งออกสินค้า

แผนกนำเข้า-ส่งออก มีความมุ่งมั่นในการส่งออกสินค้าให้ถึงมือลูกค้าอย่างทันเวลา โดยสินค้า ยังคงคุณภาพและยึดมั่นในความพึงพอใจของลูกค้า โดยมีตัวชี้วัดหลัก ของกลุ่มงานส่งออก 3 ส่วน ดังนี้

1. ระยะเวลา นำของการส่งออก (Export Shipment Leadtime) ระยะเวลา นำของการส่งออก เป็นส่วนหนึ่งของตัวชี้วัดรวมของกลุ่มงานบริหารโซ่อุปทาน เนื่องจากระยะเวลานำรวม (End-to-End Shipment Leadtime) จะคิดจากเวลาตั้งแต่ลูกค้าเปิดคำสั่งซื้อ จนถึง ลูกค้าได้รับสินค้าเข้า คลังสินค้าปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ตัวชี้วัดของระยะเวลานำรวม

จากรูปที่ 3-5 มีความหมายและสามารถแบ่งเป็นตัวชี้วัดของแต่ละหน่วยงาน สามารถแบ่งตัวชี้วัดหลัก ตามตัวอักษรย่อได้ 5 ตัวชี้วัด ดังนี้

- ตัวชี้วัด C+P คือ ระยะเวลาตั้งแต่ลูกค้าเปิดคำสั่งซื้อ ผ่านระบบของลูกค้า เข้าสู่ระบบของแผนกส่งออกโดยไม่มีความผิดพลาด มีสินค้าและราคาในระบบพร้อมขาย หรือจนถึงคำสั่งซื้อนั้น สามารถจัดการส่งออกได้ ตัวชี้วัดนี้ เป็นตัวชี้วัดของแผนกโซ่อุปทาน ซึ่งดำเนินการจัดหาสินค้า และทำงานร่วมกับโรงงานผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

- ตัวชี้วัด A คือ ระยะเวลาตั้งแต่สินค้าพร้อมจัดการส่งออก การคำนวณและจัดสินค้าต่อตู้คอนเทนเนอร์ การระบุตารางเวลาการส่งออก และท่าปลายทาง จนถึงเวลาที่บรรจุสินค้าเข้าสู่คอนเทนเนอร์สำหรับส่งออก ตัวชี้วัดนี้ เป็นตัวชี้วัดของกลุ่มงานส่งออก

- ตัวชี้วัด D1 คือ ระยะเวลาตั้งแต่บรรจุสินค้าเข้าสู่คอนเทนเนอร์เสร็จ ดำเนินพิธีการศุลกากรขาออก จนถึงระยะเวลาที่เรือออก หากมีความล่าช้า อาจเกิดจากการที่ เรือเลื่อนกำหนดเวลาการออก

- ตัวชี้วัด D2 คือ ระยะเวลาตั้งแต่เรือออกจากท่าเรือต้นทาง จนถึงระยะเวลาที่เรือถึงท่าเรือปลายทาง โดยตัวชี้วัด D1 และ D2 เป็นตัวชี้วัดรวมของส่วนกลางของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อทำการประเมินสายเรือที่จะใช้ต่อไปในอนาคต

- ตัวชี้วัด S+T คือ ระยะเวลาตั้งแต่เรือ ถึงท่าเรือปลายทาง ทำการดำเนินพิธีการศุลกากรขาเข้า จนถึงการรับสินค้าเข้าสู่คลัง ณ ปลายทาง ตัวชี้วัดนี้เป็นตัวชี้วัดของกลุ่มงาน นำเข้า

2. เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ (% Utilization of Container) คิดจากการคำนวณปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ ให้ได้ประโยชน์สูงสุด เพื่อลดความสูญเปล่าในการขนส่ง โดยมีวิธีคิด จากเทียบบัญญัติไตรยางค์ของสินค้าแต่ละขนาด และนำมารวมกัน โดยมีเป้าหมายของตัวชี้วัดอยู่ที่ 95 เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์

3. เปอร์เซ็นต์การตอบสนองต่อคำสั่งซื้อของลูกค้า (% Order Fulfillment) เป็นตัวชี้วัดรวมของแผนกโซ่อุปทาน และแผนกนำเข้า-ส่งออก โดยเทียบจาก คำอนุมัติการสั่งซื้อจากแผนกโซ่อุปทานของประเทศผู้ขาย คำสั่งซื้อที่ลูกค้าเปิดมา และข้อมูลของการส่งออกจริงจากแผนกส่งออก

### 3.7 ระบบสารสนเทศที่ใช้ในการจัดการการขนส่ง

ระบบที่ใช้ในการจัดการการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา มีความแตกต่างกันในแต่ละส่วนงาน ซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนของแต่ละส่วนงานได้ดังนี้



จากรูปที่ 3-6 ในส่วนของเอกสาร แผนกส่งออกจะทำการดึงข้อมูลในรูปแบบไฟล์นามสกุล PDF จากระบบ ERP เพื่อส่งให้คลังสินค้าและตัวแทนดำเนินพิธีการทางศุลกากร โดยจะส่ง Packing List ให้แก่คลังสินค้า เพื่อเตรียมการบรรจุสินค้าและเทียบความถูกต้องกับข้อความที่ได้ส่งไปจากระบบ และส่ง Invoice และ Packing List ให้แก่ตัวแทนดำเนินพิธีการทางศุลกากร เพื่อดำเนินพิธีการทางศุลกากรขาออก

### 3.8 ขั้นตอนการทำงาน การวางแผนสินค้าส่งออก

การวางแผนงานสินค้าส่งออก จะเกิดหลังจากที่ลูกค้าปลายทางได้ทำการเปิดคำสั่งซื้อแล้ว หลังจากที่คำสั่งซื้อเข้าสู่ระบบ ERP ของแผนกส่งออก ผู้วางแผนสินค้าส่งออก (Export Planner) จะทำการดึงข้อมูลคำสั่งซื้อที่มีสินค้าพร้อมส่งจากระบบ ออกมาในรูปแบบไฟล์นามสกุล CSV และทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access ในการคำนวณปริมาณอย่างต่อเนื่อง ตามเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ โดยโปรแกรมจะแสดงรายละเอียด จัดเรียงตามประเทศปลายทาง ท่าเรือปลายทาง และวันที่เปิดคำสั่งซื้อ การคำนวณจะทำการคำนวณโดยเทียบขนาด ปริมาณคำสั่งซื้อ และปริมาณยางเต็มตู้ในขนาดนั้นๆ จากนั้นจะทำการคำนวณที่ละแถวเพื่อบอกเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ และทำการรวมให้ได้เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ตามที่ได้กำหนดไว้ให้สอดคล้องกับตัวชี้วัด คือ 95 – 96 เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์สำหรับสินค้าหลายขนาด และ 100 เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์สำหรับสินค้าขนาดเดียว หลังจากนั้นโปรแกรมจะสร้างไฟล์นามสกุล CSV เพื่อส่งกลับเข้าสู่ระบบ ERP ในการสร้าง Invoice และเลข Trip สำหรับการส่งออก

### 3.9 เงื่อนไขในการขนส่งสินค้าไปยังประเทศปลายทาง

สำหรับลูกค้าในแต่ละกลุ่มประเทศปลายทาง จะมีข้อกำหนดย่อยของการส่งออกสินค้าที่แตกต่างกัน เช่น วิธีการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ ข้อกำหนดเกี่ยวกับอายุของสินค้า



### 3.9.1 วิธีการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ (Loading Method)

วิธีการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับยางรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถกระบะบรรทุกเล็กมี 2 วิธี ได้แก่ วิธีการวิธีการบรรจุสินค้าแบบตั้ง วิธีการบรรจุชนิดนี้มักทำให้ยางคงรูป ไม่เสียหายระหว่างการขนส่ง มักใช้ในยางสำหรับลูกค้าในประเทศที่มีอากาศหนาว และกลุ่มลูกค้าที่เป็นบริษัทผู้ผลิตรถยนต์เพื่อป้องกันยางเสียรูป เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น ดังแสดง และวิธีการบรรจุสินค้าแบบไขว้ ซึ่งลักษณะนี้จะทำให้บรรจุสินค้าได้มากกว่าแบบแรก มักใช้ในประเทศที่มีคำสั่งซื้อในปริมาณมาก เพื่อรักษาอัตราประโยชน์ของตู้ เช่น จีน ไต้หวัน

### 3.9.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับอายุของสินค้า (Aging of Product)

ผลิตภัณฑ์ยางล้อรถทุกชนิด จะมีเลขสัปดาห์และปีที่สินค้าถูกผลิต (Dot Week) เป็นสัญลักษณ์อยู่บนแก้มยาง เป็นตัวเลข 4 หลัก โดย 2 หลักแรก จะเป็นสัปดาห์ของปีที่ทำการผลิต และ 2 หลักด้านหลัง คือ ตัวท้ายของปีคริสต์ศักราชที่ทำการผลิต ดังรูปที่ 3-7 ยางเส้นนี้ถูกผลิตในสัปดาห์ที่ 14 ของปี 2017



รูปที่ 3-7 ตัวอย่างสัญลักษณ์บนแก้มยาง และสัญลักษณ์บอกสัปดาห์และปีที่ผลิต

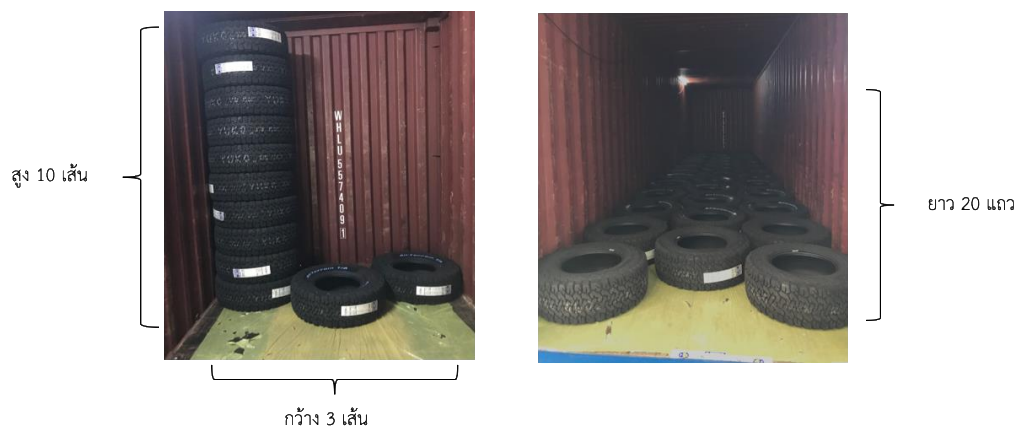
โดยข้อกำหนดของลูกค้าในบางประเทศ และกลุ่มลูกค้าที่เป็นบริษัทผู้ผลิตรายอื่น มีข้อกำหนดว่า สินค้าต้องมีอายุไม่เกิน 48 สัปดาห์ ณ วันที่ทำการขนส่ง หรือวันที่เรือออก

นอกจากนี้ ยังมีข้อกำหนดอื่นๆ สำหรับลูกค้าบางประเทศ เช่น ห้ามอายุเรือเกิน 15 ปี หรือข้อตกลงในการซื้อขายระหว่างประเทศ (Incoterm) ที่เป็นกรณีพิเศษ เช่น ขายสินค้าในเทอม FCA และ FOB ซึ่งปกติบริษัทการศึกษาจะขายในเทอม CIP

### 3.10 วิธีการวัดยางในตู้คอนเทนเนอร์ของบริษัทการศึกษา

จากการบรรจุยางของบริษัทการศึกษา สามารถบรรจุได้ 2 วิธี ได้แก่วิธีการบรรจุแบบตั้ง และวิธีการบรรจุแบบไขว้ จะมีการวัดเพื่อนำไปเป็นฐานข้อมูลดังนี้

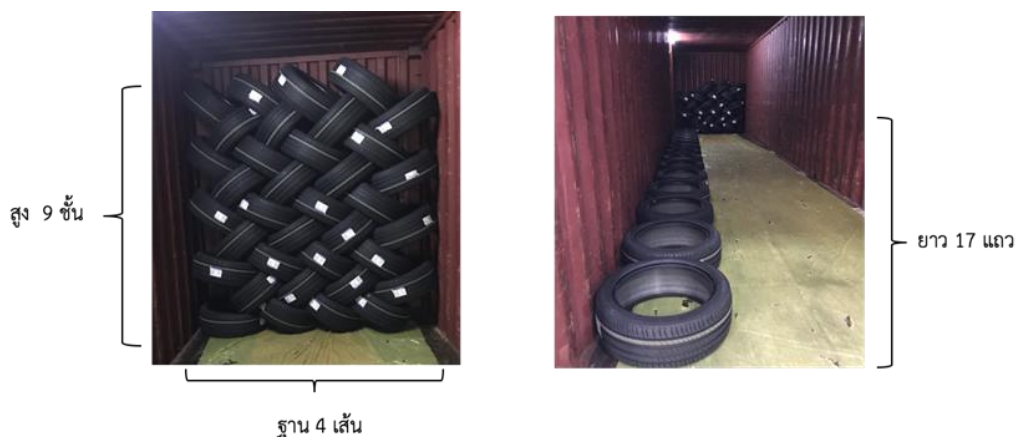
- วิธีการวัดยางสำหรับการบรรจุแบบตั้ง เริ่มจากการวางยางเส้นด้านใน ล่าง ช้าย นับความ โดยวางแนวตั้งสูงขึ้นไปจนสุดตู้คอนเทนเนอร์ วัดแนวกว้าง โดยวางชั้นล่างออกมาทางด้านขวาของตู้คอนเทนเนอร์จนสุดอีกฝั่ง และวัดแนวยาว โดยการวางยางเรียงออกมาจนถึงหน้าตู้คอนเทนเนอร์ จากนั้นในการคิดปริมาณยางเต็มตู้ จะคำนวณโดยการนำแนว กว้าง x ยาว x สูง ดังรูปที่ 3-8 ก) ซึ่งมีปริมาณยางในแนวสูง 10 เส้น และแนวกว้าง 3 เส้น และรูปที่ 3-8 ข) ซึ่งมีปริมาณยางในแนวยาว 20 เส้น ยางขนาดนี้จึงมีปริมาณยางเต็มตู้ด้วยวิธีการบรรจุแบบตั้งเท่ากับ 10 x 3 x 20 เส้น หรือ 600 เส้น



ก) การวัดยางแนวสูงและแนวกว้าง      ข) การวัดยางแนวยาว  
รูปที่ 3-8 วิธีการวัดยางสำหรับการบรรจุยางแบบตั้ง

จากปริมาณการบรรจุเต็มตู้ของยางดังรูปที่ 3-8 คือ 600 เส้น จะสามารถคิดเปอร์เซ็นต์  
อรรถประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ได้ จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ โดยคิดจากปริมาณยางที่  
ต้องการ ส่วนปริมาณยางเต็มตู้ เช่น หากลูกค้าต้องการสั่งซื้อเพียง 30 เส้น จะคิดเป็น  $\frac{30}{600} \times 100 = 5\%$   
อรรถประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์

• วิธีการวัดยางสำหรับการบรรจุแบบไขว้ เริ่มจากการวางยางเส้นด้านใน ล่าง ซ้ายเป็นฐาน  
จากนั้นจะวางยางพียงจากเส้นฐานต่อมาจนสุดปลายตู้ฝั่งขวา นับเป็นปริมาณยางแนวฐาน แล้วจึงซ้อน  
ต่อไปทีละชั้น โดยวางยางชั้นบน สอดแก้มยางเข้ามาที่ช่องว่างตรงกลางของยางชั้นล่าง นับปริมาณชั้น  
ที่สามารถจัดเรียงได้จนสุดของความสูงตู้คอนเทนเนอร์ เป็นปริมาณยางแนวสูง และวางยางเส้นฐาน  
เรียงออกมาจนสุดหน้าตู้คอนเทนเนอร์ จะได้ปริมาณแนวยาว จากนั้นในการคิดปริมาณยางเต็มตู้ จะ  
คำนวณโดยการนำแนว กว้าง  $\times$  ยาว  $\times$  สูง ดังรูปที่ 3-9 ก) ซึ่งมีปริมาณยางในแนวสูง 9 ชั้น และ  
ปริมาณยางแนวฐาน 4 เส้น และรูปที่ 3-9 ข) ที่มีปริมาณยางแนวยาว 17 แถว ยางขนาดนี้จึงมี  
ปริมาณยางเต็มตู้ด้วยวิธีการบรรจุแบบไขว้เท่ากับ  $9 \times 4 \times 17$  เส้น หรือ 612 เส้น



ก) การวัดยางแนวสูงและแนวกว้าง      ข) การวัดยางแนวยาว  
รูปที่ 3-9 วิธีการวัดยางสำหรับการบรรจุยางแบบไขว้

จากปริมาณการบรรจุเต็มตู้ของยางดังรูปที่ 3-9 คือ 765 เส้น จะสามารถคิดเปอร์เซ็นต์  
อรรถประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ได้ จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ โดยคิดจากปริมาณยางที่  
ต้องการ ส่วนปริมาณยางเต็มตู้ เช่น หากลูกค้าต้องการสั่งซื้อเพียง 30 เส้น จะคิดเป็น  
 $\frac{30}{765} \times 100 = 3.92\%$  อรรถประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์

### 3.11 วิธีบรรจุยางของคลังสินค้า

วิธีบรรจุยางของคลังสินค้าในปัจจุบัน ดำเนินการโดยบริษัท Supplier ภายใต้การควบคุมของ  
บริษัททรนศึกษา การจัดการการบรรจุยางจะถูกลงแผนล่วงหน้าตามภาระงานที่ได้รับจากแผนก  
ส่งออก ซึ่งถูกคำนวณมาจากปริมาณคาดการณ์คำสั่งซื้อ ปริมาณคำสั่งซื้อรอการส่งออก จำนวนกะการ  
ทำงานและวันหยุดในสัปดาห์ จำนวนพนักงานในแต่ละกะ เป็นต้น ปัจจุบันคลังสินค้าดำเนินการ 6 วัน  
ต่อสัปดาห์ ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันเสาร์ และหยุดวันอาทิตย์ คลังสินค้าแต่ละแห่งมีความสามารถบรรจุ  
ยางได้ในอัตราจำนวนตู้ต่างกันอันเนื่องมาจากประเภทของยางที่แตกต่าง ปริมาณและระยะเวลาการ  
ทำงานรายวันของพนักงานในแต่ละแห่ง แผนกคลังสินค้าจะสั่งการแจ้งความสามารถในการบรรจุยาง  
ต่อวันของทุกคลังสินค้าให้แก่ผู้บริหารสัญญาการซื้อขายระวางการขนส่งสินค้าทางเรือ (Contact

Executive) ในทุกสัปดาห์ จากนั้นแผนกส่งออกจะวางแผนการส่งออกโดยเทียบความสามารถในการบรรจุกับตารางเวลาของเรือ เพื่อให้สามารถบรรจุตามความต้องการของลูกค้าและทันเวลาที่เรือออก หลังจากกำหนดเที่ยวการขนส่งแล้ว คลังสินค้าจะแจ้งผู้วางแผนการส่งออกในการส่งเอกสารและข้อมูลในระบบแก่คลังสินค้าเพื่อเตรียมการบรรจุต่อไป จากนั้น แผนกคลังสินค้าจะเริ่มทำงานโดยการตรวจสอบความถูกต้องระหว่างเอกสาร ข้อมูลในระบบ จากนั้นเมื่อถึงวันที่บรรจุ คลังสินค้าจะหยิบยางในระบบตามข้อมูลที่ได้รับ จากนั้นจะเรียกตู้คอนเทนเนอร์จากผู้ให้บริการโลจิสติกส์ควบคู่ไปกับการหยิบยาง ณ โลกเซ็นจริง เมื่อมีการตรวจสอบความปลอดภัยและพร้อมที่จะบรรจุแล้ว จะเริ่มทำการบรรจุตามข้อปฏิบัติของคลังสินค้าที่กำหนดไว้ แต่หากพบกรณีพิเศษที่นอกเหนือ คลังสินค้ามีอำนาจในการตัดสินใจเบื้องต้นในการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า โดยมีข้อปฏิบัติดังนี้

- การบรรจุยาง เริ่มจากด้านในริมซ้ายของตู้ เรียงไปทางขวาของตู้ก่อน จากนั้นจะเรียงขึ้นแนวสูงนับเป็นหนึ่งแถว แล้วจึงบรรจุลักษณะเช่นนี้ต่อมาจนสุดตู้คอนเทนเนอร์
- ในการบรรจุ พนักงานทำการบรรจุยางที่มีขนาดเท่ากันไว้ด้วยกันเสมอ เมื่อบรรจุขนาดเดียวกันจนครบจำนวนแล้ว จึงจะเริ่มต้นทำการบรรจุขนาดอื่นต่อไป
- หากในตู้คอนเทนเนอร์มีการบรรจุทั้งแบบไขว้และแบบตั้ง พนักงานจะเริ่มการบรรจุด้วยวิธีไขว้ไว้ด้านในตู้ก่อนเสมอ จากนั้นจึงบรรจุวิธีตั้งในท้ายตู้จนเสร็จ
- ในการบรรจุแถวเดียวกัน จะบรรจุยางที่มีขนาดใหญ่กว่าไว้ด้านล่างเสมอเพื่อป้องกันการเสียหายอันเกิดจากการกดทับกันของยาง ตัวอย่างความเสียหายที่มักเกิดในการบรรจุยางแบบไขว้ ดังรูปที่ 3-10 ซึ่งแสดงถึงความเสียหายของยางจากการบรรจุ



ก) ลักษณะการบรรจุมยาง

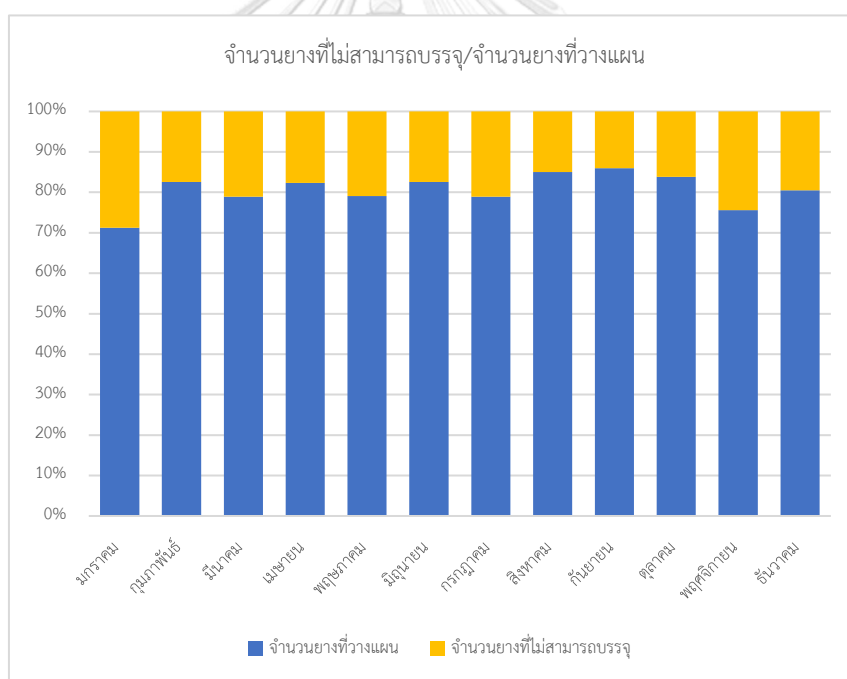
ข) ความเสียหายของยาง

รูปที่ 3-10 ความเสียหายที่เกิดจากการบรรจุมยาง

จากกรุปที่ 3-10 ก) แสดงลักษณะการบรรจุมยางแบบไขว้ที่มีการบรรจุมยางขนาดเล็กกว่าไว้ด้านล่าง และขนาดใหญ่กว่าไว้ด้านบน และรูปที่ 3-10 ข) แสดงตัวอย่างความเสียหายของยางที่เกิดขึ้น จากกรุปพบว่ารูปทรงยางมีขนาดเสียหายจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เมื่อบรรจุมยางสำเร็จแล้ว คลังสินค้าจะรายงานเข้าในระบบเพื่อให้ระบบดำเนินการส่งข้อความไปยังแผนกส่งออกและทำการเรียกเก็บเงินต่อไป แต่หากพบว่าไม่สามารถบรรจุมยางได้ครบตามที่วางแผน คลังสินค้าจะต้องนำยางมาเก็บที่โลเคชั่นเดิม และทำการปรับข้อมูลในระบบโดยต้องให้เหตุผลที่ไม่สามารถบรรจุมยางตามที่วางแผน อาทิ ตู้คอนเทนเนอร์เต็มก่อนที่จะบรรจุมยางหมด ยางมีอายุเก่าเกินกว่าข้อตกลงกับลูกค้า หรือยางมีความเสียหายขณะบรรจุมยาง เป็นต้น หากพบปัญหาหรือข้อติดขัดที่คลังสินค้าไม่สามารถตัดสินใจหรือดำเนินการเองได้จะทำการแจ้งแผนกคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา และตัวแทนแผนกส่งออกเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาาร่วมกันในระยะยาว

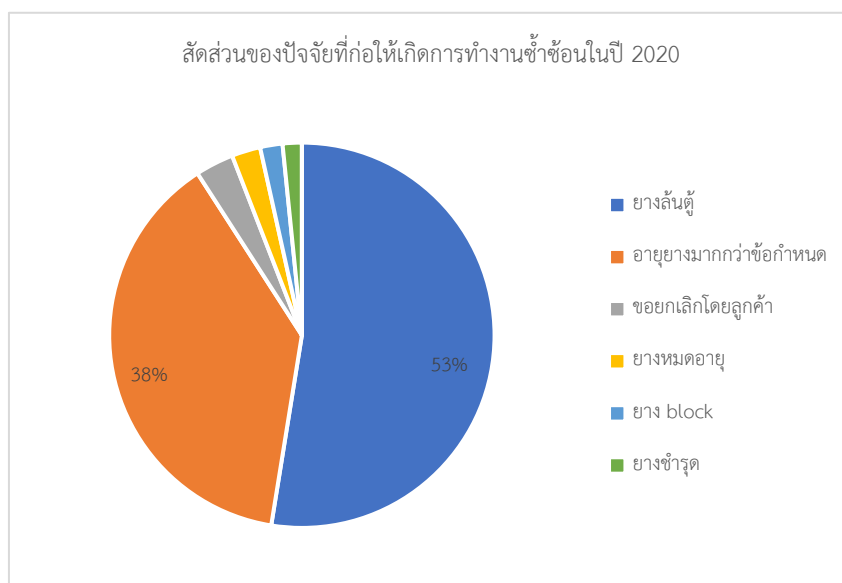
### 3.12 การวิเคราะห์ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

คลังสินค้าอำเภอบ่อวิน เป็นคลังสินค้าหลักในการกระจายสินค้าสำหรับสินค้านำเข้า เริ่มเปิดทำการในปี 2018 คือ ตั้งอยู่ในเขตปลอดอากร คลังสินค้าแห่งนี้นำเข้ายางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ยางรถกระบะบรรทุกทุกเล็ก และยางรถจักรยานยนต์ จากประเทศในยุโรปและอเมริกา เพื่อจำหน่ายในประเทศและยางกระจายออกไปสู่ประเทศในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงและออสเตรเลีย จากข้อมูลในปี 2020 พบว่า เกิดปัญหาไม่สามารถบรรจุได้ตามแผนการส่งออกต่อตู้คอนเทนเนอร์ที่แผนกส่งออกได้ทำการวางแผนไว้ เป็นผลให้เกิดการทำงานซ้ำซ้อนของแผนกส่งออกในการแก้ไขจำนวนสินค้าในเอกสารสำหรับการดำเนินพิธีทางศุลกากร และการทำงานซ้ำซ้อนของคลังสินค้า ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 อัตราส่วนสินค้าที่ไม่สามารถบรรจุได้เทียบกับจำนวน yang ที่วางแผน ในปี 2020

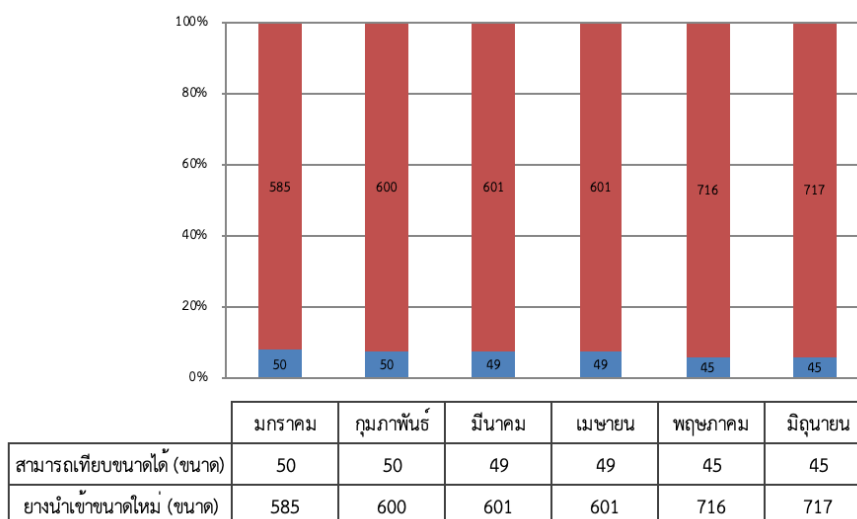
จากรูปที่ 3-11 แสดงถึงสัดส่วนสินค้าที่ไม่สามารถบรรจุได้ ซึ่งก่อให้เกิดการทำงานซ้ำซ้อนของทั้งแผนกส่งออกและคลังสินค้า ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย จากข้อมูลในปี 2020 พบว่า มีสัดส่วนระหว่างปัจจัยในการทำงานซ้ำซ้อนดังรูปที่ 3-12



รูปที่ 3-12 สัดส่วนของปัจจัยที่ก่อให้เกิดการทำงานซ้ำซ้อนในปี 2020

จากรูปที่ 3-12 พบว่า ปัญหาหลักของจำนวนยางที่ไม่สามารถบรรจุได้ตามแผน เกิดจากจำนวนยางล้นตู้คอนเทนเนอร์ หรือมีปริมาณยางมากเกินไปเกินความจุของตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งเกิดจากการวางแผนการบรรจุไม่แม่นยำ ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นสินค้าที่นำเข้า จึงไม่สามารถวัดขนาดของยางเพื่อคำนวณในรูปแบบเดิมได้ เพราะยางที่นำเข้าอาจมีปริมาณไม่มากพอในขนาดเดียวกันเหมือนกับยางที่ผลิตในประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 3-13 ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของปริมาณขนาดยาง โดยแบ่งเป็นกลุ่มยางที่สามารถเทียบขนาดกับยางที่ผลิตในประเทศได้ และยางขนาดใหม่ที่ทำกรนำเข้ามาในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน 2020





รูปที่ 3-13 ความแตกต่างของปริมาณขนาด ยงนำเข้าเพื่อส่งออก ในปี 2020

รูปที่ 3-13 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละของขนาดในกลุ่มยงนำเข้าเพื่อส่งออกจากรูปพบว่า มีเพียงไม่ถึง 10 % เท่านั้น ที่สามารถใช้ขนาดเทียบเคียงกับยงที่ผลิตในประเทศได้ ทำให้ยงกลุ่มนำเข้าเพื่อส่งออก ส่วนมากต้องใช้วิธีการคำนวณโดยอ้างอิงจากข้อมูลการบรรจุสินค้าของประเทศต้นทาง ส่งผลให้การคำนวณเพื่อจัดตู้คอนเทนเนอร์มีความคลาดเคลื่อนสูง เกิดปัญหาหลัก 2 อย่าง ได้แก่ กรณีสินค้าล้นตู้ (Shortage Shipment) สูง และเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ต่ำ (Low Percentage Utilization of Container)

นอกจากปัญหาการทำงานซ้ำซ้อนจากกรณีสินค้าล้นตู้แล้ว เหตุที่ไม่สามารถวางแผนให้มีค่าเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ต่ำ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์เป็นตัวชี้วัดของแผนกส่งออก เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Transportation Cost) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ จากข้อมูลการส่งออกในปี 2019 (รูปที่ 1-6) พบว่า สินค้าที่ถูกลงจากคลังสินค้าในเขตปลอดอากร อ่าเภออ่าววิน มีค่าของ เปอร์เซ็นต์อัตราประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์ต่ำกว่าเป้าหมายที่ 95 %

จากปัญหาหรือประโยชน์ที่ต่ำจากแผนกส่งออกและปัญหาการทำงานซ้ำซ้อนที่ได้รับรายงาน  
จากแผนกคลังสินค้า มีความขัดแย้งเนื่องจาก เปอร์เซ็นต์หรือประโยชน์ของผู้คอนเทนเนอร์ แต่  
สินค้ายังคงล้นตู้ ซึ่งอาจเกิดจากความไม่ถูกต้องของ ฐานข้อมูล นำมาใช้คำนวณ หรือวิธีการคำนวณ



## บทที่ 4

### การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้จะกล่าวถึงแหล่งที่มาของข้อมูล กระบวนการจัดการเมื่อได้รับข้อมูลมา และการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อนำประยุกต์ทฤษฎีและงานวิจัย

#### 4.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

ที่มาของข้อมูลในงานวิจัย มาจาก 2 แหล่งข้อมูลหลัก อันได้แก่

##### 4.1.1 ข้อมูลการบันทึกธุรกรรมการขายจากระบบ ERP

ระบบ ERP ทำหน้าที่บันทึกธุรกรรมการขายของบริษัทกรณีศึกษาย้อนหลัง ระบบมีการปรับปรุงข้อมูลธุรกรรมให้เป็นปัจจุบันวันละหนึ่งครั้ง ผู้ใช้งานสามารถดึงข้อมูลในรูปแบบโปรแกรม Microsoft Excel นามสกุล xlsx เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูล โดยข้อมูลหลักในงานวิจัย ประกอบด้วย ประเทศที่ทำการส่งออก รหัสสินค้า คำอธิบายขนาดยาง ประเภทยาง รหัสลูกค้าปลายทาง ประเทศที่นำเข้า เลขที่ใบแจ้งหนี้ วันที่ทำการบรรจุสินค้า วันคาดการณ์เรือออก วันคาดการณ์เรือถึงท่าเรือปลายทาง รหัสคลังสินค้าที่ทำการบรรจุ เลขที่ของตู้คอนเทนเนอร์ ประเภทของตู้คอนเทนเนอร์ จำนวนที่ส่งออก น้ำหนักยางที่ส่งออก และท่าเรือปลายทาง โดยมีตัวอย่างดังรูปที่ 4-1

Sales Ship Name	Sales Order Number	Sales Order Status	Ordered Date	Sales Order Line Number	Sales Order Line Status	Product Number	Product Name	UNIT	Selling Price	CAI	I/P	D Code	Bill To Code	Bill To Location	Address Line 1	Bill To Add Line
451_OU	4510113998	BOOKED	4/27/2021 12:00:00 AM	1.3	CLOSED	126081_106	235/59R19 101V TL PRIMACY A/S ME		66.37	126081	TC	D40413003	88217	78 SHENTON WAY UNIT 23-01 AND UNIT 24-02		
451_OU	4510113998	BOOKED	4/27/2021 12:00:00 AM	1.4	CLOSED	126081_106	235/59R19 101V TL PRIMACY A/S ME		66.37	126081	TC	D40413003	88217	78 SHENTON WAY UNIT 23-01 AND UNIT 24-02		
451_OU	4510116668	BOOKED	6/1/2021 12:00:00 AM	9.1	CLOSED	389858_107	245/40 ZR19 98V EXTRA LOAD TL PILOT SPORT 4 ST ME		117.58	389858	TC	D66409234	88217	78 SHENTON WAY UNIT 23-01 AND UNIT 24-02		
451_OU	4510117031	BOOKED	6/3/2021 12:00:00 AM	2.1	CLOSED	890588_103	185/55 R16 83V TL ENERGY XHD + MI		36.37	890588	TC	D66409234	88217	78 SHENTON WAY UNIT 23-01 AND UNIT 24-02		
451_OU	4510117031	BOOKED	6/3/2021 12:00:00 AM	4.1	CLOSED	701880_101	215/45 R17 91W EXTRA LOAD TL PRIMACY 4 ST MI		49.02	701880	TC	D66409234	88217	78 SHENTON WAY UNIT 23-01 AND UNIT 24-02		

รูปที่ 4-1 ตัวอย่างฐานข้อมูลบันทึกธุรกรรมการส่งออก

จากรูปที่ 4-1 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างการใช้งานของแหล่งข้อมูล ซึ่งสามารถเลือกช่วงเวลาหรือประเทศที่ทำการส่งออก เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงการบรรจุยาง

#### 4.1.2 ฐานข้อมูลคำนวณในปัจจุบัน

ฐานข้อมูลที่ใช้คำนวณเพื่อวางแผนปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ ถือเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองคำนวณปริมาณยาง จัดเก็บอยู่ในรูปฐานข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Access แล้วเชื่อมโยงกับโปรแกรมการวางแผนยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งจะวัดเพียงตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุตไฮคิวเท่านั้น สำหรับตู้คอนเทนเนอร์ขนาดอื่นจะทำการประมาณโดยปรับปริมาตรของตู้คอนเทนเนอร์โดยตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุต ปริมาณยางเต็มตู้จะถือเป็นเพียง 90 % ของตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุตไฮคิวและตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุตปริมาณยางเต็มตู้จะถือเป็นเพียง 45 % ของตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุตไฮคิวเท่านั้น ซึ่งในฐานข้อมูลนี้จะจัดเก็บข้อมูลของ รหัสสินค้า คำอธิบายขนาดยาง ประเภทยาง ปริมาณยางเต็มตู้ในการบรรจุแบบตั้งของตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุตไฮคิว 40ฟุต และขนาด 20 ฟุต มีลักษณะของฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4-2

CAI	DESCRIPTION	PRODUCT	Pile20	Pile40	Pile40H	Lace20	Lace40	Lace40H	last update
000207	295/35 R21 107Y XL TL PILOT SPORT 4 SUV FRV MIE2A-X ANA6+/PCLT	PCLT	167	335	369				15/9/2020
000219	305/25 ZR20 (97Y) XL TL PILOT SPORT 4 S MIE2A-X EA08+P680	PCLT	201	402	443				23/12/2020
000257	305/30 ZR22 (105Y) EXTRA LOAD TL PILOT SUPER SPORT MIE2A	PCLT	100	280	300	192	397		400 28/08/2018
000383	325/30 ZR21 (108Y) XL TL PILOT SPORT CUP 2 N1 MIE2A P680+E/PCLT	PCLT	177	336	384	177	336		384 09/10/2018
001068	315/30 ZR21 (105Y) XL TL PILOT SPORT 4 S MO1 MIE2A-X P728 (	PCLT	216	432	475	216	432		475 30/01/2020
001413	255/40 ZR20 (101Y) XL TL PILOT SPORT 3	PCLT	270	723	600	305	723		680 07/08/2018
001493	205/60 R16 92V TL PRIMACY LC DT1 MI	PCLT	0	727	816	430	850		954 01/01/2013
001583	LT325/60R20 126/1235TL ALL-TERRAIN T/A KO2 LRE RBL GOE2A	PCLT	170	350	400	200	414		471 30/01/2020
001681	335/30 ZR20 (108Y) XL TL PILOT SUPER SPORT NO MIE2A DERO F	PCLT	150	300	342	150	300		342 28/09/2018
001706	275/80R22.5 XZN MIXNRJ TL151/148J MI	TBOR	0	250	264	0	0		0 01/01/2013
001812	275/55 R19 111W TL PILOT SPORT 4 SUV MIE2A-X P700+P680	PCLT	190	400	480	223	467		518 07/06/2019
002389	195/85 R 16 XIE4 MIX ENERGY TL 114/112L MI	TBOR	312	648	672	0	0		0 01/01/2013
002705	255/35 ZR18 (94Y) XL TL PILOT SUPER SPORT TPC MIE2A-X P732	PCLT	255	567	567	320	651		720 02/09/2015
002887	BR MI PA X MULTI T 210 B 2.62 P	TBOR	750	1500	1500	0	0		0 03/11/2015
002979	205/85R16 XIE4MNRJ TL 117/115L MI	TBOR	260	0	500	0	0		0 7/6/2021
003051	BR MI PA X MULTI T 210 B 2.92 P	TBOR	750	1500	1500	0	0		0 03/11/2015
003232	285/35 ZR18 (101Y) XL TL PILOT SPORT 4 S MIE2A-X EA08+P732	PCLT	242	504	612	242	504		612 9/1/2020
003718	195/60 R15 88V TL ENERGY XM2 + MITESTING TIRE	PCLT	437	857	962	490	982		1102 07/05/2019
003864	BR MI PA XDE2+ 230 P 3.18 P	TBOR	750	1500	1500	0	0		0 03/11/2015
005341	295/35 ZR20 (105Y) XL TL PILOTSPORT 4S ACOUSTIC MO1 MIE2/PCLT	PCLT	163	327	360				23/12/2020
006930	165/65 R14 79T TL ADVANTAGE T/A DRIVE	PCLT	565	1176	1320	670	1418		1500 31/03/2021
007395	205/65R15 99T XLTL X-ICE X13 GRNX MI	PC	384	787	884	418	930		1044 25/11/2014
007514	325/30 ZR20 (106Y) EXTRA LOAD TL PILOT SPORT CUP 2 MIE2A-PCLT	PCLT	150	320	360	177	378		432 25/12/2018
009341	245/40 ZR18 97Y XL TL PILOT SPORT 4 DT1 MIE2A-X P732+P728	PCLT	250	540	630	305	647		749 04/12/2018

รูปที่ 4-2 ฐานข้อมูลที่ใช้คำนวณปริมาณยาง

จากรูปที่ 4-2 พบว่า ฐานข้อมูลจะแสดงแค่ปริมาณยางเต็มตู้คอนเทนเนอร์เพียงเท่านั้น หากลูกค้ามีการเปิดคำสั่งซื้อเข้ามาปริมาณน้อยกว่าเต็มตู้คอนเทนเนอร์ โปรแกรมการคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ จะทำการคำนวณเป็นอัตราส่วนต่อตู้คอนเทนเนอร์ และจะคิดเป็น % เพื่อรวมกับยางขนาดอื่นจนได้ปริมาณตามตัวชี้วัดที่กำหนด แล้วจึงทำการส่งออก ซึ่งฐานข้อมูลนี้ในปัจจุบันผู้ปรับปรุงฐานข้อมูลมีเพียงวิศวกรประจำแผนกส่งออกเพียงผู้เดียวเท่านั้น

จากข้อมูลธุรกรรมจากระบบ ERP และข้อมูลอ้างอิงการบรรจุยาง งานวิจัยฉบับนี้ได้แบ่งข้อมูลตามช่วงเวลาพิจารณา เพื่อนำไปพัฒนาและทดสอบแบบจำลองดังต่อไปนี้

- ข้อมูลชุดเรียนรู้ เป็น ข้อมูลการส่งออกย้อนหลังระหว่างเดือนมกราคม ปี2019 จนถึงเดือนกันยายน ปี2020
- ข้อมูลชุดทดสอบ เป็น ข้อมูลการส่งออกย้อนหลังระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม 2021

ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการหลังจากได้ข้อมูลการส่งออก โดยการจัดการข้อมูลให้มีรูปแบบที่เป็นมาตรฐานและง่ายต่อการนำไปใช้ต่อ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นก่อนนำไปคำนวณในบทที่ 5 และ 6 เป็นลำดับถัดไป

#### 4.2 การจัดการข้อมูลยาง

พิจารณายางที่มีความคล้ายคลึงกัน และ จัดระเบียบข้อมูลเพื่อคำนวณปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ ทำโดยพิจารณาลักษณะภาพคำอธิบายขนาดยางดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 คำอธิบายขนาดทางกายภาพบนแก้มยาง [27]

จากรูปที่ 4-3 แยกลักษณะทางกายภาพเพื่อนำมาพิจารณาเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่

- ขนาดของหน้ายาง คือตัวเลข 3 ตัวแรก กำหนดให้เป็น  $X_1$  หรือความหนาของหน้ายางในหน่วยมิลลิเมตร
- อัตราส่วนระหว่างความกว้างของแก้มยางและความสูงของหน้ายาง คือตัวเลข 2 หลัก หลังเครื่องหมาย / บนคำอธิบายยาง กำหนดให้เป็น  $X_2$
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบกระทะล้อ คือตัวเลข 2 ตัวหลังจากตัวอักษร R ซึ่งมีหน่วยเป็นนิ้ว กำหนดให้เป็น  $X_3$

นอกจากนี้ ยังมีคำอธิบายส่วนอื่นที่แสดงถึงลักษณะจำเพาะของยาง แต่ไม่ได้นำมาพิจารณาร่วมด้วยด้วย ได้แก่

- ดัชนีน้ำหนักบรรทุก แสดงถึงน้ำหนักสูงสุดที่ยางได้รับการรับรองให้รับได้เมื่อเติมลมด้วยค่าปลอดภัยสูงสุด ตัวเลขอ้างอิงถึงแผนภูมิที่ระบุความสามารถในการรับน้ำหนักที่ยางสามารถรับได้ ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ดัชนีน้ำหนักบรรทุกที่ปรากฏบนหน้ายางรถยนต์

ดัชนีบรรทุก	ปอนด์	กิโลกรัม	ดัชนีบรรทุก	ปอนด์	กิโลกรัม
71	761	345	91	1356	615
72	783	355	92	1389	630
73	805	365	93	1433	650
74	827	375	94	1477	670
75	853	387	95	1521	690
76	882	400	96	1565	710
77	908	412	97	1609	730
78	937	425	98	1653	750
79	963	437	99	1709	775
80	992	450	100	1764	800
81	1019	462	101	1819	825
82	1047	475	102	1874	850
83	1074	487	103	1929	875
84	1102	500	104	1984	900
85	1135	515	105	2039	925
86	1168	530	106	2094	950
87	1202	545	107	2150	975
88	1235	560	108	2205	1000
89	1279	580	109	2271	1030
90	1323	600	110	2337	1060

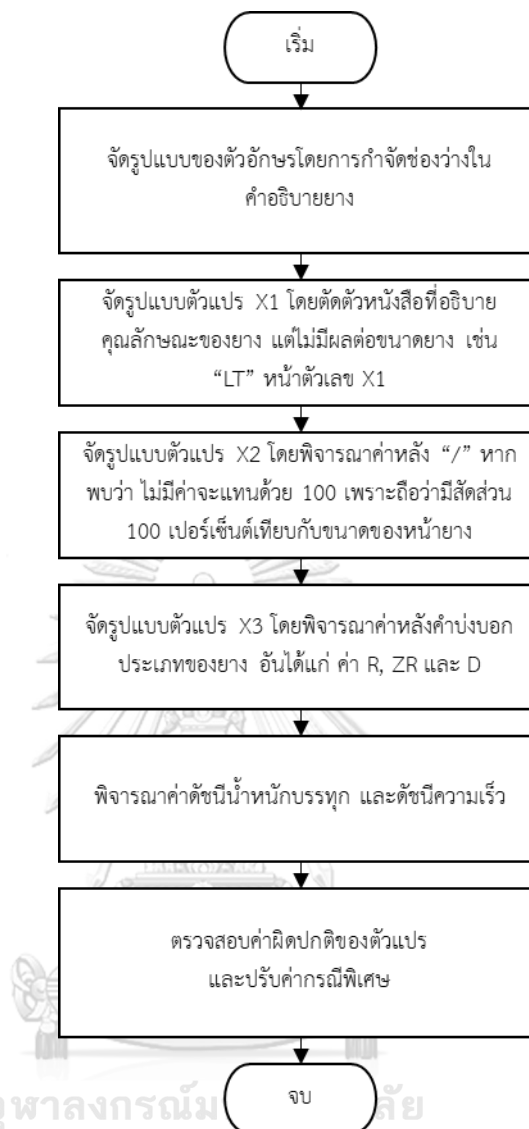
- ดัชนีความเร็ว แสดงถึงความเร็วสูงสุดที่ปลอดภัยซึ่งยางได้รับการรับรองให้บรรทุกน้ำหนักภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ดัชนีความเร็วมีตั้งแต่ A (ต่ำสุด) ถึง Y (สูงสุด) โดยมีข้อยกเว้นคือ H อยู่ระหว่าง U และ V ในการหาความเร็วสูงสุดสำหรับยาง ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ดัชนีความเร็วที่ปรากฏบนหน้ายางรถยนต์

สัญลักษณ์	ความเร็วสูงสุด	
	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	ไมล์ต่อชั่วโมง
L	120	75
M	130	81
N	140	87
P	150	94
Q	160	100
R	170	106
S	180	112
T	190	118
U	200	124
H	210	130
V	240	149
Z	240+	149+
W	270	168
Y	300	186
(Y)	300+	186+

นอกจากนี้ยังพบข้อมูลที่มีลักษณะแตกต่างจากที่กล่าวมาข้างต้น คือคำอธิบายที่มีความแตกต่างกันในเรียงลำดับตัวอักษร การเว้นวรรค และการใช้อักษรพิเศษ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในฐานข้อมูลอันเนื่องมาจากประเภทยางที่ต่างกัน อาทิ การกำหนดตัวอักษร ZR แทนตัวอักษร R แล้วจึงตามด้วยตัวแปรขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางขอบกระทะล้อ ซึ่งหมายถึงยางรุ่นพิเศษที่เหมาะสมสำหรับการใช้กับรถที่ต้องการทำความเร็วสูง หรือการกำหนดตัวอักษร D แทนตัวอักษร R หมายถึงยางประเภทโครงยางผ้าใบ ซึ่งปัจจุบันทางบริษัทกรณีศึกษาไม่ได้ทำการผลิตยางประเภทนี้กับยางรถยนต์นี้ส่วนบุคคลแล้ว ซึ่งลำดับในการจัดการข้อมูลคำอธิบายยาง มีแนวคิดตามขั้นตอนในรูปที่ 4-4





รูปที่ 4-4 ขั้นตอนแปลงข้อมูลลักษณะทางกายภาพของยางเพื่อใช้ในแบบจำลอง

รูปที่ 4-4 แสดงขั้นตอนการแปลงข้อมูลลักษณะทางกายภาพของยางรถยนต์แต่ละชนิดเป็นตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง โดยขั้นตอนแรกจะพิจารณาขนาดจากตัวแปรทั้ง 3 ที่ได้กล่าวไปข้างต้น ให้เข้าสู่สมการการคำนวณ โดยเริ่มจากการคำนวณขนาดจากคำอธิบายยาว เป็นขนาดยางจริงในหน่วยเมตร ซึ่งสามารถหาได้จากคำอธิบายบนแก้มยาง โดยตัวเลข 3 ตัวแรก กำหนดให้เป็น  $X_1$  คือความหนาของ

หน้ายางในหน่วยมิลลิเมตร กำหนดตัวแปร  $D$  แทนความสูงของหน้ายางในหน่วยเมตร ซึ่งสามารถหาความสูงของหน้ายางได้ดังสมการที่ 4-1

$$\text{ความสูงของหน้ายาง (D)} = \frac{X_1}{1000} \quad (4-1)$$

ขนาดรัศมีของขอบกระทะล้อ กำหนดให้เป็น  $r$  สามารถหาได้จากครึ่งหนึ่งของคำอธิบายบนแก้มยาง ตัวเลข 2 ตัวหลังจากตัวอักษร R ซึ่งมีหน่วยเป็นนิ้ว ( $X_3$ ) ดังนั้นสมการที่ 4-2

$$\text{รัศมีของขอบกระทะล้อ (r)} = \frac{1}{2} \left( \frac{X_3 \times 25.4}{1000} \right) \quad (4-2)$$

ขนาดของรัศมีของยางวงนอก อันเกิดจากความกว้างของแก้มยางและขอบกระทะล้อ กำหนดตัวแปร  $R$  แทนรัศมีของยางวงนอกในหน่วยเมตร สามารถหาได้จากขนาดของหน้ายางกับอัตราส่วนระหว่างแก้มยางกับหน้ายาง ซึ่งก็คือตัวเลข 2 หลัก หลังเครื่องหมาย / บนคำอธิบายยาง ( $X_2$ ) รวมกับรัศมีของขอบกระทะล้อ ( $r$ ) สมการที่ 4-3 จะแสดงถึง ขนาดของแก้มยางในพจน์แรก และรัศมีของขอบกระทะล้อ หรือรัศมีวงใน ในพจน์ที่ 2

$$\text{รัศมีของยางวงนอก (R)} = \left( \frac{X_1 \times X_2}{100} \right) + r \quad (4-3)$$

จากสมการข้างต้น คือการบ่งบอกขนาดของยางโดยสังเขปจากคำอธิบายบนแก้มยาง อาจมีความผิดพลาดเล็กน้อยอันเกิดจากรูปทรงตามรุ่นและตระกูลของยางซึ่งมีสมรรถนะตามรูปทรงหรือส่วนโค้งที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาสมการทั้ง 3 ร่วมกับการจัดการข้อมูลยางดังรูปที่ 4-4 สามารถยกตัวอย่างคำอธิบายยางเพื่อนำมาสู่การจัดการ และการคำนวณจากสมการ ได้ดังตัวอย่างในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างคำอธิบายยางและการคำนวณ ขนาดยางที่ปรากฏบนหน้ายางรถยนต์

คำอธิบายยาง	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	ดัชนีน้ำหนักบรรทุก	ดัชนีความเร็ว	D	R	r
215 R14C XXX	215	100	14	112	P	0.22	0.39	0.18
245/45 R17 99W XXX	245	45	17	99	W	0.25	0.33	0.22
205/65 R16 95H XXX	205	65	16	95	H	0.21	0.34	0.20
225/40 ZR18 92Y XXX	225	40	18	92	Y	0.23	0.32	0.23
LT265/65R17 116/113S XXX	265	65	17	ยางเดี่ยว 116 ยางคู่ 113	S	0.27	0.39	0.22

จากตารางที่ 4-3 ได้แสดงถึงตัวแปรและการคำนวณจากคำอธิบายยางที่ได้รับบนแก้มยาง โดย XXX คือชื่อรุ่นหรือตระกูลของยาง จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป

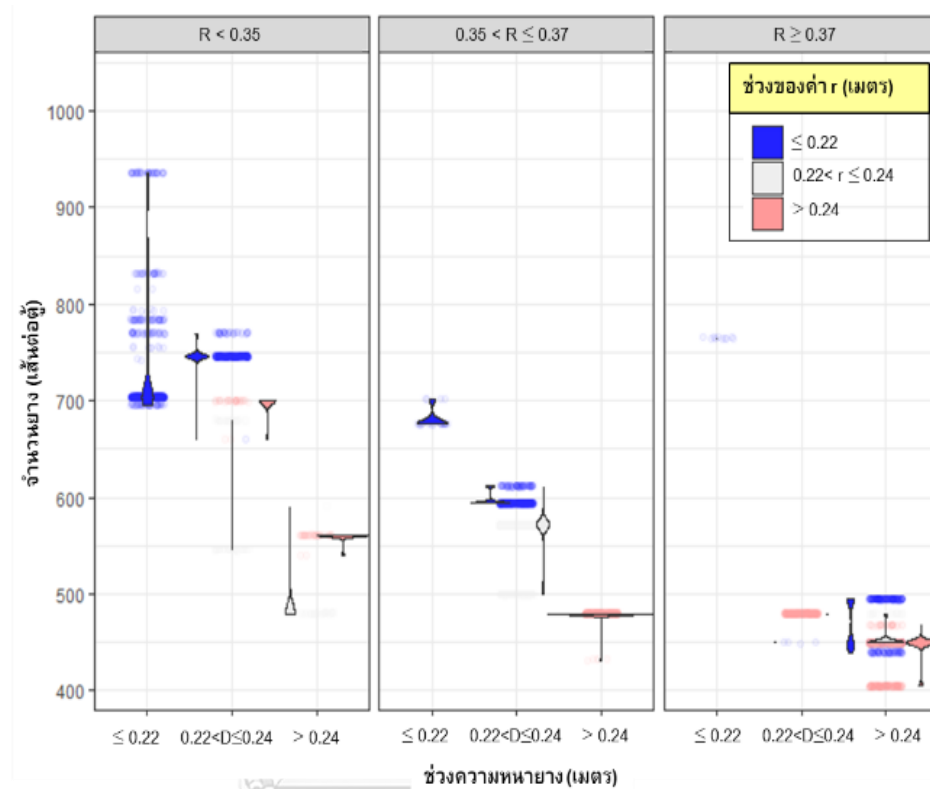
#### 4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลยาง

จากข้อมูลวิธีการจัดการข้อมูลยางในหัวข้อที่ 4.2 ซึ่งได้นำมาใช้ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลยางจากข้อมูลส่งออกระหว่างเดือนมกราคม ปี2019 จนถึงเดือนกันยายน ปี2020 ที่ได้ถูกเตรียมเพื่อนำไปเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้ในการตั้งสมมติฐานของการคำนวณโดยสมการและสร้างรูปแบบของการคำนวณแบบสมการถดถอยโดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ จัดกลุ่มของตัวแปรพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกเป็น 3 ช่วงหลักโดยคำนึงจากจำนวนของข้อมูลที่นำมาใช้ในแต่ละช่วงใกล้เคียงกัน และพิจารณาความเชื่อมั่นของข้อมูล โดยใช้ข้อมูลที่มีการส่งออกด้วยจำนวนยางสูงสุดในยางขนาดเดียวกัน และเคยมีการส่งออกมากกว่า 3 ตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อนำไปพิจารณาความสัมพันธ์และค่าการกระจายของจำนวนยางในแต่ละตู้คอนเทนเนอร์ ด้วยรูปแบบไวโอลิน (Violin Plot) ซึ่งได้แบ่งชุดข้อมูลหลักเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

##### 4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลยางสำหรับการบรรจุแบบตั้ง

ข้อมูลการส่งออกย้อนหลัง เพื่อนำเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง จากตัวอย่างทั้งหมด 6,377 ตู้คอนเทนเนอร์ พบว่ามีค่าการกระจายตัวและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้ง

รูปที่ 4-5 ซึ่งแสดงถึงปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปรสำหรับวิธีการจัดเรียงแบบตั้ง ตัวในรูปแบบของไวโอลิน



รูปที่ 4-5 ปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปรของการจัดเรียงแบบตั้ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรกับปริมาณการบรรจุ (Y) โดยจำแนกตัวแปรเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ขนาดของหน้ายาง (D) ขนาดรัศมีของยาง (R) และขนาดรัศมีของกระทะล้อ (r) แบ่งช่วงตัวแปร ทั้ง 3 ดังนี้

- ตัวแปรขนาดของหน้ายาง เป็นช่วงในแนวแกนนอนในแต่ละกล่องของช่วงของตัวแปร รัศมีของยาง โดยมีค่า แต่ละช่วง คือ น้อยกว่า 0.22 เมตร, มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22 แต่ไม่เกิน 0.24 เมตร และมีค่ามากกว่า 0.24 เมตร

- ตัวแปรรัศมีของยาง แบ่งเป็น 3 ช่วงตามกลองในแนวตั้ง มีค่าแต่ละช่วงคือ น้อยกว่า 0.35 เมตร, มีค่าอยู่ระหว่าง 0.35 แต่ไม่เกิน 0.37 เมตร และมีค่ามากกว่า 0.37 เมตร

- ตัวแปรรัศมีของกระทะล้อ แบ่งช่วงตามสี โดยสีน้ำเงินคือช่วงที่มีค่าน้อยกว่า 0.22 เมตร, สีเทา มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22 แต่ไม่เกิน 0.24 เมตร และสีชมพู มีค่ามากกว่า 0.24 เมตร

จากรูปพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูล พบว่าปริมาณบรรจุยางสามารถเท่ากันได้แม้ว่าขนาดยางไม่เท่ากัน และปริมาณบรรจุยางไม่จำเป็นต้องเท่ากันหากตัวแปรมีขนาดเท่ากัน ดังตัวอย่างในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของข้อมูล การบรรจุแบบตั้ง

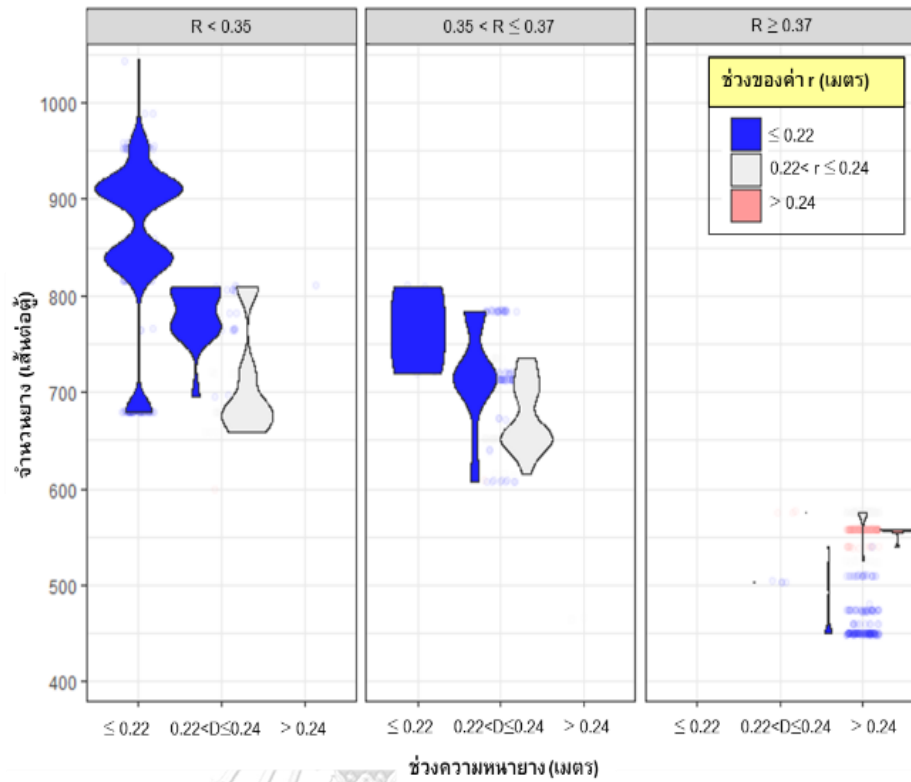
ตัวอย่าง	ปริมาณบรรจุ	คำอธิบายขนาด	D	R	r
ปริมาณการบรรจุเท่ากัน แต่ขนาดยางต่างกัน	450	LT235/85R16	0.235	0.40	0.20
	450	LT265/70R16	0.265	0.39	0.20
	450	P265/60R18	0.265	0.39	0.23
	450	245/55 R19	0.245	0.38	0.24
	450	245/50R20	0.245	0.38	0.25
ขนาดของหน้ายางเท่ากัน แต่ปริมาณบรรจุต่างกัน	693	225/40R18	0.225	0.32	0.23
	700	225/40R19	0.225	0.33	0.24
ขนาดของรัศมีของยางเท่ากัน แต่ปริมาณบรรจุต่างกัน	696	215/60 R17	0.215	0.34	0.22
	702	205/65 R16	0.205	0.34	0.20

จากตัวอย่างในตารางที่ 4-4 พบว่าปริมาณการบรรจุขึ้นอยู่กับขนาดของยาง ซึ่งสามารถเท่ากันหรือแตกต่างกันได้ตามขนาดที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นพิจารณาทีละตัวแปร พบว่า ขนาดของหน้ายางที่มีค่าน้อยจะบรรจุยางได้มาก ในทางกลับกัน ขนาดของหน้ายางที่มีค่ามาก จะบรรจุยางได้น้อย เช่นเดียวกับตัวแปรรัศมีของยางที่มีลักษณะเดียวกัน แต่พบว่าตัวแปรรัศมีของกระทะล้อไม่สอดคล้อง เนื่องจากไม่ว่าจะมีค่ามากหรือน้อย ก็ไม่มีผลต่อปริมาณการบรรจุ ดังเช่นในช่วงข้อมูลที่

สามารถบรรจุได้ 450 เส้นต่อตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งถือเป็นปริมาณที่บรรจุได้น้อย พบว่า ขนาดของหน้า  
 ยางและรัศมีของยางมีค่าค่อนข้างมาก แต่กลับมีค่าทุกช่วงของรัศมีของกระทะล้อ ดังนั้นหากตัวแปร  
 ขนาดของหน้ายางและรัศมีของยางมีค่าน้อย จำนวนยางจะมีแนวโน้มสูง กล่าวคือ หากยางรถยนต์มี  
 ขนาดเล็ก ปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า มีความสัมพันธ์  
 ระหว่างตัวแปร ดังเช่น เมื่อรัศมีของยาง มีขนาดใหญ่ ตัวแปรขนาดของหน้ายางก็จะมีขนาดใหญ่  
 เช่นกัน จากนั้นจึงพิจารณาสำหรับการบรรจุแบบไขว้ ดังนี้

#### 4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลยางสำหรับการบรรจุแบบไขว้

จากข้อมูลชุดเรียนรู้สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ โดย จากตัวอย่างทั้งหมด 1,504 ตู้คอนเทน  
 เนอร์ แบ่งช่วงของข้อมูลเพื่อพิจารณาค่าการกระจายตัวและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในรูปแบบ  
 ของไวโอลินเช่นเดียวกับการบรรจุแบบตั้ง ดังรูปที่ 4-6 ซึ่งแสดงถึงปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปร  
 สำหรับวิธีการจัดเรียงแบบไขว้



รูปที่ 4-6 ปริมาณการบรรจุแยกตามตัวแปรของการจัดเรียงแบบไขว้

จากรูปที่ 4-6 พบว่า ข้อมูลค่อนข้างมีความแปรปรวนสูง ดังเห็นได้จากความหนาของกราฟสาเหตุหนึ่งที่ข้อมูลค่อนข้างซ้ำกันอันเนื่องมาจากลักษณะการบรรจุแบบไขว้ที่ส่วนมากมักจะทำการบรรจุกับยางที่มีขนาดไม่ใหญ่มากเพื่อป้องกันความเสียหายจากการบรรจุ พิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูล พบว่ามีลักษณะของข้อมูลเหมือนกับการบรรจุแบบตั้งดังตัวอย่างในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของข้อมูล การบรรจุแบบตั้ง

ตัวอย่าง	ปริมาณบรรจุ	คำอธิบายขนาด	D	R	r
ปริมาณการบรรจุเท่ากัน แต่ขนาดยางต่างกัน	900	205/55 ZR16	0.205	0.32	0.20
	900	215/55 R16	0.215	0.32	0.20
	900	205/60 R16	0.205	0.33	0.20
	900	215/60 R16	0.215	0.33	0.20
ขนาดของหน้ายางเท่ากัน แต่ปริมาณบรรจุต่างกัน	610	225/55 R19	0.225	0.37	0.24
	731	225/55R18	0.225	0.35	0.23
	765	225/55 R17	0.225	0.34	0.22
ขนาดของรัศมีของยางเท่ากัน แต่ปริมาณบรรจุต่างกัน	720	215/70 R16	0.215	0.35	0.20
	765	215/75 R15	0.215	0.35	0.19
	784	225/60 R17	0.225	0.35	0.22

จากตัวอย่างในตารางที่ 4-5 พบว่าปริมาณการบรรจุขึ้นอยู่กับขนาดของยางที่เปลี่ยนแปลงไป พิจารณาที่ละตัวแปร พบว่า ขนาดของหน้ายางและรัศมีของยางยังมีค่ามาก จะสามารถบรรจุยางได้น้อย เช่นเดียวกับวิธีการบรรจุแบบตั้ง นอกจากนี้ยังพบว่าตัวแปรรัศมีของกระทะล้อ มีผลต่อการบรรจุ ดังในรูปที่ 4-6 ซึ่งแสดงช่วงที่รัศมีกระทะล้อมีค่ามาก จะสามารถบรรจุยางได้น้อย ตัวแปรทั้งสองตัวข้างต้น ซึ่งแตกต่างกับวิธีการจัดเรียงแบบตั้ง ที่อยู่ในทุกช่วงของจำนวนยางที่สามารถบรรจุได้

เมื่อเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ข้อมูลชุดเรียนรู้ ของวิธีการบรรจุยางทั้งสองลักษณะ แล้ว พบว่า หากยางรถยนต์มีขนาดเล็ก ย่อมมีแนวโน้มที่จะสามารถบรรจุยางได้สูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ มีความสัมพันธ์แบบเชิงลบกับตัวแปรอื่น นอกจากนี้พบว่า การบรรจุแบบไขว้สามารถบรรจุยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ได้ปริมาณมากกว่าและมีความแปรปรวนกว่าการบรรจุแบบตั้ง อนึ่งปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ของยางที่มีขนาดกายภาพ



ใกล้เคียงกันมักมีปริมาณเท่ากันเนื่องจากพนักงานวางแผนการส่งออกอาศัยประสบการณ์และข้อมูลในอดีตในการกำหนดปริมาณยาง

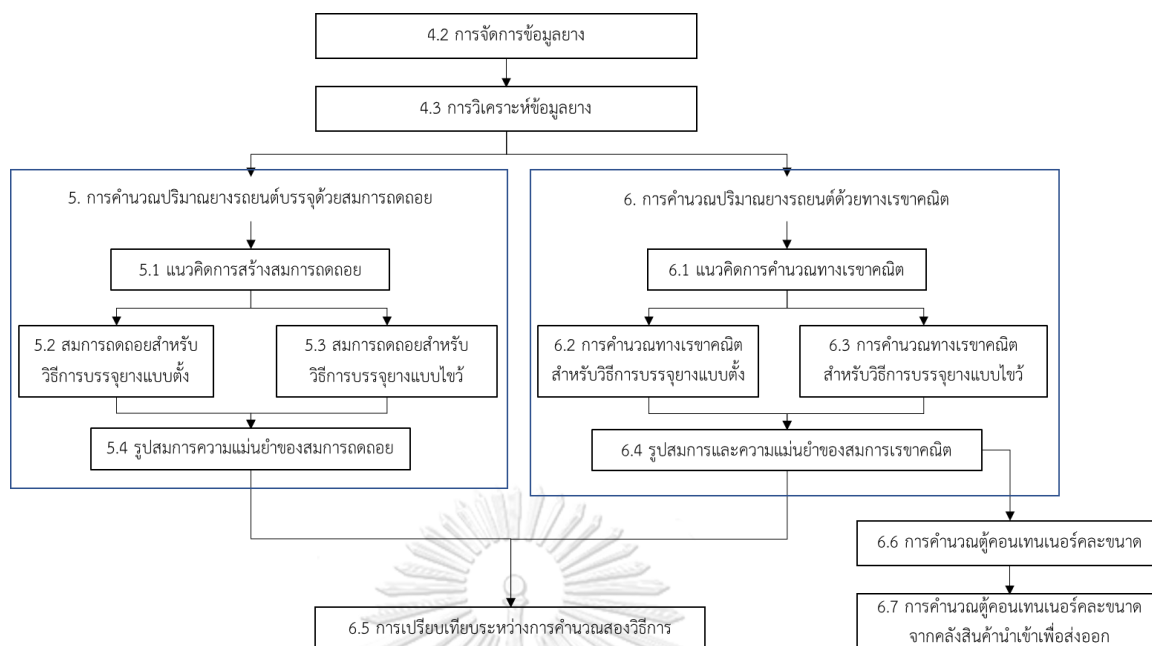
#### 4.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณของงานวิจัยฉบับนี้ทั้งหมด ตั้งแต่การจัดการและการวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการคำนวณปริมาณยางด้วยแบบพยากรณ์ต่างๆ ดำเนินงานโดยใช้โปรแกรม R โดยแนวคิดการสร้างแบบจำลองการทำนายปริมาณยาง มีแนวคิดหลักในการทำนายอยู่ 2 แนวทาง ได้แก่

- การนำข้อมูลส่งออกจริงย้อนหลังมาวิเคราะห์และพยากรณ์ปริมาณการบรรจุยางต่อตู้คอนเทนเนอร์โดยสมการถดถอย
- การทำนายโดยการสร้างสมการทางเรขาคณิต ซึ่งเกิดจากการนำขนาดของยาง มาเปรียบเทียบกับขนาดของตู้คอนเทนเนอร์โดยการสร้างสมการการคำนวณจากลักษณะการบรรจุยาง

ดังรูปที่ 4-7 ซึ่งได้อธิบายของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยภาพรวม

CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง

จากรูปที่ 4-7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยหลังจากที่ได้ทำการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลยางในหัวข้อ 4.2 และ 4.3 แล้ว ผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาการพยากรณ์โดยอาศัย 2 แนวทางได้แก่ แนวทางการคำนวณปริมาณยางรถยนต์ด้วยสมการถดถอย และแนวคิดการคำนวณด้วยสมการทางเรขาคณิตในบทที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

หลังจากอธิบายแนวคิดและการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อที่ 5.1 แล้ว จะดำเนินการสร้างรูปแบบของสมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุยางแบบตั้งในหัวข้อที่ 5.2 และวิธีการบรรจุยางแบบไขว้ในหัวข้อที่ 5.3 จากนั้นจึงจะพิจารณาความแม่นยำของสมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุยางทั้งสองวิธีในหัวข้อที่ 5.4 และในบทที่ 6 จะกล่าวถึงการคำนวณปริมาณยางรถยนต์ด้วยเรขาคณิต ในหัวข้อที่ 6.1 แล้วจะดำเนินการคำนวณสำหรับการบรรจุแบบตั้งในหัวข้อที่ 6.2 และแบบไขว้ในหัวข้อที่ 6.3 จากนั้นจะทดสอบความแม่นยำของวิธีเรขาคณิตในหัวข้อที่ 6.4 แล้วจึงเปรียบเทียบความแม่นยำ

ระหว่างวิธีการในหัวข้อที่ 6.5 นอกจากนี้ ยังได้นำการคำนวณด้วยเรขาคณิตมาประยุกต์ใช้กับตู้คอนเทนเนอร์ที่มีการบรรจุอย่างมากว่า 1 ขนาด ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 6.6 และนำวิธีการคำนวณทั้งสองวิธี อันได้แก่วิธีสมการถดถอยและวิธีการคำนวณทางเรขาคณิต มาประยุกต์ใช้กับตู้คอนเทนเนอร์ละขนาดที่ส่งออกจากคลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก ซึ่งเป็นคลังสินค้าที่เป็นปัญหาของงานวิจัย เพื่อพิจารณาความแม่นยำก่อนนำวิธีการคำนวณแบบใหม่ไปใช้งาน



## บทที่ 5

### การคำนวณปริมาณยางรถยนต์บรรจุด้วยสมการถดถอย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการคำนวณปริมาณยางรถยนต์จากสมการถดถอย ซึ่งเป็นส่วนต่อจากการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลภายในหัวข้อที่ 4.3 ซึ่งพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร มีความเป็นไปได้ที่จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นทางลบ (Negative Linear Relationship) มีดังต่อไปนี้

#### 5.1 แนวคิดการสร้างสมการถดถอย

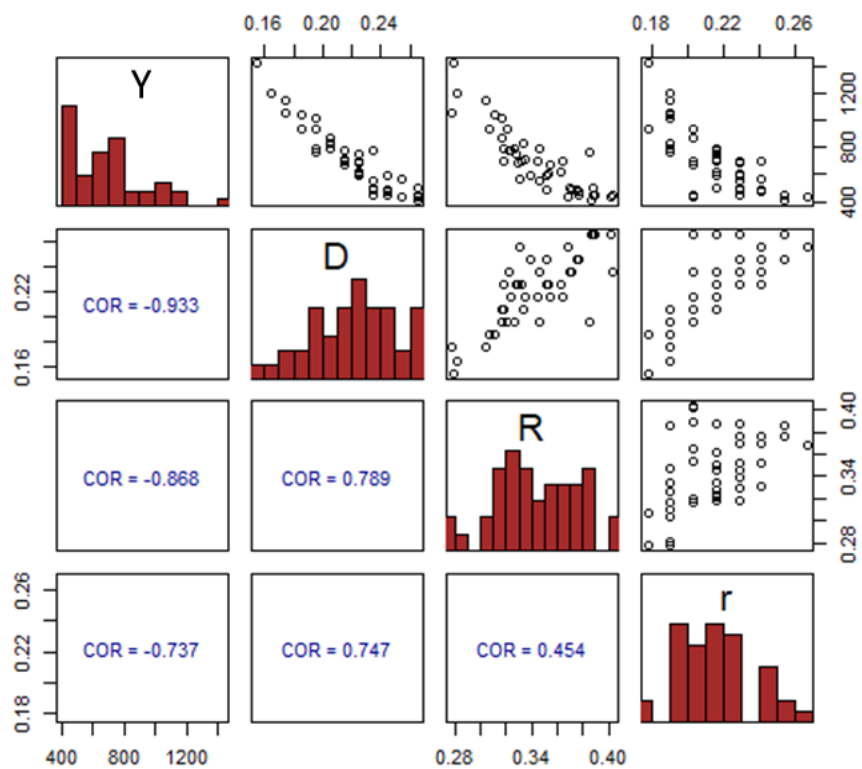
แนวคิดการสร้างสมการถดถอยเกิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลชุดเรียนรู้ ซึ่งมีแนวคิดการพิจารณาความสัมพันธ์ทางตรง และความสัมพันธ์ส่วนกลับ เนื่องจากความสัมพันธ์ของตัวแปร หากมองในแง่ขนาดของตัวแปรเทียบกับขนาดของตัวคอนเทนเนอร์ซึ่งมีค่าคงที่ ย่อมเป็นความสัมพันธ์ทางตรง แต่หากมองในมุมกลับซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในบทที่ 4 จะพบว่า ยิ่งขนาดของยางมีขนาดใหญ่ ก็จะส่งผลให้จำนวนบรรจุต่อตัวคอนเทนเนอร์มีจำนวนลดลง จากนั้นทำการเลือกแบบจำลองโดยใช้ 4 วิธีการหลัก

- แบบจำลองสมการการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression)
- แบบจำลองแบบขั้นบันได (Stepwise Regression)
- แบบจำลองทุกตัวแบบที่เป็นไปได้ (All Possible Subset)
- แบบจำลองแบบการเลือกตัวแปรที่ดีที่สุด (Best Subset Selection)

นอกจากนี้ยังพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งแบบทางตรงและส่วนกลับ ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

## 5.2 สมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุยางแบบตั้ง

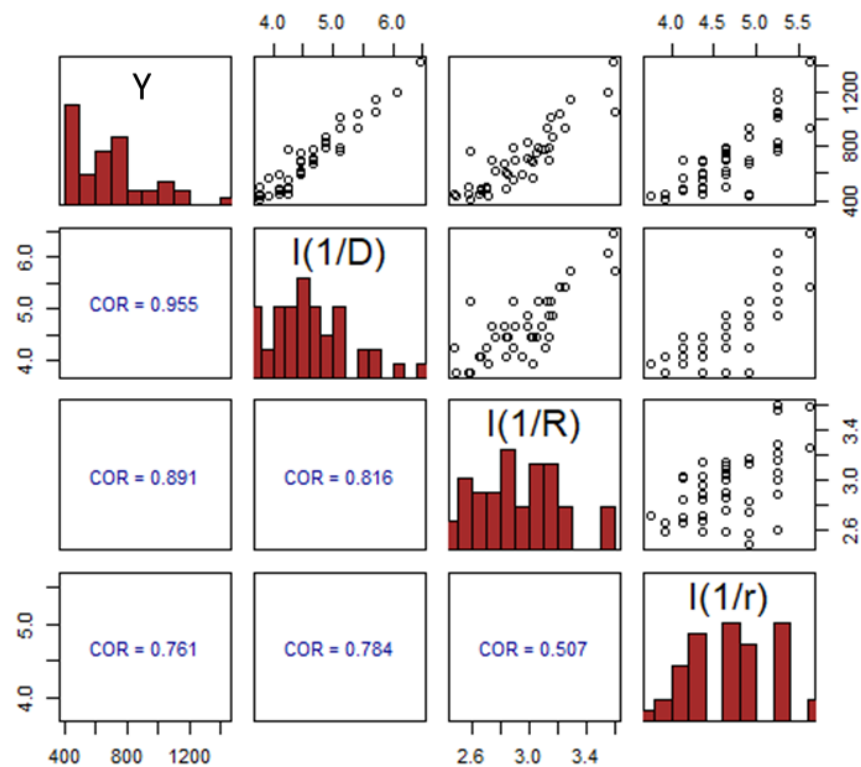
ก่อนการสร้างแบบจำลองสมการถดถอย ควรพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation : COR) และความสัมพันธ์ของการกระจายของปริมาณยางรถยนต์เต็มตู้คอนเทนเนอร์และลักษณะกายภาพของยางสำหรับการจัดเรียงแบบตั้ง ดังรูปที่ 5-1 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ทางตรงระหว่างตัวแปร



รูปที่ 5-1 ความสัมพันธ์ทางตรงระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุยางแบบตั้ง

จากรูปที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ (Y) ขนาดของหน้ายาง (D) รัศมีของยาง (R) และ รัศมีกระทะล้อ (r) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรปริมาณยางเต็มตู้ (Y) ล้วนแล้วแต่สัมพันธ์กับตัวแปรลักษณะทางกายภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Y กับตัวแปร D มีค่าสัมบูรณ์ของสหสัมพันธ์ (Absolute Correlation) สูงถึง 0.933 รองลงมาเป็นความสัมพันธ์

ระหว่าง Y กับ R มีค่าสัมบูรณ์สหสัมพันธ์ 0.868 และความสัมพันธ์ระหว่าง D กับ R มีค่าสัมบูรณ์สหสัมพันธ์ 0.789 แต่ล้วนเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงลบ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของการวิเคราะห์ข้อมูลยาง ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 4.3 เพื่อพิสูจน์จึงได้พิจารณาค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงลบ ในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 ความสัมพันธ์ส่วนกลับระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุยางแบบตั้ง

จากรูปที่ 5-2 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นส่วนกลับ ระหว่าง Y กับตัวแปรทั้ง 3 พบว่า มีค่าสัมบูรณ์ของสหสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ  $1/D$  สูงถึง 0.955 ซึ่งสูงกว่าความสัมพันธ์ทางตรง และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $1/D$  และ  $1/R$  มีค่าสัมบูรณ์ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 0.816 ซึ่งมีค่าสูงกว่าความสัมพันธ์แบบทางตรง นอกจากนี้ยังพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไม่เป็นอิสระ

ระหว่างกัน และมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน (Interaction) ดังนั้นสมการถดถอยควรพิจารณานำค่าอันตรกิริยาในการสร้างแบบจำลอง

จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในรูปที่ 5-1 และรูปที่ 5-2 พบว่าความสัมพันธ์ส่วนกลับมีค่าสัมบูรณ์ของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรสูงกว่าความสัมพันธ์ทางตรง จึงพิจารณารูปแบบของแบบจำลองเป็นส่วนกลับด้วย จากวิธีการสร้างแบบจำลองที่ได้กล่าวไป สามารถสร้างแบบจำลองได้ดังนี้

### 5.2.1 แบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่าย

วิธีการนี้สร้างจากแนวคิดการเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญมาใช้สร้างแบบจำลองเท่านั้น ซึ่งการพิจารณาความมีนัยสำคัญของตัวแปร จะพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของชุดข้อมูล ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของข้อมูลการบรรจุยางแบบตั้ง

ตัวแปร	Df	Sum of Square	Mean Square	F value	Pr(>F)
D	1	2,044,953.66	2,044,953.66	754.48	0.00
R	1	107,608.15	107,608.15	39.70	0.00
r	1	45,740.62	45,740.62	16.88	0.00
D:R	1	41,400.85	41,400.85	15.27	0.00
D:r	1	5,982.55	5,982.55	2.21	0.15
R:r	1	6,057.51	6,057.51	2.23	0.14
D:R:r	1	134.84	134.84	0.05	0.82
ความคลาดเคลื่อน	35	94,864.09	2,710.40		

จากข้อมูลในตารางที่ 5-1 พบว่า ตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับชุดข้อมูล และเหมาะสมแก่การนำมาสร้างแบบจำลอง ได้แก่ ตัวแปร D ตัวแปร R ตัวแปร r และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร D กับ

R ซึ่งจะนำตัวแปรเหล่านี้มาสร้างสมการถดถอยทั้งทางตรง โดยการใส่ตัวแปร D และ R เนื่องจากมี  
นัยสำคัญสูง ย่อมส่งผลต่อตัวแปรตามสูง

แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายทางตรง กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า ORI.SMP มีค่า F-Value  
ของแบบจำลอง 221.7 ด้วย 2 ตัวแปรหลักและ 40 องศาอิสระ และค่า P-Value ของแต่ละเทอมของ  
ตัวแปร ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายทางตรง วิธีบรรจุมุมแบบตั้ง

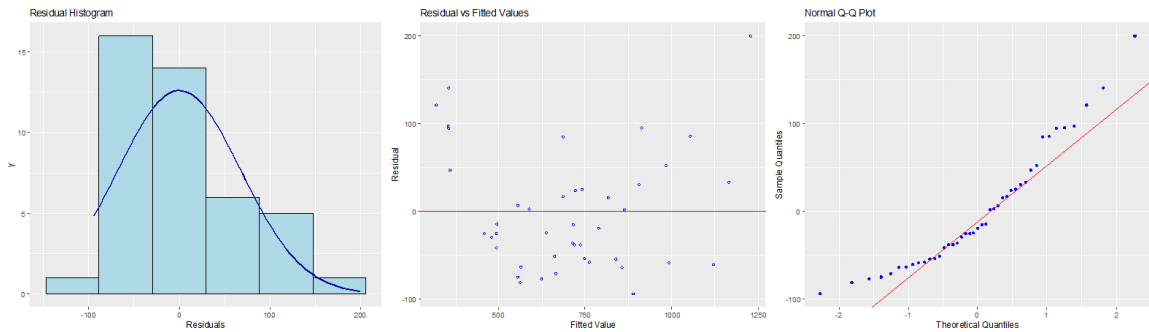
ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	2773.70	114.70	24.17	< 2e-16 ***
D	-5420.30	610.00	-8.89	5.20e-11 ***
R	-2533.00	538.00	-4.71	2.99e-05 ***

ตารางที่ 5-2 แสดงค่าการประมาณ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ค่า T-value และ ความ  
เป็นนัยสำคัญของแต่ละตัวแปรด้วยค่า P-Value พบว่า ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญต่อแบบจำลอง ได้แก่  
ตัวแปร D และ R ซึ่งสามารถสร้างสมการจากค่าประมาณการของแบบจำลองได้ดังสมการที่ 5-1

$$Y = 2773.7 - 5420.3 (D) - 2533 (R) \quad (5-1)$$

สมการที่ 5-1 เป็นสมการที่ได้จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายทางตรง ผู้วิจัยจึงขอ  
ตรวจสอบความแม่นยำและสมมติฐานที่เกี่ยวข้องโดยการพิจารณา ค่าผลต่าง หรือ Residual ซึ่งเป็น  
ผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการที่ 5-1 จำนวนพยากรณ์ต่อคู่คอนเทนเนอร์จริง ดังรูปที่ 5-3





ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-3 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายทางตรง บรรจุแบบตั้ง

พิจารณาค่าผลต่างจากรูปที่ 5-3 เพื่อดูการกระจายตัวและความเป็นปกติของสมการ พบว่าการกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายไม่เป็นปกติโดยค่อนข้างต่ำ จาก Histogram ดังรูปที่ 5-3 ก) และการกระจายตัว ดังรูปที่ 5-3 ข) และมีแนวทางของความแตกต่างเป็นเส้นตรงโดยมี Outlier ดังรูปที่ 5-3 ค)

นอกจากนี้ยังได้พิจารณารูปแบบของแบบจำลองด้วยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรส่วนกลับ กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า INV.SMP โดยแบบจำลองถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ มีค่า F-Value ของแบบจำลอง 375.5 ด้วย 2 ตัวแปรหลักและ 40 องศาอิสระ และมีรายละเอียดของการสร้างแบบจำลองดังนี้

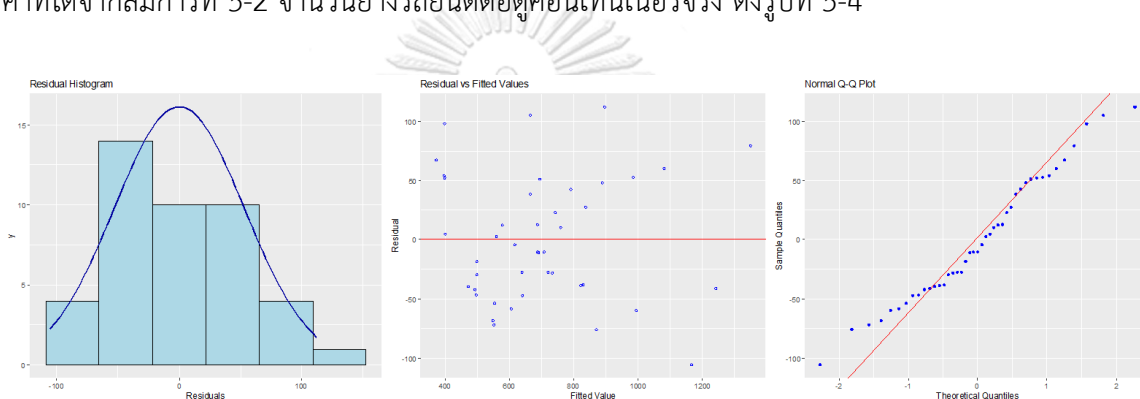
ตารางที่ 5-3 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบตั้ง

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	-1260.29	88.68	-14.21	< 2e-16 ***
I(1/D)	250.99	22.56	11.12	8.21e-14 ***
I(1/R)	275.70	50.97	5.41	3.19e-06 ***

ตารางที่ 5-3 แสดงรายละเอียดของการสร้างสมการแบบจำลองถดถอยอย่างง่าย ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรส่วนกลับ พิจารณาค่า P-Value ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญของสมการคือ  $1/D$  และ  $1/R$  สามารถสร้างสมการถดถอยส่วนกลับดังสมการที่ 5-2

$$Y = -1260.29 + 250.99 \left(\frac{1}{D}\right) + 275.70 \left(\frac{1}{R}\right) \quad (5-2)$$

ตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่ 5-2 โดยการพิจารณา ค่าผลต่าง ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการที่ 5-2 จำนวนยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์จริง ดังรูปที่ 5-4



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-4 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ บรรจุแบบตั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 5-4 พิจารณาการกระจายตัวและความเป็นปกติของสมการ พบว่า การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวไม่เป็นปกติ จาก Histogram รูปที่ 5-4 ก) และจากผลต่างเทียบกับค่าพอดิ ดังรูปที่ 5-4 ข) และมีแนวทางของความแตกต่างเป็นเส้นตรงโดยมี Outlier ดังรูปที่ 5-4 ค)

เมื่อได้สมการถดถอยอย่างง่ายแล้ว จะพิจารณาแบบจำลองจากวิธีการอื่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

## 5.2.2 แบบจำลอง Stepwise

วิธีการสร้างแบบจำลอง Stepwise เกิดจากการพิจารณาตัวแปรทั้งหมด และลดตัวแปรที่ไม่เป็นนัยสำคัญออก ซึ่งพิจารณาค่า F ร่วมกับค่า  $R^2_{adj}$  และ RMSE สุดท้ายแล้วจะได้สมการที่ดีที่สุดในการสร้างสมการถดถอย สำหรับขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise สำหรับตัวแปรทางตรง กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า ORI.STP มีลำดับขั้นตอน 4 ขั้นตอน และมีค่า F,  $R^2_{Adj}$  และค่า RMSE ดังตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ทางตรง การบรรจุแบบตั้ง

ขั้นตอนที่	วิธีการ	F	$R^2_{adj}$	RMSE
1	เพิ่ม D:R	329.739	0.887	79.561
2	เพิ่ม r	223.268	0.914	69.45
3	เพิ่ม D	145.132	0.911	70.333
4	เพิ่ม R	198.78	0.95	53.074

ตารางที่ 5-4 แสดงลำดับการสร้างแบบจำลอง Stepwise ของตัวแปรทางตรง มีการใช้ตัวแปรในแบบจำลอง ได้แก่ ตัวแปร D, R, r และ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร D กับ R มีค่า F-Value ของแบบจำลอง 198.8 ด้วย 4 ตัวแปรหลักและ 38 องศาอิสระ ค่า P-Value ของแต่ละเทอมของตัวแปร ดังตารางที่ 5-5

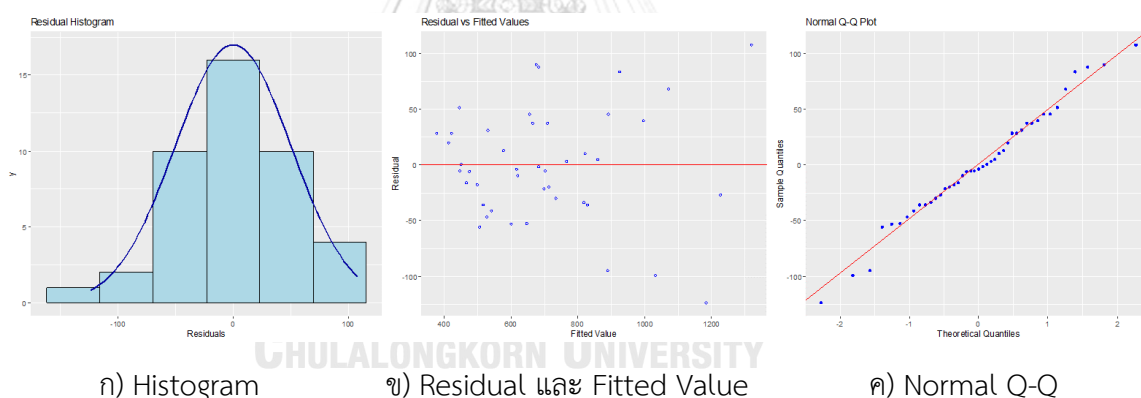
ตารางที่ 5-5 แบบจำลอง Stepwise ทางตรง วิธีบรรจุแบบตั้ง

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	5181.80	561.10	9.24	2.97e-11 ***
D	-14105.80	2835.60	-4.98	1.44e-05 ***
R	-9485.00	1717.70	-5.52	2.58e-06 ***
r	-1820.50	620.90	-2.93	0.005676 **
D:R	29889.80	7796.50	3.83	0.000461 ***

ตารางที่ 5-5 แสดงรายละเอียดของการสร้างสมการแบบจำลอง Stepwise ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางตรง พิจารณาค่า P-Value ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญของสมการคือ D, R, D:R และตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญในลำดับรองลงมาคือ r สามารถสร้างสมการถดถอยจากค่าประมาณดังสมการที่ 5-3

$$Y = 5181.83 - 14105.8 (D) - 9484.97 (R) - 1820.54 (r) + 29889.79 (D \times R) \quad (5-3)$$

จากการพิจารณาทุกตัวแปรที่มีนัยสำคัญจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5-4 และตารางที่ 5-5 จึงตรวจสอบความแม่นยำระหว่างสมการที่ 5-3 กับการบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์จริง ดังรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ทางตรง บรรจุแบบตั้ง

จากรูปที่ 5-5 การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ จาก Histogram รูปที่ 5-5 ก) และรูปที่ 5-5 ข) และมีแนวทางของความแตกต่างเป็นเส้นตรงโดยไม่มี Outlier ดังรูปที่ 5-5 ค)

พิจารณาแบบจำลอง Stepwise ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแบบส่วนกลับ กำหนดให้  
เรียกอย่างย่อว่า INV.STP มีลำดับขั้นตอนการสร้างสมการดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-6 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ การบรรจุแบบตั้ง

ขั้นตอนที่	วิธีการ	F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	RMSE
1	เพิ่ม (1/D)	427.328	0.91	70.788
2	เพิ่ม (1/R)	375.544	0.947	54.465
3	เพิ่ม (1/r)	304.162	0.956	49.66

จากตารางที่ 5-6 แสดงแบบจำลอง Stepwise ของตัวแปรส่วนกลับ มีขั้นตอนทั้งหมด 3  
ขั้นตอน เริ่มต้นจากส่วนกลับของตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ เลือกตัวแปร D, R และ r มีค่า F-Value  
ของแบบจำลอง 304.2 ด้วย 3 ตัวแปรหลักและ 39 องศาอิสระ ค่า P-Value ของแต่ละเทอมของตัว  
แปร ดังตารางที่ 5-7

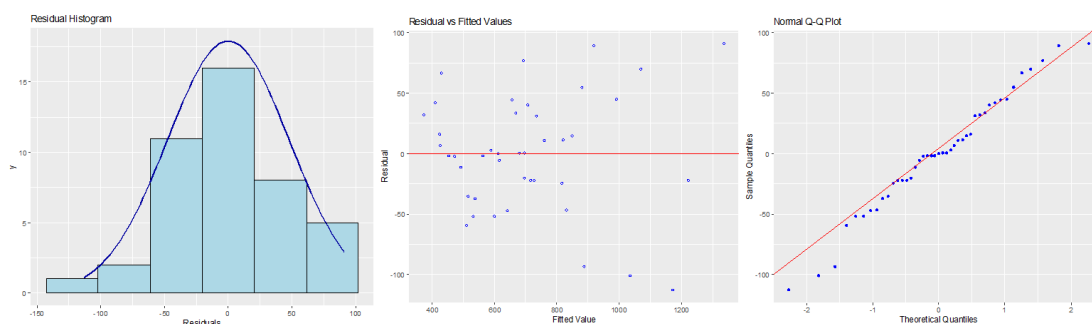
ตารางที่ 5-7 แบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบตั้ง

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	-1507.61	115.12	-13.10	7.37e-16 ***
1/(D)	182.01	30.75	5.92	6.71e-07 ***
1/(R)	331.51	50.02	6.63	6.99e-08 ***
1/(r)	85.38	28.29	3.02	0.00446 **

ตารางที่ 5-7 แสดงรายละเอียดของการสร้างสมการแบบจำลอง Stepwise ความสัมพันธ์  
ส่วนกลับ ค่า P-Value ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญของสมการคือ 1/D และ 1/R ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญใน  
ลำดับรองลงมาคือ 1/r สามารถสร้างสมการถดถอยจากค่าประมาณดังสมการที่ 5-4

$$Y = -1507.608 + 182.006 \left(\frac{1}{D}\right) + 331.51 \left(\frac{1}{R}\right) + 85.377 \left(\frac{1}{r}\right) \quad (5-4)$$

ตรวจสอบการกระจายตัวและ Outlier ของสมการที่ 5-4 ได้ดังรูปที่ 5-6



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-6 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ บรรจุแบบตั้ง

จากรูปที่ 5-6 การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ จาก Histogram รูปที่ 5-6 ก) และรูปที่ 5-6 ข) และมีแนวทางของความแตกต่างเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 5-6

ค)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แบบจำลอง Stepwise มีเพียงตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญแต่เพียงเท่านั้น ถึงหากจะพิจารณาตัว

แปรที่ครอบคลุม ควรพิจารณาจากแบบจำลองทุกตัวแปรที่เป็นไปได้ ดังจะกล่าวถัดไป

### 5.2.3 แบบจำลอง All Possible

การสร้างแบบจำลองแบบนำตัวแปรทุกตัวมารวมคำนวณในสมการโดยไม่จำแนกความเป็นนัยสำคัญ แบบจำลองทุกตัวแปรของความสัมพันธ์ทางตรง กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า ORI.ALL มีค่า F-Value ของแบบจำลอง 118.7 ด้วย 7 ตัวแปรหลักและ 35 องศาอิสระ ค่า P-Value ของแต่ละเทอมของตัวแปร ดังตารางที่ 5-8

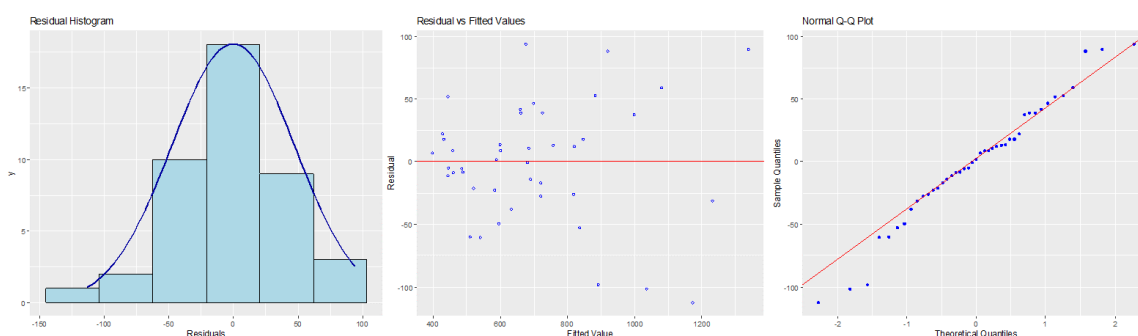
ตารางที่ 5-8 แบบจำลอง All Possible ทางตรง วิธีบรรจุแบบตั้ง

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	3011.00	8238.00	0.37	0.72
D	-18892.00	34785.00	-0.54	0.59
R	4194.00	24704.00	0.17	0.87
r	10338.00	43408.00	0.24	0.81
D:R	10630.00	101523.00	0.11	0.92
D:r	14109.00	179091.00	0.08	0.94
R:r	-70524.00	129102.00	-0.55	0.59
D:R:r	116548.00	522534.00	0.22	0.83

ตารางที่ 5-8 จะพิจารณาทุกตัวแปรโดยไม่สนใจความเป็นนัยสำคัญ สามารถสร้างสมการถดถอยจากค่าประมาณดังสมการที่ 5-5

$$Y = 3011 - 18892 (D) + 4194 (R) + 10338 (r) + 10630 (D \times R) + 14109 (D \times r) - 70524 (R \times r) + 116548 (D \times R \times r) \quad (5-5)$$

จากสมการที่ 5-5 ตรวจสอบค่าการกระจายตัวและ Outlier กับการบรรจุทางจริงโดยการพิจารณา ดังรูปที่ 5-7



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-7 Residual จากแบบจำลอง All Possible ทางตรง บรรจุแบบตั้ง

พิจารณารูปที่ 5-7 การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ จาก Histogram รูปที่ 5-7 ก) และ รูปที่ 5-7 ข) และมีแนวทางของความแตกต่าง ดังรูปที่ 5-7 ค)

พิจารณาแบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า INV.ALL มีค่า F-Value ของแบบจำลอง 124.4 ด้วย 7 ตัวแปรหลักและ 35 องศาอิสระ รายละเอียดแต่ละเทอมของ ตัวแปร ดังตารางที่ 5-9

ตารางที่ 5-9 แบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบตั้ง

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	-1288.34	7297.85	-0.18	0.86
I(1/D)	-405.15	1818.36	-0.22	0.83
I(1/R)	778.59	2377.18	0.33	0.75
I(1/r)	172.86	1410.64	0.12	0.90
I(1/D):I(1/R)	87.14	577.42	0.15	0.88
I(1/D):I(1/r)	93.58	346.82	0.27	0.79
I(1/R):I(1/r)	-138.17	458.28	-0.30	0.77
I(1/D):I(1/R):I(1/r)	-8.60	108.92	-0.08	0.94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

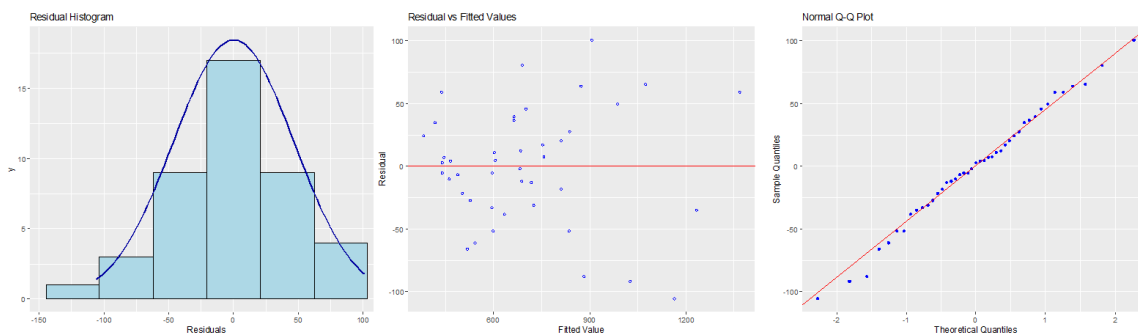
ตารางที่ 5-9 จะพิจารณาทุกตัวแปรโดยไม่สนใจความเป็นนัยสำคัญเช่นเดียวกับความสัมพันธ์

ทางตรง สามารถสร้างสมการถดถอยจากค่าประมาณดังสมการที่ 5-6

$$\begin{aligned}
 Y = & -1288.342 - 405.146 \left(\frac{1}{D}\right) + 778.589 \left(\frac{1}{R}\right) + 172.855 \left(\frac{1}{r}\right) + 87.136 \left(\frac{1}{D \times R}\right) + 93.581 \left(\frac{1}{D \times r}\right) \\
 & - 138.171 \left(\frac{1}{R \times r}\right) - 8.601 \left(\frac{1}{D \times R \times r}\right)
 \end{aligned} \quad (5-6)$$

พิจารณาค่าการกระจายตัวและ Outlier จากสมการที่ 5-6 ได้ดังรูปที่ 5-8





ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-8 Residual จากแบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ บรรจุแบบตั้ง

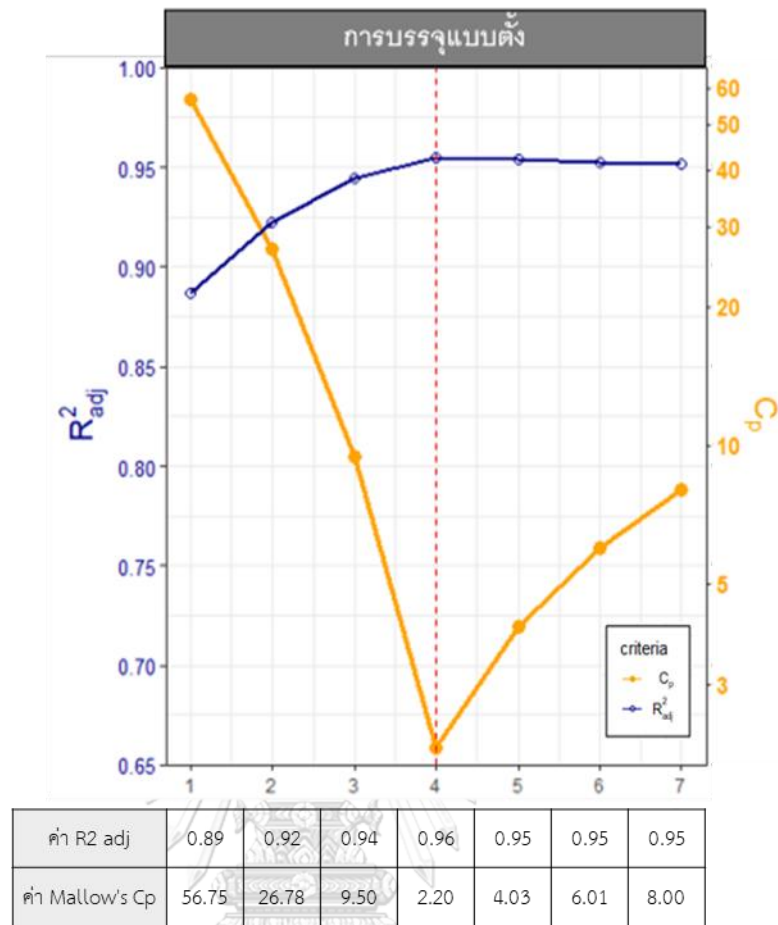
การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ จาก Histogram รูปที่ 5-8 ก) และ รูปที่ 5-8 ข) และมีแนวทางของความแตกต่างเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 5-8 ค)

จากรูปสมการที่ 5-5 และ 5-6 สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า มีจำนวนพจน์ที่มากกว่าแบบจำลองในลักษณะอื่น ซึ่งอาจให้เกิดการคำนวณที่ซับซ้อนและจำนวนพจน์ที่มากเกินไป จึงจะพิจารณาการสร้างสมการที่เหมาะสมจากวิธีการเลือกตัวแปรที่ดีที่สุด ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 5.2.4 แบบจำลอง Best Subset Selection

เป็นการพิจารณาตัวแปรทุกตัวทั้งความสัมพันธ์ทางตรงและส่วนกลับ ทุกตัวแปรแล้วเลือกจำนวนตัวแปรที่เหมาะสมจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการเลือกตัวแปรอิสระ กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า ORI.BSS หรือการพิจารณาค่า  $R^2_{adj}$  ร่วมกับ  $C_p$  ดังรูป 5-9 ซึ่งแสดงถึงค่า  $R^2_{adj}$  และค่า  $C_p$  ของสมการถดถอยแยกตามจำนวนพารามิเตอร์



รูปที่ 5-9 ค่า  $R^2_{adj}$  และ  $C_p$  ของแบบจำลอง Best Subset Selection การบรรจุแบบตั้ง

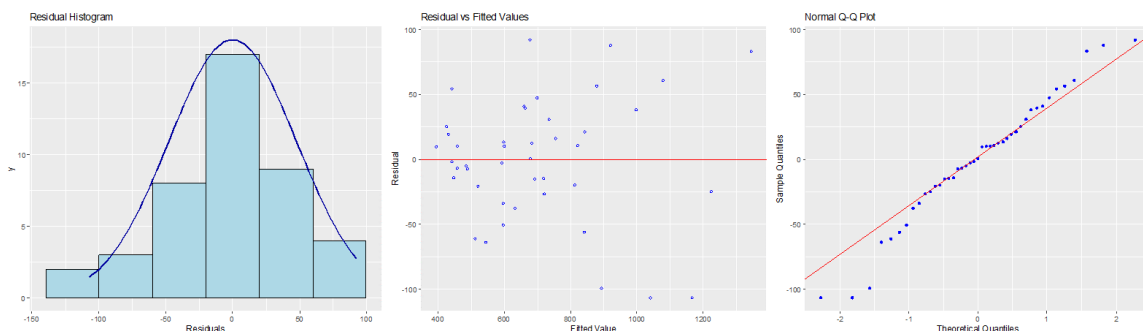
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเลือกจำนวนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่า  $R^2_{adj}$  มากและค่า  $C_p$  น้อย จาก

รูปที่ 5-9 จำนวนพารามิเตอร์ที่ควรเลือกคือ 4 พารามิเตอร์ซึ่งเป็นสมการของแบบจำลองนี้ มีสมการ  
ดังสมการที่ 5-7

$$Y = 4820 - 27402 (D) - 30824 (D \times R) + 62082 (D \times r) - 45829 (R \times r) \quad (5-7)$$

ตรวจสอบความแม่นยำจากการกระจายตัวและ Outlier ของสมการที่ 5-7 ดังรูปที่ 5-9



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-10 Residual จากแบบจำลอง Best Subset Selection

การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ จาก Histogram รูปที่ 5-10 ก) และ Residual และ Fitted Value ดังรูปที่ 5-10 ข) และมีแนวทางของความแตกต่างเป็นเส้นตรงโดยจาก Normal Q-Q ดังรูปที่ 5-10 ค)

เมื่อได้สมการจากวิธีการทั้งหมดแล้วจะนำไปสู่การเลือกแบบจำลองสมการถดถอยที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ โดยพิจารณาจาก  $R^2_{adj}$ ,  $C_p$ , AIC และ MAPE โดยการเปรียบเทียบความแม่นยำจากข้อมูลชุดเรียนรู้ของวิธีการบรรจุแบบตั้งตามแบบจำลองของสมการถดถอย โดยกำหนดประเภทแบบจำลองเป็นตัวอักษรดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ข้อมูลที่ใช้พิจารณาดังตารางที่ 5-10

CHULALONGKORN UNIVERSITY

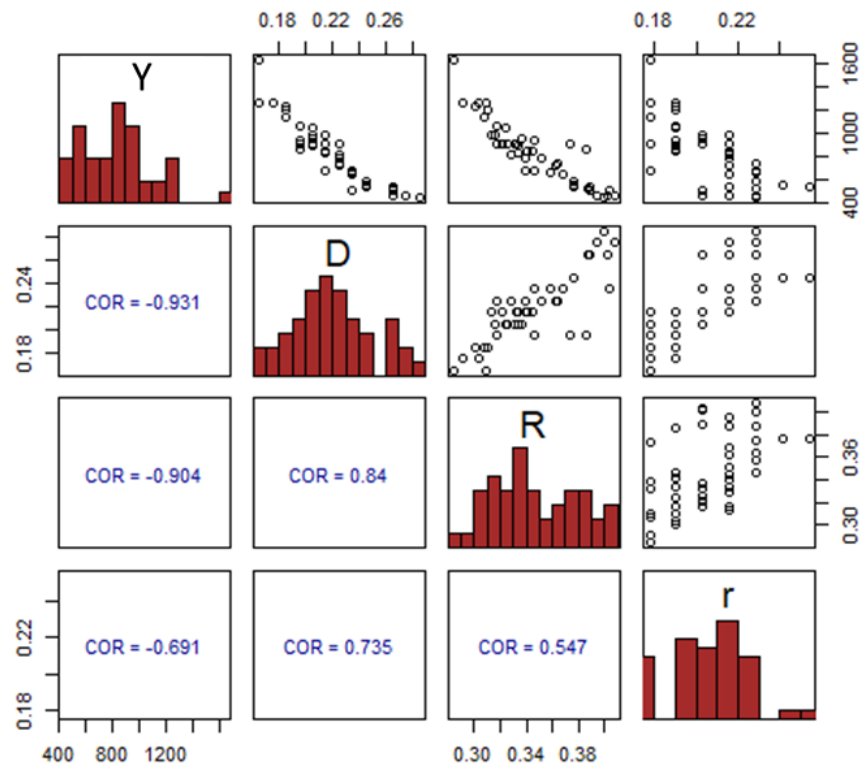
ตารางที่ 5-10 ค่าการพิจารณาเลือกแบบจำลองสมการถดถอย สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

แบบจำลอง	AIC	$R^2_{adj}$	MAPE	$C_p$	หมายเหตุ
ORI.SMP	491.89	0.91	11.94	34.64	สมการที่ 5-1
ORI.STP	470.28	0.95	5.39	6.49	สมการที่ 5-3
ORI.ALL	471.09	0.95	4.76	8.00	สมการที่ 5-5
INV.SMP	470.71	0.95	9.26	8.81	สมการที่ 5-2
INV.STP	463.68	0.96	5.42	2.13	สมการที่ 5-4
INV.ALL	469.14	0.95	4.91	8.00	สมการที่ 5-6
ORI.BSS	465.33	0.96	5.01	2.20	สมการที่ 5-7

ตารางที่ 5-4 พบว่า ค่าในตารางมีความใกล้เคียงกันในทุกแบบจำลอง แบบจำลองที่มีค่า AIC และ  $C_p$  ต่ำที่สุด คือแบบจำลอง INV.STP ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง ORI.BSS เพียงเล็กน้อย แต่แบบจำลอง ORI.BSS มีค่า MAPE ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังได้ตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบค่าการกระจายตัวและพิจารณา Outlier ดังรูปที่ 5-3 และ 5-4 สำหรับแบบจำลอง สมการถดถอยอย่างง่าย รูปที่ 5-5 และ 5-6 สำหรับแบบจำลอง Stepwise รูปที่ 5-7 และ 5-8 สำหรับแบบจำลอง All Possible และรูปที่ 5-10 สำหรับแบบจำลอง Best Subset Selection พบว่า แบบจำลอง Best Subset Selection มีการกระจายตัวแบบปกติกว่าแบบจำลองรูปแบบอื่น จึงเลือก เป็นตัวแทนสมการการคำนวณสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

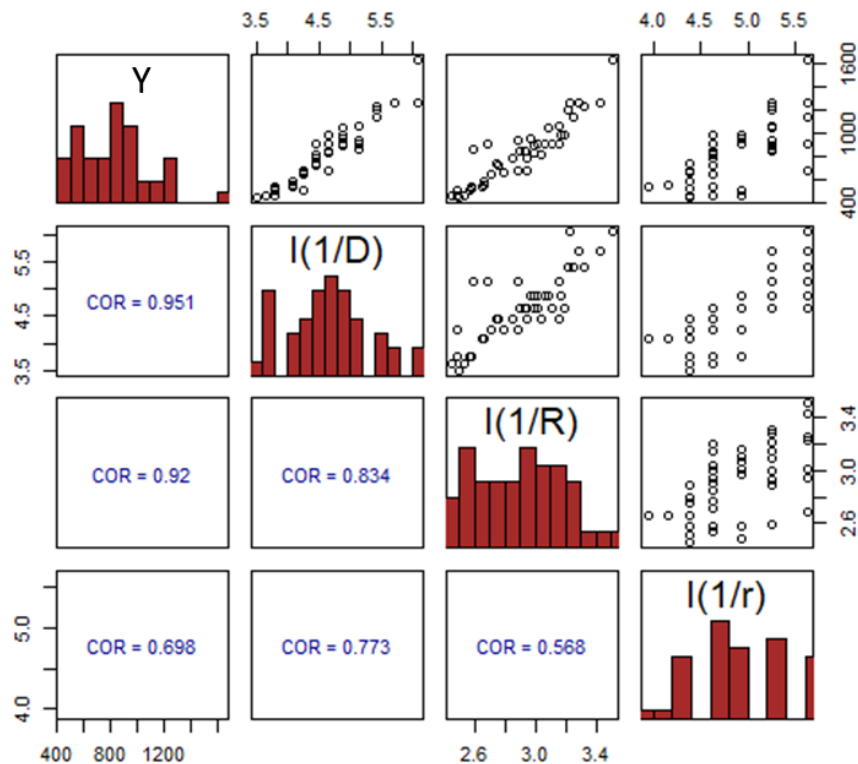
### 5.3 สมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

สำหรับการบรรจุแบบไขว้ ใช้แนวคิดเดียวกันในการวิเคราะห์สมการถดถอย เริ่มจากการพิจารณาค่าทางสถิติของข้อมูล และจัดกลุ่มของข้อมูลแต่ละตัวแปรเช่นเดียวกับการบรรจุแบบตั้ง แล้วจึงพิจารณาค่าสหสัมพันธ์และความสัมพันธ์ของการกระจายของปริมาณการถดถอยเต็มผู้คอนเทนเนอร์และลักษณะกายภาพของยางสำหรับการจัดเรียงแบบไขว้ แต่เนื่องจากการบรรจุแบบไขว้เป็นการแทรกขางลงไปยังพื้นที่ว่างตรงกลางของยาง จึงมีความเป็นไปได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง จะมีผลต่อจำนวนการบรรจุสูงกว่าการบรรจุแบบตั้ง ดังรูปที่ 5-11 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ทางตรงระหว่างตัวแปร



รูปที่ 5-11 ความสัมพันธ์ทางตรงระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุยางแบบไขว้

จากรูปที่ 5-11 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางตรงของวิธีการบรรจุแบบไขว้ ค่าสัมบูรณ์สหสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ D เท่ากับ 0.931 และระหว่าง Y กับ R เท่ากับ 0.904 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูง ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้างต้นมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงลบเช่นเดียวกับการบรรจุแบบตั้ง จึงได้พิจารณาค่าสหสัมพันธ์แบบเชิงลบ ในรูปที่ 5-12



รูปที่ 5-12 ความสัมพันธ์ส่วนกลับระหว่างตัวแปร สำหรับวิธีการบรรจุยางแบบไขว้

จากรูปที่ 5-12 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นส่วนกลับ มีค่าสัมบูรณ์ของสหสัมพันธ์ระหว่าง  $Y$  กับ  $1/D$  สูงถึง 0.951 และค่าสัมบูรณ์ของสหสัมพันธ์ระหว่าง  $Y$  กับ  $1/D$  เท่ากับ 0.92 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเรียงแบบตั้ง พบว่า การจัดเรียงแบบไขว้มีค่าสัมบูรณ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่าการจัดเรียงแบบตั้ง ซึ่งเกิดจากจำนวนชุดข้อมูลชุดเรียนรู้ที่น้อยกว่า และการจัดเรียงแบบไขว้มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไม่เป็นอิสระระหว่างกัน และมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน (Interaction) สมการถดถอยจึงพิจารณาค่าอันตรกิริยาในการสร้างแบบจำลองเช่นเดียวกับการจัดเรียงแบบตั้ง

การสร้างแบบจำลองการคำนวณปริมาณยางรถยนต์บรรจุด้วยสมการถดถอย มีแนวคิดเดียวกับการจัดเรียงแบบตั้ง ดังได้กล่าวในหัวข้อที่ 5.1 สร้างจากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่าย

แบบจำลอง Stepwise แบบจำลอง All Possible และวิธีการ Best Subset Selection ซึ่งมีวิธีการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

### 5.3.1 แบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่าย

วิธีการนี้สร้างจากแนวคิดการเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของชุดข้อมูลมาใช้สร้างแบบจำลอง ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 5-11

ตารางที่ 5-11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของข้อมูลการบรรจุยางแบบไขว้

ตัวแปร	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
D	1	2,675,329.94	2,675,329.94	919.17	0.00
R	1	154,942.05	154,942.05	53.23	0.00
r	1	8,873.48	8,873.48	3.05	0.09
D:R	1	121,564.10	121,564.10	41.77	0.00
D:r	1	147.85	147.85	0.05	0.82
R:r	1	19,487.88	19,487.88	6.70	0.01
D:R:r	1	7.39	7.39	0.00	0.96
ความคลาดเคลื่อน	36	104,781.85	2,910.61		

จากตารางที่ 5-11 พบว่า ตัวแปรที่มีนัยสำคัญสำหรับข้อมูลการบรรจุยางแบบไขว้ ได้แก่ ตัวแปร D ตัวแปร R และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร D กับ R นอกจากนี้ยังพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร R กับ r มีความเป็นนัยสำคัญเพียงเล็กน้อย

แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายทางตรง กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า ORI.SMP มีค่า F-Value ของแบบจำลอง 227.7 ด้วย 2 ตัวแปรหลักและ 41 องศาอิสระ และค่า P-Value ของแต่ละเทอมของตัวแปร ดังตารางที่ 5-12

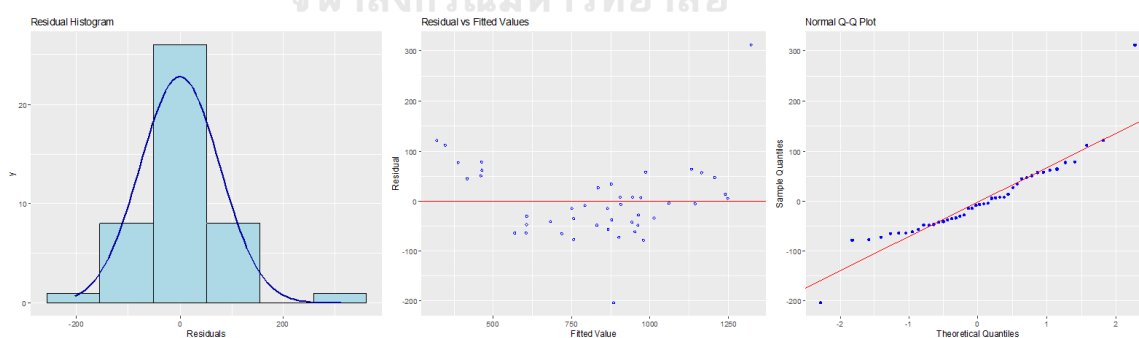
ตารางที่ 5-12 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายทางตรง วิธีบรรจุแบบไขว้

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	3125.20	129.80	24.09	< 2e-16 ***
D	-5193.20	734.40	-7.07	1.31e-08 ***
R	-3318.20	664.60	-4.99	1.15e-05 ***

ตารางที่ 5-12 แสดงค่าการประมาณ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ค่า T-value และความเป็นนัยสำคัญของแต่ละตัวแปรด้วยค่า P-Value พบว่า ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญต่อแบบจำลอง ได้แก่ ตัวแปร D และ R เช่นเดียวกันกับการบรรจุแบบตั้ง สามารถสร้างสมการจากค่าประมาณการของแบบจำลองได้ตั้งสมการที่ 5-8

$$Y = 3125.2 - 5193.2 (D) - 3318.2 (R) \quad (5-8)$$

ขอตรวจสอบความแม่นยำและสมมติฐานที่เกี่ยวข้องโดยการพิจารณาค่าการกระจายตัวและ Outlier ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากสมการกับ จำนวนยารถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์จริง ดังรูปที่ 5-13



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-13 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายทางตรง บรรจุแบบไขว้



จากรูปที่ 5-13 การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังรูปที่ 5-13 ก) การกระจายแบบปกติแต่มีค่าการกระจายตัวต่ำ ดังรูปที่ 5-13 ข) และมี Outlier ดังรูปที่ 5-13 ค)

ลำดับถัดไปคือการพิจารณาแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า INV.SMP โดยแบบจำลองถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ มีค่า F-Value ของแบบจำลอง 464.2 ด้วย 2 ตัวแปรหลักและ 41 องศาอิสระ และมีรายละเอียดของการสร้างแบบจำลองดังตารางที่ 5-13

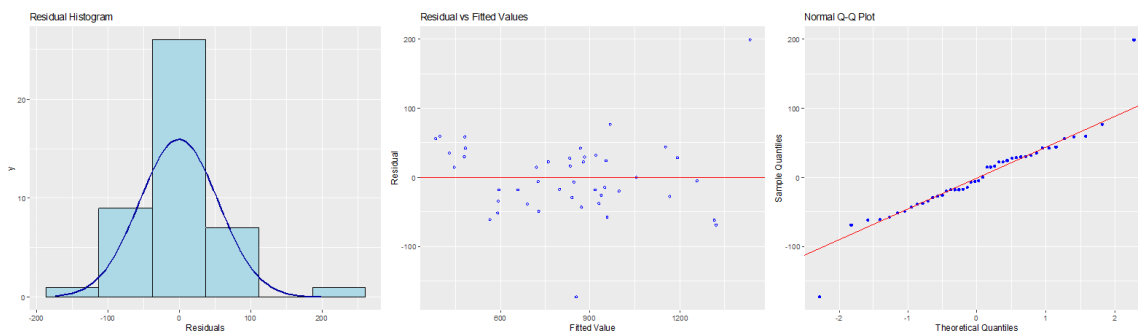
ตารางที่ 5-13 แบบจำลองถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบไขว้

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	-1509.99	93.16	-16.21	< 2e-16 ***
1/(D)	254.02	24.49	10.37	4.99e-13 ***
1/(R)	400.74	56.08	7.15	1.03e-08 ***

ตารางที่ 5-13 แบบจำลองถดถอยอย่างง่าย ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรส่วนกลับ พิจารณา ค่า P-Value ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญของสมการคือ 1/D และ 1/R สามารถสร้างสมการถดถอยส่วนกลับดังสมการที่ 5-9

$$Y = -1509.99 + 254.02 \left(\frac{1}{D}\right) + 400.74 \left(\frac{1}{R}\right) \quad (5-9)$$

ตรวจสอบความแม่นยำจากการกระจายตัวและ Outlier ของสมการที่ 5-8 ดังรูปที่ 5-14



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-14 Residual จากแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่ายส่วนกลับ บรรจุแบบไขว้

จากรูปที่ 5-14 การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติแต่การกระจายค่อนข้างกระจุกตัวกว่ารูปแบบการบรรจุแบบตั้ง ดังรูปที่ 5-14 ก) และรูปที่ 5-14 ข) แต่ยังมี Outlier เช่นเดียวกับรูปแบบของความสัมพันธ์ทางตรง ดังรูปที่ 5-14 ค)

ลำดับถัดไปจะเป็นการสร้างแบบจำลองในรูปแบบอื่นสำหรับการบรรจุแบบไขว้ ดังนี้

### 5.3.2 แบบจำลอง Stepwise

วิธีการสร้างแบบจำลอง Stepwise เกิดจากการเพิ่มและลดตัวแปรทีละตัว กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า ORI.STP ขั้นตอนการทำงานของวิธีการสร้างแบบจำลอง Stepwise สำหรับตัวแปรทางตรง มีทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังตารางที่ 5-14

ตารางที่ 5-14 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ทางตรง การบรรจุแบบไขว้

ขั้นตอนที่	วิธีการ	F	$R^2_{adj}$	RMSE
1	เพิ่ม D:R	339.072	0.887	89.977
2	เพิ่ม D	170.924	0.888	89.769
3	เพิ่ม R	315.584	0.956	55.916

จากตารางที่ 5-14 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง Stepwise ของตัวแปรทางตรง พบว่า ในสมการจะมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ D, R และความสัมพันธ์ระหว่าง D กับ R ซึ่งแบบจำลองนี้มีค่า F-Value 315.6 ด้วย 3 ตัวแปรหลักและ 40 องศาอิสระ สามารถพิจารณาการสร้างและค่าความเป็นนัยสำคัญของตัวแปรในสมการดังตารางที่ 5-15

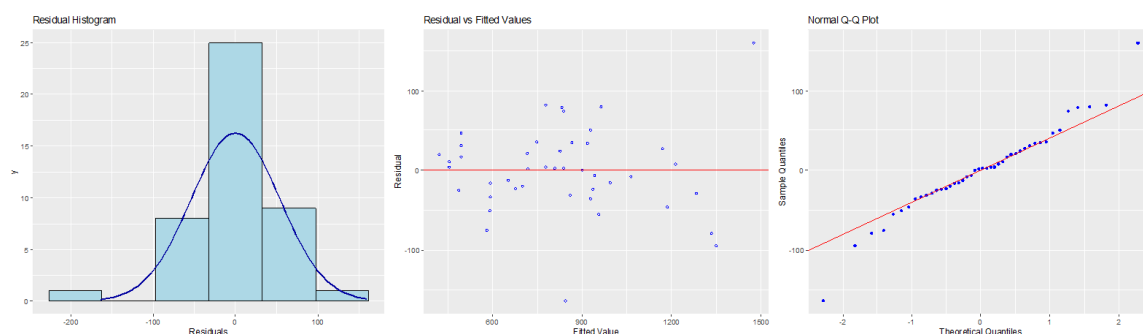
ตารางที่ 5-15 แบบจำลอง Stepwise ทางตรง วิธีบรรจุแบบไขว้

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	7050.10	616.10	11.44	3.44e-14 ***
D	-23884.00	2947.20	-8.10	5.72e-10 ***
R	-14224.90	1757.10	-8.10	5.87e-10 ***
D:R	51469.40	7988.10	6.44	1.13e-07 ***

จากตารางที่ 5-15 พบว่า ตัวแปรที่เป็นนัยสำคัญของสมการดังได้กล่าวในข้างต้น และสามารถเขียนเป็นรูปสมการจากค่าประมาณได้ดังสมการที่ 5-10

$$Y = 7050.128 - 23884.005 (D) - 14224.886 (R) + 51469.425 (D \times R) \quad (5-10)$$

พิจารณาค่าความแม่นยำของสมการที่ 5-10 ด้วยการพิจารณาค่าการกระจายตัวและ Outlier ระหว่างค่าการคำนวณที่ได้จากสมการกับการบรรจุจริง ดังรูปที่ 5-15



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-15 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ทางตรง บรรจุแบบไขว้

จากรูปที่ 5-15 การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังรูปที่ 5-15 ก) และรูปที่ 5-15 ข) และมี Outlier ดังรูปที่ 5-15 ค)

ลำดับถัดไปจะพิจารณาแบบจำลอง Stepwise ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแบบส่วนกลับ กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า INV.STP มีวิธีการสร้างแบบจำลองทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังตารางที่ 5-16

ตารางที่ 5-16 ขั้นตอนสร้างแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ การบรรจุแบบไขว้

ขั้นตอนที่	วิธีการ	F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	RMSE
1	เพิ่ม (1/D):(1/R)	1119.003	0.963	51.549
2	เพิ่ม (1/R)	546.512	0.962	52.157
3	เพิ่ม (1/D)	537.336	0.961	52.672

จากตารางที่ 5-16 พบว่าในสมการจะมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ 1/D, 1/R และความสัมพันธ์ระหว่าง 1/D กับ 1/R ซึ่งแบบจำลองนี้มีค่า F-Value 357.3 ด้วย 3 ตัวแปรหลักและ 40 องศาอิสระ สามารถพิจารณารายละเอียดการสร้างสมการได้ดังตารางที่ 5-17

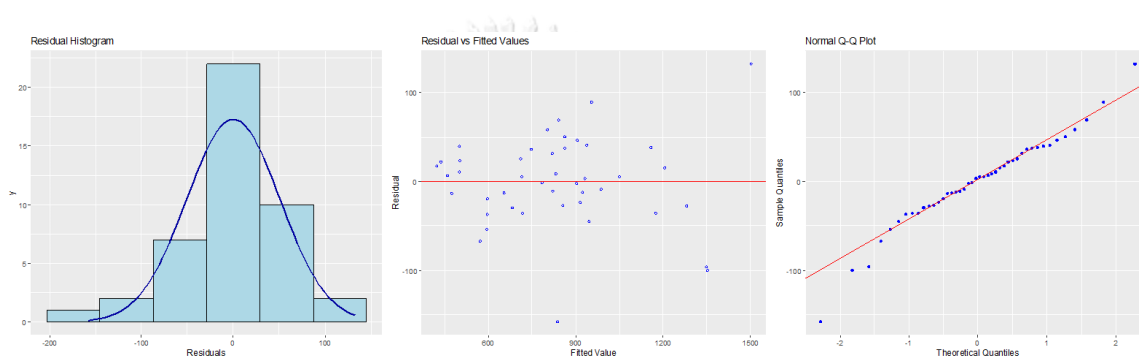
ตารางที่ 5-17 แบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ วิธีบรรจุแบบไขว้

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	-82.45	545.24	-0.15	0.88
I(1/D)	-53.36	118.13	-0.45	0.65
I(1/R)	-91.27	192.76	-0.47	0.64
I(1/D):(1/R)	104.81	39.52	2.65	0.0114 *

จากตารางที่ 5-17 พบว่ามีเพียงพารามิเตอร์เดียวที่เป็นนัยสำคัญเพียงเล็กน้อย คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $1/D$  และ  $1/R$  สามารถสร้างสมการจากแบบจำลองโดยอาศัยค่าประมาณได้ดังสมการที่ 5-11

$$Y = -82.45 - 53.36 \left(\frac{1}{D}\right) - 91.27 \left(\frac{1}{R}\right) + 104.81 \left(\frac{1}{D \times R}\right) \quad (5-11)$$

พิจารณาค่าการกระจายตัวและ Outlier ของสมการที่ 5-11 ได้ดังรูปที่ 5-16



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-16 Residual จากแบบจำลอง Stepwise ส่วนกลับ บรรจุแบบไขว้

การกระจายตัวของข้อมูลมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับแบบจำลอง Stepwise ทางตรง จากรูปที่

5-16 การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังรูปที่ 5-16 ก) และรูปที่

5-16 ข) และมี Outlier ดังรูปที่ 5-16 ค)

ลำดับถัดไปจะเป็นการอธิบายถึงวิธีการที่พิจารณาทุกตัวแปรที่ส่งผลต่อสมการ ดังนี้

### 5.3.3 แบบจำลอง All Possible

การสร้างแบบจำลองโดยพิจารณาทุกตัวแปร สมการที่ได้จากแบบจำลองทุกตัวแปรของความสัมพันธ์ทางตรง กำหนดให้เรียกโดยย่อ ORI.ALL มีค่า F-Value 146.3 ด้วย 7 ตัวแปรหลักและ 36 องค์ประกอบ มีค่ารายละเอียดของแต่ละพารามิเตอร์ดังตารางที่ 5-18

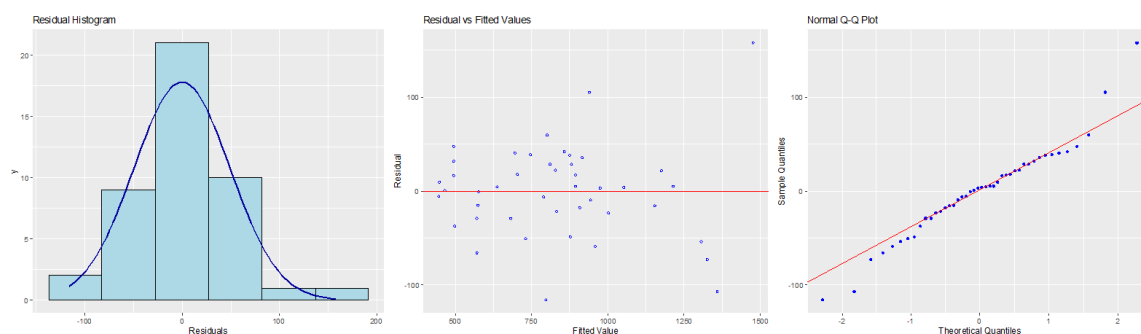
ตารางที่ 5-18 แบบจำลอง All Possible ทางตรง วิธีบรรจุมายแบบไขว้

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	4306.20	8681.80	0.50	0.62
D	-41531.60	41722.80	-1.00	0.33
R	651.60	23841.30	0.03	0.98
r	22410.20	45853.10	0.49	0.63
D:R	67577.10	110751.90	0.61	0.55
D:r	47017.60	215349.80	0.22	0.83
R:r	-97527.70	124344.50	-0.78	0.44
D:R:r	28503.90	565607.40	0.05	0.96

จากตารางที่ 5-18 ซึ่งเป็นการพิจารณาทุกตัวแปร ไม่เฉพาะเจาะจงตัวที่เป็นนัยสำคัญ สามารถเขียนรูปสมการจากค่าประมาณได้ดังสมการที่ 5-12

$$Y = 4306.2 - 41531.6 (D) + 651.6 (R) + 22410.2 (r) + 67577.1 (D \times R) + 47017.6 (D \times r) - 97527.7 (R \times r) + 28503.9 (D \times R \times r) \quad (5-12)$$

จากสมการที่ 5-12 สามารถตรวจสอบความแม่นยำและการกระจายตัวได้ดังรูปที่ 5-17



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-17 Residual จากแบบจำลอง All Possible ทางตรง บรรจุมแบบไขว้

จากรูปที่ 5-17 พบว่าแบบจำลองมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังรูปที่ 5-17 ก) และ 5-17 ข) แต่ยังมีพบ Outlier ดังรูปที่ 5-17 ค)

พิจารณาแบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ กำหนดให้เรียกอย่างย่อว่า INV.ALL มีค่า F-Value ของแบบจำลอง 155.5 ด้วย 7 ตัวแปรหลักและ 36 องศาอิสระ รายละเอียดแต่ละเทอมของตัวแปร ดังตารางที่ 5-19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

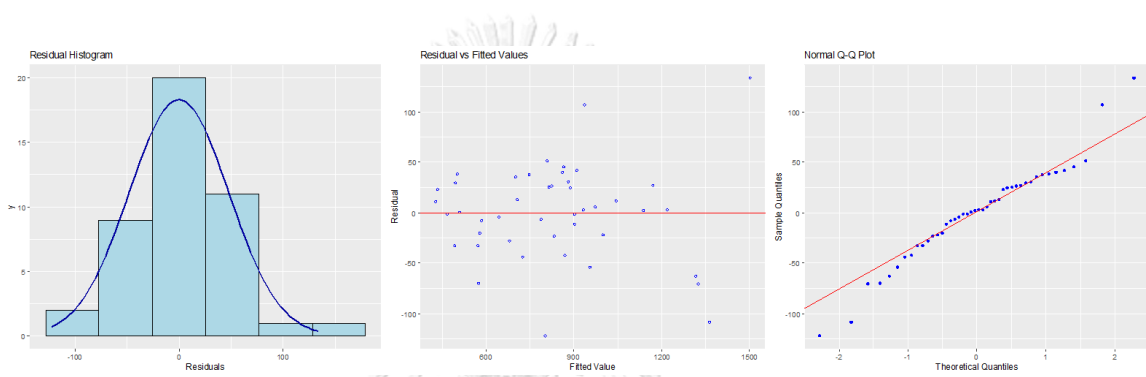
ตารางที่ 5-19 แบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ วิธีบรรจุมแบบไขว้

ตัวแปร	ค่าประมาณ	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	t value	Pr(> t )
(ค่าคงที่)	1416.22	8564.00	0.17	0.87
I(1/D)	-1254.65	1876.59	-0.67	0.51
I(1/R)	-411.22	3097.30	-0.13	0.90
I(1/r)	38.48	1685.40	0.02	0.98
I(1/D):I(1/R)	488.10	657.05	0.74	0.46
I(1/D):I(1/r)	168.25	360.83	0.47	0.64
I(1/R):I(1/r)	-60.90	601.68	-0.10	0.92
I(1/D):I(1/R):I(1/r)	-50.14	124.72	-0.40	0.69

จากตารางที่ 5-19 ซึ่งแสดงค่าตัวแปรที่ตัวที่ส่งผลต่อสมการโดยไม่สนใจความเป็นนัยสำคัญ สามารถเขียนเป็นรูปสมการได้จากค่าประมาณได้ดังสมการที่ 5-13

$$Y = 1416.22 - 1254.65 \left(\frac{1}{D}\right) - 411.22 \left(\frac{1}{R}\right) + 38.48 \left(\frac{1}{r}\right) + 488.1 \left(\frac{1}{D \times R}\right) + 168.25 \left(\frac{1}{D \times r}\right) - 60.9 \left(\frac{1}{R \times r}\right) - 50.14 \left(\frac{1}{D \times R \times r}\right) \quad (5-13)$$

จากสมการที่ 5-13 สามารถตรวจสอบความแม่นยำและการกระจายตัวได้ดังรูปที่ 5-18



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-18 Residual จากแบบจำลอง All Possible ส่วนกลับ บรรจุแบบไขว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

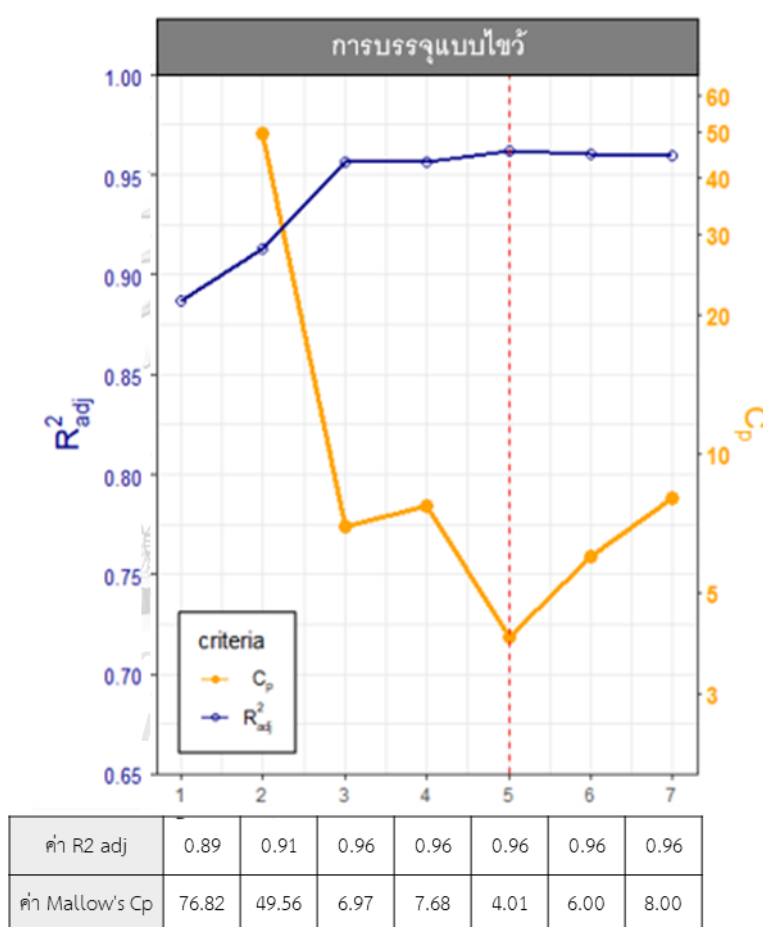
จากรูปที่ 5-18 พิจารณาการกระจายตัวและความเป็นปกติของสมการ พบว่า การกระจายตัวของผลต่างที่ได้จากสมการมีการกระจายตัวแบบปกติ จาก Histogram รูปที่ 5-18 ก) และ Residual กับ Fitted Value ดังรูปที่ 5-18 ข) และมีแนวทางของความแตกต่างเป็นเส้นตรงและมี Outlier ดังรูปที่ 5-18 ค)

เนื่องจากวิธีการ All Possible เป็นการพิจารณาทุกตัวแปรจึงอาจทำให้มีการใช้ตัวแปรเกินความจำเป็นและมีการคลาดเคลื่อนสูง จึงควรพิจารณาเลือกตัวแปรจากวิธี Best Subset Selection ดังนี้



### 5.3.4 แบบจำลอง Best Subset Selection

เมื่อพิจารณาแบบจำลอง Best Subset Selection กำหนดให้เรียกแบบย่อว่า ORI.BSS จะพิจารณาจากค่า  $R^2_{adj}$  ร่วมกับ  $C_p$  ของสมการถดถอยแยกตามจำนวนพารามิเตอร์สำหรับวิธีการจัดเรียงแบบไขว้ ดังรูปที่ 5-19

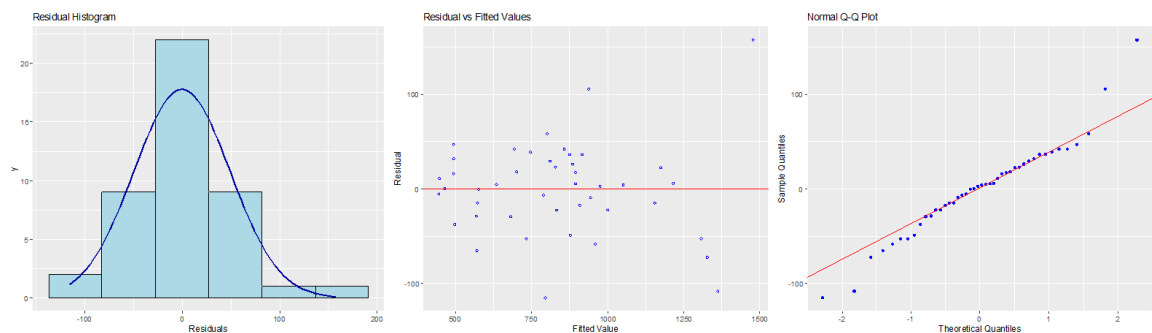


รูปที่ 5-19 ค่า  $R^2_{adj}$  และ  $C_p$  ของแบบจำลอง Best Subset Selection การบรรจุแบบไขว้

จากรูปที่ 5-19 ซึ่งแสดงค่า  $R^2_{adj}$  และค่า  $C_p$  ของสมการถดถอยที่ดีที่สุด ได้แก่จำนวน 5 พารามิเตอร์ซึ่งเป็นสมการของแบบจำลองการเลือกตัวแปรที่ดีที่สุด มีรูปสมการดังสมการที่ 5-14

$$Y = 4675 - 44124 (D) + 20496 (r) + 73158 (D \times R) + 60286 (D \times r) - 94131 (R \times r) \quad (5-14)$$

ตรวจสอบความแม่นยำและการกระจายตัวของสมการที่ 5-14 ได้ดังรูปที่ 5-20



ก) Histogram

ข) Residual และ Fitted Value

ค) Normal Q-Q

รูปที่ 5-20 Residual จากแบบจำลอง Best Subset Selection บรรจุแบบไขว้

จากรูปที่ 5-20 แบบจำลอง Best Subset Selection สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้มีการกระจายตัวแบบปกติดังรูปที่ 5-20 ก) แต่ยังมีพบ Outlier อยู่บ้าง ดังรูปที่ 5-20 ข) และ 5-20 ค)

เมื่อได้สมการทั้งหมดจากทุกวิธีการสร้างแบบจำลองแล้ว จะเลือกแบบจำลองสมการถดถอย

ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ พิจารณาจาก  $R^2_{adj}$ ,  $C_p$ , AIC และ MAPE การเปรียบเทียบความแม่นยำจากข้อมูลชุดเรียนรู้เช่นเดียวกับวิธีการบรรจุแบบ โดยกำหนดประเภทแบบจำลองเป็นตัวอักษร ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ข้อมูลที่ใช้พิจารณาดังตารางที่ 5-20

ตารางที่ 5-20 ค่าการพิจารณาเลือกแบบจำลองสมการถดถอย สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

แบบจำลอง	AIC	R <sup>2</sup> adj	MAPE	C <sub>p</sub>	หมายเหตุ
ORI.SMP	-514.10	0.91	11.94	49.56	สมการที่ 5-8
ORI.STP	-514.10	0.91	5.39	49.56	สมการที่ 5-10
ORI.ALL	-484.99	0.96	4.76	8.00	สมการที่ 5-12
INV.SMP	-484.64	0.96	9.26	9.56	สมการที่ 5-9
INV.STP	479.51	0.96	5.42	4.45	สมการที่ 5-11
INV.ALL	482.39	0.96	4.91	8.00	สมการที่ 5-13
ORI.BSS	481.00	0.96	4.30	4.01	สมการที่ 5-14

ตารางที่ 5-20 แสดงผล R<sup>2</sup><sub>adj</sub> มีค่าใกล้เคียงกันในทุกแบบจำลอง แม้ว่าแบบจำลองที่มีค่า AIC ต่ำที่สุด จะเป็นแบบจำลอง INVSTP แต่แบบจำลองที่มีค่า MAPE และ C<sub>p</sub> ต่ำที่สุด คือแบบจำลอง ORI.BSS เมื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบค่าการกระจายตัวและ Outlier ดังรูปที่ 5-13 และ 5-14 สำหรับแบบจำลองสมการถดถอยอย่างง่าย รูปที่ 5-15 และ 5-16 สำหรับแบบจำลอง Stepwise รูปที่ 5-17 และ 5-18 สำหรับแบบจำลอง All Possible และรูปที่ 5-20 สำหรับแบบจำลอง Best Subset Selection แบบจำลอง Best Subset Selection มีการกระจายตัวแบบปกติเช่นกัน จึงเลือกแบบจำลองนี้เป็นตัวแทนในการใช้คำนวณด้วยวิธีสมการถดถอยสำหรับรูปแบบการบรรจุแบบไขว้

แบบจำลองที่ถูกเลือกสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ทั้งสองรูปแบบล้วนมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้คำนวณสมการถดถอย และจะพิจารณาความแม่นยำของสมการถดถอยกับการจัดเรียงแบบตั้งซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

#### 5.4 รูปสมการและความแม่นยำของสมการถดถอย

เมื่อได้แบบจำลองของสมการถดถอยเพื่อนำไปคำนวณในแต่ละวิธีการบรรจุแบบไขว้แล้ว ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรูปสมการถดถอย และความแม่นยำของแต่ละสมการ

#### 5.4.1 รูปสมการถดถอย

จากการสร้างสมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้งและแบบไขว้ พบว่า การใช้วิธี Best Subset Selection มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้พยากรณ์สำหรับวิธีการบรรจุทั้งสองรูปแบบ ดังสมการที่ 5-7 ซึ่งเป็นสมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง และสมการที่ 5-14 สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

จากสมการทั้งสอง ได้มีการเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการกับข้อมูลชุดทดสอบ ดังนี้

#### 5.4.2 ความแม่นยำของสมการถดถอย

การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอย จะเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดเรียนรู้ ซึ่งถือเป็นข้อมูลชุดตั้งต้นในการสร้างสมการถดถอย จากนั้นจึงเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดทดสอบเพื่อพิสูจน์ความแม่นยำเมื่อเทียบกับข้อมูลชุดใหม่ โดยพิจารณาจากค่า MAPE และพิจารณาการเปรียบเทียบจำนวนที่ได้จากการพยากรณ์ กับจำนวนยางรถยนต์เต็มตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับยางที่มีขนาดทางกายภาพเท่ากับขนาดของยางที่ส่งออกจริง ผลการคำนวณที่ได้จากสมการมีค่าน้อยกว่าผลการส่งออกจริง เปรียบเหมือนยังเหลือพื้นที่ว่างในตู้คอนเทนเนอร์ จึงแทนด้วยคำว่า “น้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน” เพราะยังมีพื้นที่ว่างสามารถบรรจุได้อีก แต่หากผลการคำนวณจากสมการมีค่าสูงกว่าค่าส่งออกจริง จะถือการพยากรณ์มีค่าสูงกว่าความสามารถในการบรรจุของตู้คอนเทนเนอร์ จะแทนด้วยคำว่า “สูงกว่าวิธีการปัจจุบัน” ผลการคำนวณ เมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งสองชุดตารางที่ 5-21

ตารางที่ 5-21 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอย การบรรจุแบบตั้ง

ชุดของข้อมูล	MAPE	จำนวนตู้คอนเทนเนอร์		หมายเหตุ
		น้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน	สูงกว่าวิธีการปัจจุบัน	
ข้อมูลชุดเรียนรู้	5.01	21	22	สมการที่ 5-7
ข้อมูลชุดทดสอบ	5.99	9	13	สมการที่ 5-7

จากตารางที่ 5-21 แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอย รูปแบบการบรรจุแบบตั้ง ด้วยข้อมูลชุดเรียนรู้และข้อมูลชุดทดสอบ พบว่า การจัดเรียงแบบตั้งมีความแม่นยำของสมการถดถอยลดลงเมื่อเทียบกับข้อมูลชุดทดสอบ ซึ่งเป็นปกติในการสร้างแบบจำลองสมการถดถอย แต่ยังมีค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และเมื่อพิจารณาการคำนวณปริมาณยางในตู้คอนเทนเนอร์เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของจำนวนยาง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดเรียนรู้ ผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันทั้งค่าที่น้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน และค่าที่มากกว่าวิธีการปัจจุบัน แต่ในข้อมูลชุดทดสอบกลับพบว่า ข้อมูลส่วนมากมีค่ามากกว่าวิธีการปัจจุบัน ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาอย่างล้นตู้เนื่องจากการวางแผนที่มีจำนวนยางมากเกินไปกว่าจะสามารถบรรจุได้ จากนั้นจึงพิจารณาความแม่นยำของสมการถดถอยสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ ดังตารางที่ 5-22

ตารางที่ 5-22 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอย การบรรจุแบบไขว้

ชุดของข้อมูล	MAPE	จำนวนตู้คอนเทนเนอร์		หมายเหตุ
		น้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน	สูงกว่าวิธีการปัจจุบัน	
ข้อมูลชุดเรียนรู้	4.30	19	24	สมการที่ 5-14
ข้อมูลชุดทดสอบ	6.49	9	12	สมการที่ 5-14

จากตารางที่ 5-22 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการถดถอย รูปแบบการบรรจุแบบไขว้ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดเรียนรู้มีความแม่นยำกว่าวิธีการบรรจุแบบตั้ง แต่ความ

แม่นยำของสมการถดถอยลดลงเมื่อเทียบกับข้อมูลชุดทดสอบ พิจารณาการคำนวณปริมาณภายในตู้คอนเทนเนอร์ พบว่า วิธีการคำนวณด้วยสมการถดถอยให้ค่าสูงกว่าวิธีการปัจจุบัน ทั้งในข้อมูลชุดเรียนรู้และข้อมูลชุดทดสอบ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาล้นตู้เช่นเดียวกับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

นอกจากนี้ ยังสามารถประยุกต์ใช้วิธีสมการถดถอยเพื่อทำนายปริมาณภายในตู้คอนเทนเนอร์ขนาดอื่น โดยการสร้างแบบจำลองสมการถดถอยจากข้อมูลชุดเรียนรู้ ที่เป็นการส่งออกด้วยตู้ขนาดนั้นๆ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานเช่นเดียวกับวิธีการสร้างสมการถดถอย ดังนี้

- เก็บรวบรวมข้อมูลการส่งออกย้อนหลัง โดยเป็นขนาดเดียวในตู้คอนเทนเนอร์ และขนาดตู้คอนเทนเนอร์เป็นขนาดที่ต้องการพยากรณ์
- จัดการข้อมูลโดยการแปรข้อมูลขนาดทางกายภาพของยางสู่รูปแบบตัวแปร  $D$  ดังสมการที่ 4-1,  $r$  โดยสมการที่ 4-2 และ  $R$  ดังสมการที่ 4-3
- วิเคราะห์ข้อมูลโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์
- สร้างแบบจำลองการทำนายปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธีสมการถดถอย เพื่อให้ได้รูปสมการการคำนวณปริมาณยาง
- วิเคราะห์ความแม่นยำของรูปสมการ รวมไปถึงค่าความเป็นปกติและการกระจายตัว และพิจารณาเลือกสมการจากแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้พยากรณ์

อนึ่ง เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ จะมีการเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการคำนวณจากสมการถดถอย และวิธีการคำนวณทางเรขาคณิต ในบทถัดไป

## บทที่ 6

### การคำนวณปริมาณยางรถยนต์ด้วยทางเรขาคณิต

ในบทนี้จะกล่าวถึง แนวคิดของวิธีการคำนวณทางเรขาคณิตอ้างอิงจากขนาดทางกายภาพของยางรถยนต์ และขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ โดยมีแนวคิดดังนี้

#### 6.1 แนวคิดการคำนวณทางเรขาคณิต

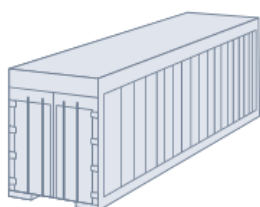
การคำนวณปริมาณยางรถยนต์บรรจุด้วยสมการเป็นการคำนวณจากข้อมูลขนาดทางกายภาพที่ระบุอยู่บนแก้มยาง หรือคำอธิบายยาง แทนด้วยตัวแปร 3 ตัว เช่นเดียวกับที่ใช้สร้างสมการถดถอยในบทที่ 4 ได้แก่ ขนาดของหน้ายาง ( $D$ ) รัศมีของยาง ( $R$ ) และรัศมีของกระทะล้อ ( $r$ ) ประกอบกับขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ปริมาณยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ ผู้วิจัยใคร่ขอกำหนดสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์แทนขนาดของตู้คอนเทนเนอร์และลักษณะการจัดเรียงยางรถยนต์ภายในดังต่อตารางที่ 6-1 โดยแสดงถึงสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นตัวแปรของการคำนวณ

ตารางที่ 6-1 สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ

สัญลักษณ์	ความหมาย
$H$	ความสูงของตู้คอนเทนเนอร์ (เมตร)
$W$	ความกว้างของตู้คอนเทนเนอร์ (เมตร)
$L$	ความยาวของตู้คอนเทนเนอร์ (เมตร)
$n_H$	จำนวนยางในแนวสูงของตู้ (เส้น)
$n_W$	จำนวนยางในแนวกว้างของตู้ (เส้น)
$n_L$	จำนวนยางในแนวยาวของตู้ (เส้น)
$\mu$	จำนวนยางแทรกรวมของตู้ในการวางแบบตั้ง (เส้น)
$\theta_h$	มุมระหว่างยางในแนวนอนในการวางแบบตั้ง
$\theta_v$	มุมระหว่างยางในแนวตั้งในการวางแบบไขว้

จากตารางที่ 6-1 จะนำสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์จะถูกใช้ประกอบการคำนวณปริมาณยางต่อตู้คอนเทนเนอร์โดยอ้างอิงจากการบรรจุจริงของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบัน ซึ่งส่งออกด้วยตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุตไฮคิวบ์เป็นหลัก ดังรูปที่ 6-1 ซึ่งแสดงถึงขนาดมาตรฐานของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้งาน

#### 40' HIGH-CUBE



INSIDE LENGTH:	12.024 m
INSIDE WIDTH:	2.350 m
INSIDE HEIGHT:	2.697 m
DOOR WIDTH:	2.340 m
DOOR HEIGHT:	2.597 m
CAPACITY:	76 m <sup>3</sup>
TARE WEIGHT:	4020 Kgs
MAX CARGO WEIGHT:	26460 Kgs

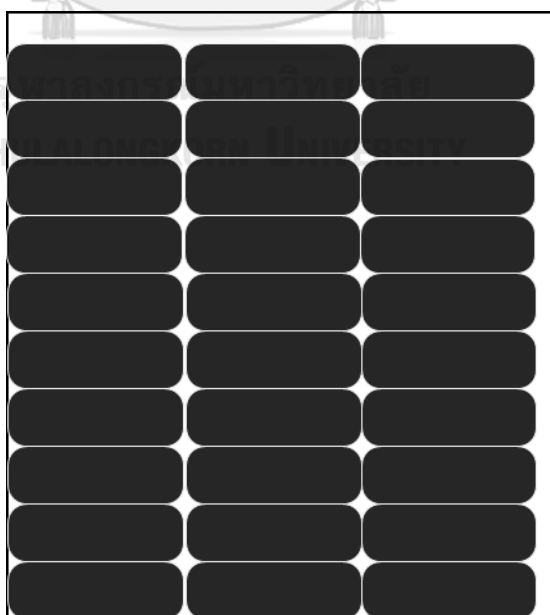
รูปที่ 6-1 รูปและขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ ขนาด 40 ฟุตไฮคิวบ์ [28]



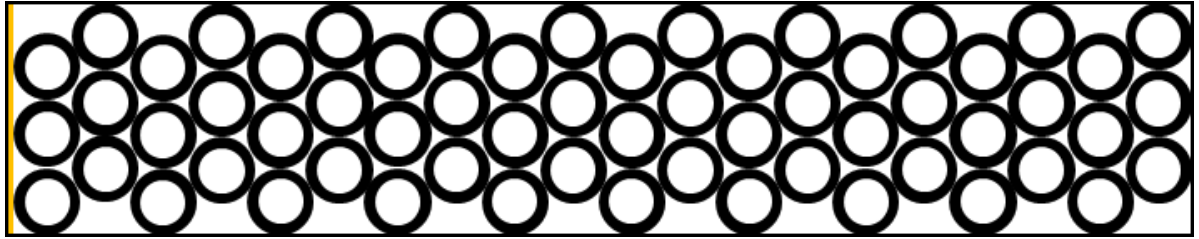
รูปที่ 6-1 แสดงรูปและขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ที่บริษัทกรณศึกษาใช้งานส่วนใหญ่ในการทำงานปัจจุบัน พนักงานคลังสินค้าจะเรียงยารถยนต์แถวในสุดของตู้คอนเทนเนอร์จนเต็มความสูงและความกว้าง จากนั้นจึงทดลองเรียงยารถยนต์และนับจำนวนแถวตามความยาวของตู้ จำนวนยารถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์คือผลคูณของจำนวนยางในแนวสูง ในแนวกว้าง และในแนวยาวของตู้คอนเทนเนอร์ จากนั้นจะทำการสร้างสมการการคำนวณเพื่อประมาณการจำนวนยางต่อตู้คอนเทนเนอร์ โดยการเทียบขนาดของยางในแต่ละชนิด กับขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ วิธีการสร้างสมการสำหรับวิธีการบรรจุยางแบบตั้ง และสมการสำหรับวิธีการบรรจุยางแบบไขว้ ดังนี้

## 6.2 การคำนวณทางเรขาคณิตสำหรับวิธีการบรรจุยางแบบตั้ง

การคำนวณปริมาณยางรถยนต์ด้วยวิธีนี้พิจารณาอัตราส่วนระหว่างความกว้างของยาง กับความกว้างของตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อคำนวณหาจำนวนยางในแนวกว้าง อัตราส่วนระหว่างความสูงของยางกับความสูงของตู้ เพื่อหาจำนวนบรรจุยางแนวตั้ง และเพื่อให้บรรจุได้มากขึ้นจึงอ้างอิงจากลักษณะการบรรจุจริงคือการวางสลับ ดังรูปที่ 6-2



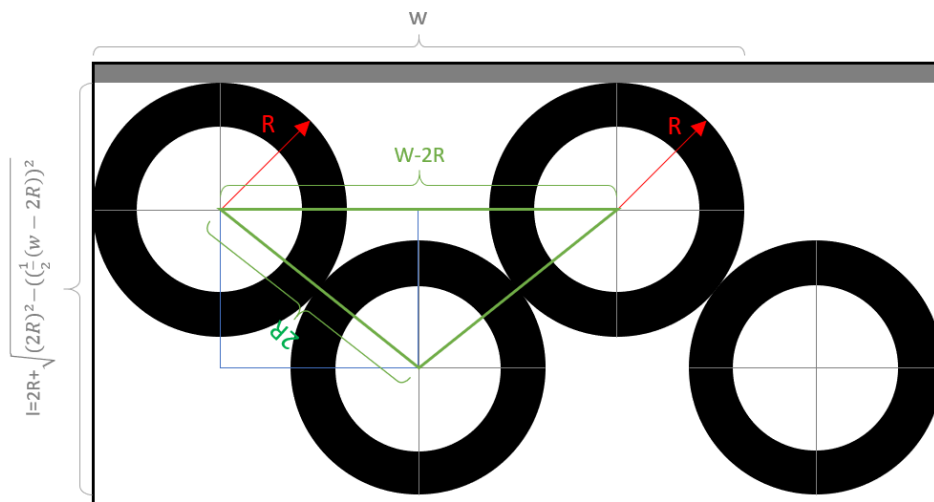
ก) การบรรจุยางแบบตั้ง จากมุมมองด้านข้าง



ข) การบรรจุวางแบบตั้ง จากมุมมองด้านบน

รูปที่ 6-2 ภาพจำลองการบรรจุวางแบบตั้งในตู้คอนเทนเนอร์

จากรูปที่ 6-2 ก) แสดงถึงลักษณะการบรรจุจริงของการบรรจุวางแบบตั้งจากมุมมองด้านข้างของตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งเป็นการซ้อนขึ้นไปเป็นชั้น และรูปที่ 6-2 ข) จากมุมมองด้านบนโดยการวางสลับในลักษณะฟันปลาซึ่งก่อให้เกิดการเว้นระยะการวางยงแต่ละแถวในแนวยาวได้ จึงสามารถบรรจุได้มากขึ้น พิจารณาภาพขยายของรูปที่ 6-2 ข) จะเห็นมุมมองศายที่วางสลับกัน ดังรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-3 ภาพขยายการบรรจุวางแบบตั้งในตู้คอนเทนเนอร์

รูปที่ 6-3 พิจารณาภาพขยายพบว่าช่วงระหว่างแฉกแรก และแฉกถัดมา มีความสัมพันธ์ทำมุมองศาขึ้นตามขนาดรัศมีของยางเทียบกับขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ จึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างเป็นที่ละแฉก

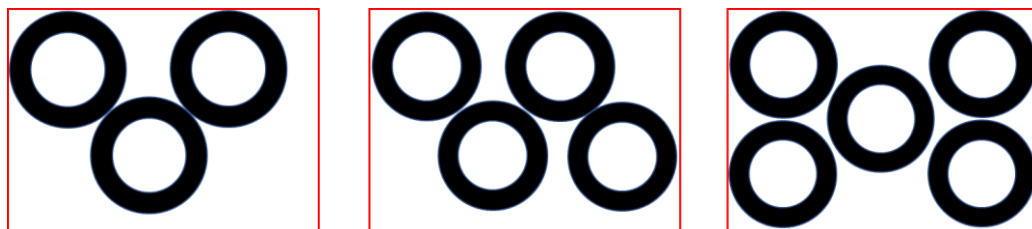
จำนวนยางรถยนต์ในแต่ละแฉกแนวกว้างภายในตู้คอนเทนเนอร์ ( $n_w$ ) คำนวณได้จากการเปรียบเทียบความกว้างของตู้คอนเทนเนอร์ ( $W$ ) กับขนาดของยางรถยนต์ ( $R$ ) และปัดเศษลงให้เป็นจำนวนเต็มบวกเนื่องจากผลลัพธ์แทนจำนวนยางเส้น เศษที่ไม่เป็นจำนวนเต็มจะถือว่ายังไม่เต็มเส้น จึงไม่สามารถวางยางได้ ดังแสดงในสมการที่ 6-1

$$n_w = \left\lfloor \frac{W}{2R} \right\rfloor \quad (6-1)$$

จำนวนยางรถยนต์ในแฉกตั้ง ( $n_H$ ) สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบความสูงของตู้คอนเทนเนอร์ ( $H$ ) กับความสูงของยาง ( $D$ ) และปัดลงเป็นจำนวนเต็มบวกดังแสดงในสมการที่ 6-2

$$n_H = \left\lfloor \frac{H}{D} \right\rfloor \quad (6-2)$$

จำนวนแฉกแนวยาง ( $n_L$ ) สามารถเกิดได้หลายกรณีที่แตกต่างกันตามของขนาดรัศมียาง  $R$  เมื่อจัดเรียงแล้วเปรียบเทียบกับขนาดของตู้คอนเทนเนอร์สามารถจัดเรียงได้หลายวิธี จึงส่งผลต่อจำนวนยางรวมในตู้คอนเทนเนอร์ การจัดเรียงสามารถเกิดได้ 3 กรณี คือ กรณียางลดลงระหว่างแฉก กรณีแบบปกติหรือไม่มียางแทรก และกรณีมียางแทรกระหว่างแฉก ดังแสดงในรูปที่ 6-4



ก) กรณียาลดลงระหว่างแถว

ข) กรณีแบบปกติ

ค) กรณียางแทรกระหว่างแถว

รูปที่ 6-4 กรณีของการจัดเรียงยางในแนวกว้างสำหรับการบรรจุแบบตั้ง

จากรูปที่ 6-3 และ 6-4 พบว่า ความสัมพันธ์ของขนาดของรัศมียางกับตู้คอนเทนเนอร์ ส่งผลให้จำนวนยางในการจัดเรียงแนวกว้างมีจำนวนที่ต่างกัน จากตารางที่ 6-1 ได้กำหนด  $\mu$  แทนจำนวนยางที่เปลี่ยนแปลงไป โดยสามารถคำนวณยางลด/ยางแทรก ได้ตั้งสมการที่ 6-3 ซึ่งแสดงค่า  $\mu$  สำหรับกรณีต่างๆ ได้แก่ กรณีจำนวนยางที่ลดลง ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดยาง จำนวนยางในแถวแนวกว้าง และขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ ทำให้ยางแถวแรกและแถวที่สองทำมุมกันเกิน 60 องศา แต่ไม่เกิน 90 องศา ทำให้ไม่สามารถวางยางได้ในแถวที่สองเพิ่มเติม ดังรูปที่ 6-4 ก) กรณีแบบปกติที่สามารถวางยางได้จำนวนเท่ากัน ยางแถวแรกและแถวที่สองจะทำมุมกันไม่เกิน 60 องศา ดังรูปที่ 6-4 ข) และกรณีที่จำนวนยางเพิ่มขึ้นหรือมียางแทรกระหว่างแถว ถือเป็นกรณีอื่นๆนอกเหนือจากสองกรณีข้างต้น จำนวนยางในแถวแรกและแถวถัดมาแตกต่างกัน ดังรูปที่ 6-4 ค) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 6-3 ตามกรณีทั้งสาม

$$\mu = \begin{cases} -n_H \left[ \frac{n_L}{2} \right] & ; \text{เมื่อ } \frac{W-2n_W R}{R} \leq 1 \\ 0 & ; \text{เมื่อ } \frac{W-2n_W R}{R} \leq \sqrt{3} \\ (n_W-1)n_H \left[ \frac{n_L}{2} \right] & ; \text{ในกรณีอื่น} \end{cases} \quad (6-3)$$

จากสมการที่ 6-3 เมื่อทราบจำนวนยางของแถวแนวกว้างแล้ว สามารถหาจำนวนแถวที่สามารถบรรจุยางได้ทั้งหมดโดยเทียบกับความยาวของตู้คอนเทนเนอร์ในหน่วยเมตร เพื่อทราบจำนวนแถวที่สามารถบรรจุได้ พิจารณาการทำมุดังได้กล่าวในรูปที่ 6-3 การจัดเรียงของยางสามารถหาจำนวนแถวในแนวยาวเป็นจำนวนเต็มบวกจากชุดของยางแถวคู่ดังสมการที่ 6-4

$$n_L = \left\lfloor \frac{L}{R(1 + \sin \theta_n)} \right\rfloor \quad (6-4)$$

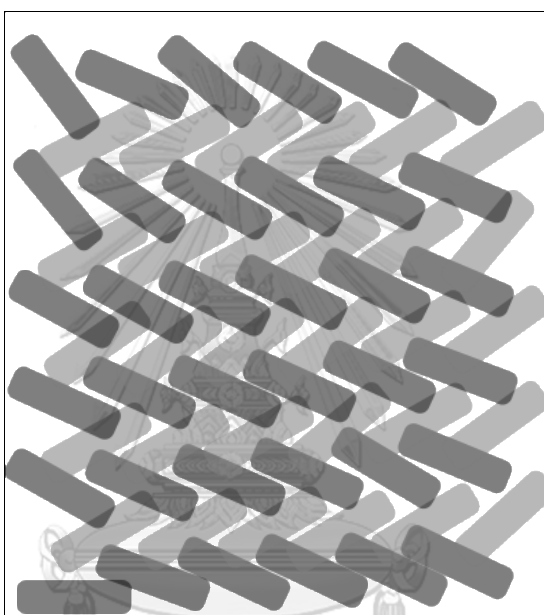
การคำนวณจำนวนยางทั้งหมดที่สามารถบรรจุได้ คือผลคูณระหว่างจำนวนยางในแนวตั้งจากสมการที่ 6-1 จำนวนยางในแนวกว้างจากสมการที่ 6-2 และจำนวนแถวยาวจากสมการที่ 6-4 บวกกับเศษของแถวในแนวกว้าง จากเงื่อนไขในสมการที่ 6-3 ซึ่งสามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังสมการที่ 6-5

$$Y = n_H \times n_W \times n_L + \mu \quad (6-5)$$

ดังนั้นสมการที่ 6-5 จึงเป็นสมการการคำนวณปริมาณยางสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง ผลการคำนวณและความแม่นยำของสมการ จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

### 6.3 การคำนวณทางเรขาคณิตสำหรับวิธีบรรจุแบบไขว้

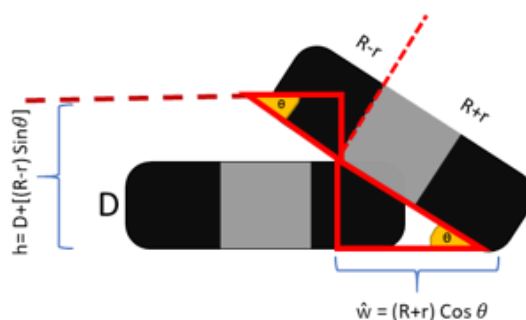
ในส่วนของการคำนวณด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ของวิธีการบรรจุแบบไขว้ เริ่มต้นจากการศึกษาจากลักษณะการบรรจุจริง โดยการบรรจุแบบไขว้ คือการบรรจุในลักษณะวางพียงกันที่ชั้นล่างสุด จากนั้นจะนำวางวางสลับไปในพื้นที่ว่างตรงกลางของข้างชั้นที่อยู่ต่ำกว่า ซ้อนกันในลักษณะนี้ขึ้นไปทีละชั้นจนสุดความสูงของผู้คอนเทนเนอร์ ดังรูปที่ 6-5



รูปที่ 6-5 การจำลองการบรรจุแบบไขว้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 6-5 ซึ่งแสดงจากมุมมองด้านข้างของผู้คอนเทนเนอร์อ้างอิงจากการบรรจุจริง จะพบว่า การวางสลับในแต่ละชั้นนั้น จะมีความสัมพันธ์ในมิติขององศาการซ้อนกันในแต่ละชั้นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยการหาจำนวนยางของแต่ละชุดแนวตั้ง เราจะเริ่มจากหาจำนวนยางในแต่ละแถวแนวกว้าง และจำนวนชั้นในแนวสูง พิจารณาพื้นที่ที่สามารถใช้วางยางได้จากสามเหลี่ยมคล้าย เมื่อยกตัวอย่างสามเหลี่ยมคล้ายมาหนึ่งชุด พบว่า มีลักษณะดังรูปที่ 6-6



รูปที่ 6-6 ตัวอย่างสามเหลี่ยมคล้ายจากการบรรจุ样板ไขว้

จากรูปที่ 6-6 ซึ่งแสดงตัวอย่างสามเหลี่ยมคล้าย โดยสามเหลี่ยมทั้งสองมีมุมทแยงซึ่งกันและกัน ความชันของมุมขึ้นอยู่กับรัศมีของยางและจำนวนยางในแถวแนวกว้าง ซึ่งมุมที่มีขนาดมากที่สุดเกิดจากการวางยางซ้อนกันด้วยความชันสูงสุดแต่มีค่าไม่เกินมุมที่เกิดจากการทำมุมระหว่างหน้ายางกับเส้นผ่านศูนย์กลางของยาง และมุมที่มีขนาดน้อยที่สุดที่เกิดจากการทำมุมในแนวระนาบที่สุด ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามุมที่เกิดจากขนาดของหน้ายาง กับขนาดของแก้มยางหนึ่งข้างที่วางพิงกัน ซึ่งเมื่อศึกษาวิธีการบรรจุในปัจจุบัน สามารถนำไปสร้างสมการคำนวณ สามารถหาจำนวนยางในแนวกว้างจากสามเหลี่ยมคล้าย ได้จากพื้นที่ที่ใช้วางยาง จะมีค่าดังสมการที่ 6-6

$$n_w = 1 + \left| \frac{W-2R}{(R+r) \cos \theta} \right| \quad (6-6)$$

สมการที่ 6-6 ทำให้ทราบถึงจำนวนยางในแนวกว้าง แต่ละชั้นที่ซ้อนขึ้นไปจะมีจำนวนยางที่เท่ากันเสมอ จากนั้นจะสามารถหาความสูงของแต่ละชั้นการวางยางได้ด้วยสามเหลี่ยมคล้ายจากรูปที่ 6-6 ที่แสดงการทำมุมองศาจากขนาดของยาง ทำให้ได้ความสูงของแต่ละชั้นในแนวตั้ง ดังแสดงในสมการที่ 6-7

$$n_H = \left[ \frac{H}{D+(R-r) \sin \theta} \right] \quad (6-7)$$

เมื่อทราบจำนวนยางในแนวกว้างและแนวสูงแล้ว จะสามารถทราบจำนวนยางในแต่ละชุดของการวางไขว้ โดยมียาง 1 เส้นวางเป็นฐานตั้งต้นเสมอ จากนั้นจะสามารถหาจำนวนแถวในแนวยาวโดยยึดยางฐาน 1 เส้นเป็นหลักดังสมการที่ 6-8

$$n_L = \left[ \frac{L}{2R} \right] \quad (6-8)$$

จากสมการที่ 6-8 ได้แสดงวิธีการคำนวณปริมาณยางในแนวยาวแล้ว ทำให้เราสามารถทราบวิธีการคำนวณของแต่ละมิติ นำไปสู่วิธีการคำนวณปริมาณยางโดยรวม ซึ่งเกิดจากผลคูณระหว่างจำนวนยางแต่ละมิติ ดังสมการที่ 6-9

$$Y = n_H \times n_W \times n_L \quad (6-9)$$

จากสมการที่ 6-9 จะเป็นสมการการคำนวณทางเรขาคณิตสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ ซึ่งผลการคำนวณและความแม่นยำจะแสดงในหัวข้อถัดไป

การวิเคราะห์และสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ กำหนดปริมาณยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้งและแบบไขว้ในหัวข้อที่ 6.2 และ 6.3 สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 6-2



ตารางที่ 6-2 รูปสมการการคำนวณด้วยวิธีเรขาคณิต

ตัวแปร	การจัดเรียงแบบตั้ง	การจัดเรียงแบบไขว้
$\gamma$	$n_H \times n_w \times n_L + \mu$	$n_H \times n_w \times n_L$
$n_H$	$\left[ \frac{H}{D} \right]$	$\left[ \frac{H}{D + (R - r) \sin \theta_v} \right]$
$n_w$	$\left[ \frac{W}{2R} \right]$	$1 + \left[ \frac{W - 2R}{(R + r) \cos \theta_v} \right]$
$n_L$	$\left[ \frac{L}{R(1 + \sin \theta_h)} \right]$	$\left[ \frac{L}{2R} \right]$
หมายเหตุ	$\theta_h \in \left[ 0, \frac{\pi}{3} \right]$	$\theta_v \in \left[ \arcsin \frac{D}{R + r}, \arcsin \frac{D}{2R} \right]$
	$\mu = \begin{cases} -n_H \left[ \frac{n_L}{2} \right] & ; \text{if } \frac{W - 2n_w R}{R} \leq 1 \\ 0 & ; \text{if } 1 < \frac{W - 2n_w R}{R} \leq \sqrt{3} \\ (n_w - 1)n_H \left[ \frac{n_L}{2} \right] & ; \text{otherwise} \end{cases}$	

ในหัวข้อถัดไปจะเป็นการนำการคำนวณโดยสมการในตารางที่ 6-2 ไปประยุกต์กับข้อมูลชุดเรียนรู้และชุดทดสอบ

#### 6.4 การทดสอบความแม่นยำของสมการเรขาคณิต

การเปรียบเทียบความแม่นยำของการคำนวณด้วยสมการเรขาคณิตสำหรับวิธีการบรรจุวางแบบตั้งและแบบไขว้ กับข้อมูลชุดเรียนรู้ จะพิจารณาจากค่า MAPE ซึ่งมีแนวคิดเกี่ยวกับการ

เปรียบเทียบในสมการถดถอย MAPE และพิจารณาการเปรียบเทียบจำนวนที่ได้จากการพยากรณ์ กับ จำนวนยางรถยนต์เต็มตู้คอนเทนเนอร์จากการ ผลการคำนวณที่ได้จากสมการมีค่าน้อยกว่าผลการ ส่งออกจริง เปรียบเหมือนยังเหลือพื้นที่ว่างในตู้คอนเทนเนอร์ แทนด้วยคำว่า “น้อยกว่าวิธีการ ปัจจุบัน” เพราะยังมีพื้นที่ว่างสามารถบรรจุได้อีก แต่หากผลการคำนวณจากสมการมีค่าสูงกว่าค่า ส่งออกจริง จะถือการพยากรณ์มีค่าสูงกว่าความสามารถในการบรรจุของตู้คอนเทนเนอร์ จะแทนด้วย คำว่า “สูงกว่าวิธีการปัจจุบัน” ผลการสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง มีค่าดังตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการเรขาคณิต การบรรจุแบบตั้ง

ชุดของข้อมูล	MAPE	จำนวนตู้คอนเทนเนอร์		หมายเหตุ
		น้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน	สูงกว่าวิธีการปัจจุบัน	
ข้อมูลชุดเรียนรู้	8.93	13	25	สมการที่ 6-5
ข้อมูลชุดทดสอบ	8.29	6	12	สมการที่ 6-5

จากตารางที่ 6-3 แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการเรขาคณิต รูปแบบการบรรจุ แบบตั้ง เมื่อพิจารณาการคำนวณปริมาณยางในตู้คอนเทนเนอร์เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของ จำนวนยาง พบว่า ตู้คอนเทนเนอร์ส่วนมากมีผลที่ได้จากการพยากรณ์สูงกว่าการคำนวณด้วยวิธีการ ปัจจุบันซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาล้นตู้เนื่องจากการวางแผนที่มีจำนวนยางมากเกินไปที่จะสามารถ บรรจุได้ นอกจากนี้พบว่าผลการคำนวณความแม่นยำกับข้อมูลที่อาจไม่แม่นยำเท่าวิธีสมการถดถอย เนื่องจากการสร้างสมการเรขาคณิตอาศัยจากการอ้างอิงลักษณะการบรรจุยาง แต่ด้วยความ หลากหลายของขนาดยาง ส่งผลให้การบรรจุมีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อปัจจัยอื่นที่ต้องคำนึงถึง ดังรูปที่ 6-7



ก) การบรรจุยางที่เรียงชิดติดกันพอดี

ข) การบรรจุยางที่มีช่องว่างระหว่างแถว

รูปที่ 6-7 ความแตกต่างของการบรรจุต่างขนาด การบรรจุแบบตั้ง

การทำงาน ณ หน่วยงานในปัจจุบัน พนักงานบรรจุยางจะทำการเรียงยางระหว่างแถวให้ชิดติดกันมากที่สุด เพื่อย่นระยะเวลาการวางยางและทำให้สามารถบรรจุยางได้จำนวนแถวมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของยางว่าสามารถวางชิดได้ติดกันมากเพียงใด ดังตัวอย่างจากรูปที่ 6-7 แสดงถึงการบรรจุยางที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งรูปที่ 6-7 ก) มีการวางยางที่มีลักษณะสลับฟันปลาแบบเรียงชิดติดกันยางทั้งสองแถวสัมผัสกันพอดี แต่รูปที่ 6-7 ข) กลับพบว่าระหว่างแถวยางไม่สัมผัสกันทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแถว ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งช่องว่างดังกล่าวถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึงในการคำนวณปริมาณยาง และเป็นจุดที่สามารถนำไปปรับปรุงสมการการคำนวณได้ในอนาคต จากนั้นจะพิจารณาความแม่นยำในลักษณะเดียวกันสำหรับรูปแบบการบรรจุแบบไขว้ ดังตารางที่ 6-4

ตารางที่ 6-4 การเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการเรขาคณิต การบรรจุแบบไขว้

ชุดของข้อมูล	MAPE	จำนวนตุ้คอนเทนเนอร์		หมายเหตุ
		น้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน	สูงกว่าวิธีการปัจจุบัน	
ข้อมูลชุดเรียนรู้	8.20	18	23	สมการที่ 6-9
ข้อมูลชุดทดสอบ	10.75	7	4	สมการที่ 6-9

จากตารางที่ 6-4 พบว่า รูปแบบการบรรจุแบบไขว้ค่อนข้างแน่นยำกว่าแบบตั้งในข้อมูลชุดเรียนรู้ แต่ในข้อมูลชุดทดสอบพบว่า มีค่าที่แยกว่า นอกจากนี้ผลการพยากรณ์ตู้คอนเทนเนอร์พบว่า ข้อมูลชุดเรียนรู้ส่วนมากมีผลการคำนวณที่สูงกว่าวิธีการปัจจุบัน แต่ข้อมูลชุดทดสอบ ตู้คอนเทนเนอร์ส่วนมากกลับมีค่าน้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน เมื่อนำไปใช้งานจริงอาจส่งผลให้การวางแผนยางมีจำนวนน้อยกว่าความสามารถในการบรรจุของตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งก่อให้เกิดการเสียโอกาสในการขาย นอกจากนี้ยังพบว่า การสร้างสมการจากการอ้างอิงลักษณะการบรรจุยาง ส่งผลต่อความแม่นยำของการทำนายปริมาณยางที่มีขนาดแตกต่างกัน ดังรูปที่ 6-8 ซึ่งแสดงความแตกต่างของการบรรจุยางต่างขนาด วิธีการบรรจุแบบไขว้



ก) การบรรจุยางที่มีขนาดหน้ายางเล็ก

ข) การบรรจุยางที่มีขนาดหน้ายางใหญ่

รูปที่ 6-8 ความแตกต่างของการบรรจุต่างขนาด การบรรจุแบบไขว้

จากรูปที่ 6-8 จะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างระหว่างการบรรจุยางเมื่อมีขนาดหน้ายางต่างกัน โดยรูปที่ 6-8 ก) เป็นการบรรจุยางที่มีขนาดหน้ายางเล็ก มุมในการบรรจุจะเล็กกว่ารูปที่ 6-8 ข) ซึ่งมีขนาดหน้ายางใหญ่ และยังพบว่าการทำมุมระหว่างชั้นก็มีความแตกต่างกัน แม้ว่าจะเป็นยางขนาด

เดียวกัน อันเกิดจากน้ำหนักที่กดทับจากยางชั้นบน ส่งผลให้มุมของยางชั้นล่างค่อนข้างเล็กกว่ามุมของยางชั้นบน นอกจากนี้ การทำงาน ณ หน่วยงานปัจจุบัน จะบรรจุยางในลักษณะการซ้อนชั้นขึ้นไป และเมื่อพบพื้นที่เหลือด้านบนที่สามารถแทรกยางได้โดยไม่ทำให้ยางเสียหาย จะทำการแทรกยางโดยไม่วางสลับชั้นดังรูปแบบชั้นล่าง จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความไม่แม่นยำในการคำนวณและเป็นจุดที่สามารถนำไปพัฒนาการสร้างสรรค์การคำนวณให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นต่อไป

เปรียบเทียบข้อมูลทั้งสองวิธีการจัดเรียงจากตารางที่ 6-3 และ ตารางที่ 6-4 พบว่า การจัดเรียงทั้งสองแบบมีความแม่นยำใกล้เคียงกันในข้อมูลชุดเรียนรู้ แต่การจัดเรียงแบบตั้งมีความแม่นยำมากกว่าการจัดเรียงแบบไขว้ในข้อมูลชุดทดสอบ ซึ่งส่วนนี้อาจเกิดจากรูปแบบในการบรรจุที่ซับซ้อนกว่า อีกทั้งการจัดเรียงแบบไขว้ไม่เป็นที่นิยมนัก จึงทำให้มีตัวอย่างในการวิเคราะห์สมการและการทดสอบการคำนวณที่น้อยกว่า

เมื่อได้ทำการคำนวณความแม่นยำของสมการแล้ว จึงได้ทำการเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการคำนวณจากสมการถดถอย และวิธีการคำนวณทางเรขาคณิต เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการทำนายปริมาณยางรถยนต์เพื่อบรรจุในตู้คอนเทนเนอร์ในส่วนถัดไป

#### 6.5 เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างวิธีสมการถดถอยและการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต

การเปรียบเทียบความแม่นยำของการทำนายปริมาณยางรถยนต์ในตู้คอนเทนเนอร์ของข้อมูลเรียนรู้ จากตารางที่ 5-21 และตารางที่ 5-22 ซึ่งเป็นผลการคำนวณของวิธีสมการถดถอย กับตารางที่ 6-3 และตารางที่ 6-4ซึ่งเป็นผลการคำนวณของวิธีเรขาคณิต พบว่า ผลลัพธ์ของวิธีสมการถดถอยมีความแม่นยำกว่าวิธีสมการเรขาคณิต ซึ่งส่วนนี้อาจเกิดจากแบบจำลองและสมการถดถอยถูกสร้างจากข้อมูลชุดเรียนรู้ เมื่อพิจารณาค่า MAPE เปรียบเทียบจากตารางทั้ง 4 ดังตารางที่ 6-5 สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

ตารางที่ 6-5 ความแม่นยำของสมการถดถอยและสมการเรขาคณิต วิธีการบรรจุแบบตั้ง

รูปแบบสมการ	ข้อมูลชุดเรียนรู้	ข้อมูลชุดทดสอบ	หมายเหตุ
สมการถดถอย	5.01	5.99	สมการที่ 5-7
สมการเรขาคณิต	8.93	8.29	สมการที่ 6-5

พิจารณาตารางที่ 6-5 การคำนวณสำหรับรูปแบบการบรรจุแบบตั้ง วิธีเรขาคณิตมีความแม่นยำสูงขึ้นเมื่อพิจารณากับข้อมูลชุดทดสอบ ทั้งวิธีการแบบจำลองสมการถดถอยและการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองวิธีการ พบว่า วิธีการสมการถดถอยมีความแม่นยำสูงกว่าในทั้งข้อมูลชุดเรียนรู้และข้อมูลชุดทดสอบ ส่วนหนึ่งเกิดจากวิธีการคำนวณเรขาคณิตไม่ได้ใช้ข้อมูลชุดเรียนรู้เป็นข้อมูลตั้งต้น จึงสามารถใช้พิจารณาได้กับตัวแปรที่มีขนาดที่หลากหลายมากกว่า นอกจากนี้ ยังได้พิจารณาช่วงความแม่นยำของสมการ ทั้งวิธีสมการถดถอยและวิธีสมการเรขาคณิต โดยพิจารณาจากค่า APE (Absolute Percentage Error) ของผลการคำนวณความแตกต่างปริมาณในในแต่ละขนาดเมื่อเทียบกับวิธีการปัจจุบัน ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก พบว่า ช่วงที่สมการมีความแม่นยำสูงสุด สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง ดังขนาดที่แสดงในตารางที่ 6-6

ตารางที่ 6-6 ช่วงที่สมการมีความแม่นยำสูงสุด การบรรจุแบบตั้ง

รูปแบบสมการ	คำอธิบายขนาด ยาง	D	R	r	จำนวน ยาง จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน ยาง จาก วิธีการ ใหม่	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE
สมการถดถอย	225/45 R18	0.225	0.33	0.23	680	679	1	0.1%
สมการเรขาคณิต	265/70 R16	0.265	0.39	0.20	450	450	0	0.0%
	205/50 R17	0.205	0.32	0.22	792	792	0	0.0%
	245/50 R20	0.245	0.38	0.25	450	450	0	0.0%
	265/60 R18	0.265	0.39	0.23	450	450	0	0.0%
	245/45 R19	0.245	0.35	0.24	480	480	0	0.0%

จากตารางที่ 6-6 ซึ่งแสดงขนาดและจำนวน จากการคำนวณที่สมการมีความแม่นยำที่สุด พบว่า วิธีสมการถดถอยมีขนาดของยางที่มีความแม่นยำสูงสุด 1 ขนาด ซึ่งมีผลต่างการคำนวณ ปริมาณยางระหว่างวิธีการปัจจุบันและวิธีการใหม่ 1 เส้น คิดเป็น 0.1 % และวิธีสมการเรขาคณิตมีความแม่นยำสูงสุดกับยาง 5 ขนาด และสามารถคำนวณได้โดยไม่มีผลต่างระหว่างวิธีการ

ลำดับถัดไปพิจารณาความแม่นยำของสมการถดถอยและการวิเคราะห์ทางเรขาคณิตสำหรับวิธีการบรรจุยางแบบไขว้ กับข้อมูลชุดเรียนรู้และข้อมูลชุดทดสอบ ดังตารางที่ 6-7

ตารางที่ 6-7 ความแม่นยำของสมการถดถอยและสมการเรขาคณิต วิธีการบรรจุแบบไขว้

รูปแบบสมการ	ข้อมูลชุดเรียนรู้	ข้อมูลชุดทดสอบ	หมายเหตุ
สมการถดถอย	4.30	6.49	สมการที่ 5-14
สมการเรขาคณิต	8.20	10.75	สมการที่ 6-9

พิจารณาตารางที่ 6-7 วิธีการสมการถดถอยมีรูปแบบคล้ายกันกับวิธีการบรรจุแบบตั้งคือ ข้อมูลชุดทดสอบมีความแม่นยำต่ำกว่าข้อมูลชุดเรียนรู้ เปรียบเทียบกันระหว่างสองวิธีการพบว่า วิธีการสมการถดถอยมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต ทั้งนี้ การวิเคราะห์ทางเรขาคณิตเกิดจากสมการที่อ้างอิงจากลักษณะการบรรจุ โดยผลจากการทำนายปริมาณยางที่ได้ขึ้นอยู่กับยางแต่ละขนาดและการทำมุมมองค่าที่แตกต่างกัน วิธีทางเรขาคณิตจึงมีความแม่นยำต่ำกว่า เมื่อพิจารณาช่วงความแม่นยำของสมการ จากวิธีการคำนวณทั้ง 2 วิธีการ พิจารณาค่า APE ของผลการคำนวณความแตกต่างปริมาณยางในแต่ละขนาด ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก พบว่า ช่วงที่สมการมีความแม่นยำสูงสุด สำหรับวิธีการบรรจุยางแบบไขว้ ดังตารางที่ 6-8

ตารางที่ 6-8 ช่วงที่สมการมีความแม่นยำสูงสุด การบรรจุยางแบบไขว้

รูปแบบสมการ	คำอธิบายขนาด ยาง	D	R	r	จำนวน ยาง จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน ยาง จาก วิธีการ ใหม่	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE
สมการถดถอย	245/60 R18	0.245	0.38	0.23	576	576	0	0.0%
สมการเรขาคณิต	185/65 R15	0.185	0.31	0.19	1197	1197	0	0.0%
	205/65 R16	0.205	0.34	0.20	952	952	0	0.0%
	265/65 R17	0.265	0.39	0.22	540	540	0	0.0%

จากตารางที่ 6-8 พบว่า ยางขนาดที่มีความแม่นยำสูงสุดทั้งวิธีการสมการถดถอย 1 ขนาด และวิธีสมการเรขาคณิต 3 ขนาด สามารถให้ผลการคำนวณที่เท่ากับวิธีการปัจจุบันโดยไม่มีจำนวนยางแตกต่างกันระหว่างวิธีการ ทั้งวิธีการคำนวณด้วยสมการถดถอยและวิธีการคำนวณด้วยสมการเรขาคณิต

เมื่อพิจารณาภาพรวมจากการเปรียบเทียบการคำนวณทั้งสองวิธีการแล้ว พบว่า สมการการคำนวณจำนวนยางรถยนต์ต่อตู้คอนเทนเนอร์ทั้งสองแบบให้ความแม่นยำสำหรับการจัดเรียงแบบตั้งมากกว่าการจัดเรียงแบบไขว้ ส่วนหนึ่งเกิดจากการส่งออกที่มีครั้งการส่งออกตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการบรรจุยางแบบไขว้น้อยกว่า

นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์ใช้การคำนวณแบบสมการทางคณิตศาสตร์กับตู้คอนเทนเนอร์ที่ส่งออกมากกว่าหนึ่งขนาดภายในตู้เดียวกัน หรือตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด เพื่อรองรับการใช้งานจริง และสอดคล้องกับหน้าที่ทำอยู่ในปัจจุบัน



## 6.6 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ขนาด

การส่งออกสินค้าหลายขนาดในตู้คอนเทนเนอร์เดียวถือเป็นส่วนหนึ่งที่ทางบริษัทกรณีศึกษาทำเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย โดยการจัดส่งสินค้าขนาดในตู้คอนเทนเนอร์เดียวกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 6-9



ก) วิธีการบรรจุแบบตั้ง

ข) วิธีการบรรจุแบบไขว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รูปที่ 6-9 การบรรจุยางคละขนาด  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 6-9 คือตัวอย่างการบรรจุยางคละขนาด จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 6-9 ก) ซึ่งเป็นการบรรจุยางแบบตั้ง จะนำยางที่มีขนาดเล็กกว่าไว้ด้านบนเสมอ เช่นเดียวกับการบรรจุยางแบบไขว้ในรูปที่ 6-9 ข) ที่จะนำยางที่มีขนาดใหญ่กว่าเป็นฐาน เมื่อบรรจุขนาดนั้นๆหมดจะบรรจุขนาดย่อมลงมาในชั้นสูงขึ้นไป จากการวางยางในลักษณะนี้ส่งผลให้อรรถประโยชน์ลดลงตามสัดส่วนช่องว่างระหว่างยางที่สูญหายไป

การบรรจุยางคละขนาดจะใช้ในกรณีที่ไม่มีปริมาณยางขนาดเดียวเพียงพอที่จะบรรจุเต็มตู้คอนเทนเนอร์ จึงได้ประยุกต์การคำนวณจากการคำนวณแบบสมการทางเรขาคณิตของการบรรจุสินค้าขนาดเดียว การคำนวณในบทนี้จะทำการสุ่มตัวอย่างตู้คอนเทนเนอร์ที่มีการส่งออกแบบคละ 2, 3, 4 และ 5 ขนาด จำนวนประเภทละ 5 ตู้ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลการคำนวณด้วยวิธีใหม่เทียบกับวิธีการปัจจุบัน ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ตามวิธีการบรรจุ ดังนี้

#### 6.6.1 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์สำหรับวิธีการนี้ จะนำข้อมูลส่งออกจริงที่มีการคละขนาดมาทำการคำนวณแบบแยกขนาดโดยใช้สมการที่ 6-5 จากนั้นจึงนำ %อรรถประโยชน์ที่ได้จากการคำนวณมารวมกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่าง ระหว่างวิธีการปัจจุบัน กับวิธีการเรขาคณิต ดังตารางที่ 6-9 ซึ่งแสดงผลการคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง โดยข้อมูล 1 ชุด คือ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้

ตารางที่ 6-9 การคำนวณผู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

จำนวนขนาดใน ผู้คอนเทนเนอร์	ประเทศ ปลายทาง	% อรรถประโยชน์จาก วิธีการปัจจุบัน	% อรรถประโยชน์จาก การคำนวณวิธี เรขาคณิต	ผลต่างระหว่างวิธีการ ปัจจุบันและวิธี เรขาคณิต	จำนวนยางในผู้คอน เทนเนอร์หากใช้วิธี เรขาคณิต
2	จีน	97.0%	107.0%	-10.0%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
2	ญี่ปุ่น	96.0%	95.0%	1.0%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
2	เกาหลี	96.1%	81.9%	14.1%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
2	เกาหลี	96.0%	96.4%	-0.4%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
2	ญี่ปุ่น	96.5%	91.1%	5.4%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	ญี่ปุ่น	96.6%	112.4%	-15.7%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
3	เกาหลี	96.0%	92.1%	3.9%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	ญี่ปุ่น	97.1%	111.5%	-14.4%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
3	ญี่ปุ่น	96.6%	86.2%	10.4%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	เกาหลี	96.1%	99.3%	-3.2%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
4	เกาหลี	96.8%	96.8%	-0.1%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
4	ญี่ปุ่น	96.8%	98.0%	-1.2%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
4	เกาหลี	96.2%	77.8%	18.4%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
4	ญี่ปุ่น	96.5%	106.2%	-9.8%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
4	เกาหลี	96.2%	108.4%	-12.2%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
5	เกาหลี	96.1%	97.9%	-1.8%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
5	ญี่ปุ่น	97.0%	108.3%	-11.3%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
5	เกาหลี	96.1%	93.8%	2.2%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
5	ญี่ปุ่น	96.5%	105.3%	-8.7%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
5	ญี่ปุ่น	97.0%	108.3%	-11.3%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน

จากตารางที่ 6-9 เป็นผลลัพธ์ภาพรวมของผู้คอนเทนเนอร์ โดยค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างวิธีการทั้งหมด มีค่า 7.8 % หากผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีค่า % อรรถประโยชน์สูงกว่าการคำนวณแบบปัจจุบัน เปรียบเหมือนไม่สามารถบรรจุยางได้ตามเท่าที่คำนวณ จะถือว่าล้นตู้ แต่หาผลการคำนวณมี % น้อยกว่าวิธีการปัจจุบัน จะเสมือนมีพื้นที่ว่างในผู้คอนเทนเนอร์ จึงถือว่าไม่เต็มตู้ จากจำนวนผู้คอนเทนเนอร์ตัวอย่าง 20 ตู้ พบว่า มีจำนวนผู้คอนเทนเนอร์ที่มีผลการคำนวณสูงกว่าวิธีการ

ปัจจุบัน 13 ตู้คอนเทนเนอร์ และตู้คอนเทนเนอร์ที่ต่ำกว่าวิธีการปัจจุบัน 7 ตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งรายละเอียดของขนาดจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก)

เพื่อให้ % ความสำเร็จสามารถนำไปใช้วางแผนการส่งออกและวัดผลได้เหมือนเดิม จึงพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราประโยชน์จากการคำนวณระหว่างวิธีการปัจจุบันและวิธีเรขาคณิต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยวิธีการ T-Test กำหนดให้  $\mu_{old}$  เป็นค่าเฉลี่ยของวิธีการปัจจุบันและ  $\mu_{new}$  เป็นค่าเฉลี่ยของวิธีเรขาคณิต สร้างสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis :  $H_0$ ) : ค่าเฉลี่ยอัตราประโยชน์ของวิธีการปัจจุบันและวิธีเรขาคณิตไม่มีความแตกต่างกัน

$$H_0 : \mu_{old} = \mu_{new}$$

สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis :  $H_1$ ) : ค่าเฉลี่ยอัตราประโยชน์ของวิธีการปัจจุบันและวิธีเรขาคณิตมีความแตกต่างกัน

$$H_1 : \mu_{old} \neq \mu_{new}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากสมมติฐาน  $H_0$  จะการยอมรับสมมติฐานหากค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสมมติฐาน  $H_1$  จะยอมรับเมื่อค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์นัยสำคัญตั้งตารางที่ 6-10

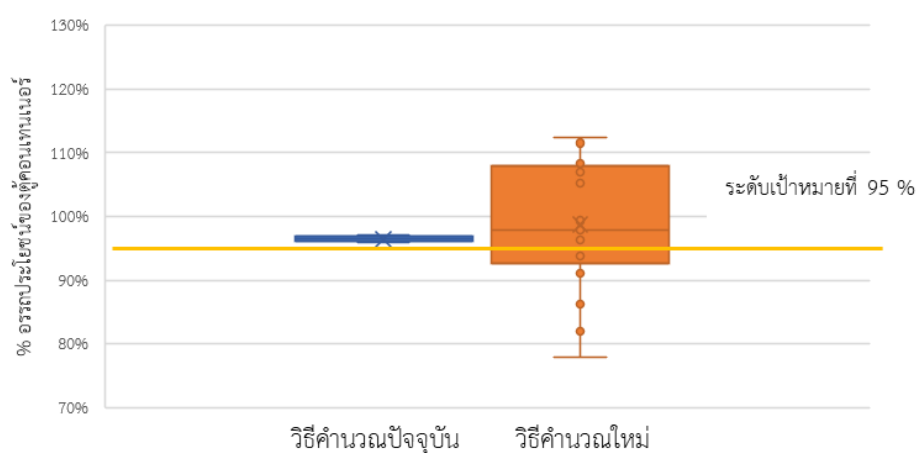
ตารางที่ 6-10 ผลการวิเคราะห์ T-Test วิธีการบรรจุขนาดแบบตั้ง

	วิธีการปัจจุบัน	วิธีเรขาคณิต
ค่าเฉลี่ย	96.5%	98.7%
ค่าความแปรปรวน	1.4098E-05	0.009579635
จำนวนตัวอย่าง	20	20
องศาอิสระ	19	
ค่า T	-1.04	
P(T<=t) one-tail	0.15	
t Critical one-tail	1.73	

จากตารางที่ 6-10 พบว่า ค่า T มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตของ T และ P(T<=t) มีค่าสูงกว่าระดับที่ยอมรับคือ 0.05 จึงกล่าวได้ว่ายอมรับสมมติฐาน  $H_0$  คือค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อเป็นการยอมรับการนำวิธีการคำนวณใหม่มาใช้ ควรพิจารณาค่าการกระจายตัว ดังรูปที่ 6-10 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างวิธีการปัจจุบันและวิธีเรขาคณิตสำหรับผู้คอนเทนเนอร์คละขนาด

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผู้คอนเทนเนอร์คละขนาด การบรรจุแบบตั้ง



รูปที่ 6-10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผู้คอนเทนเนอร์คละขนาด การบรรจุแบบตั้ง

รูปที่ 6-10 วิธีการคำนวณแบบใหม่มีการกระจายตัวที่สูงกว่าวิธีการคำนวณปัจจุบัน ซึ่งมีวง  
เกาะเป็นกลุ่มกันมากกว่า ซึ่งมีช่วงกว้างตั้งแต่อัตราประโยชน์ ตั้งแต่อัตราประโยชน์ต่ำสุด 77.8 %  
จนถึง 112.4% ในขณะที่ข้อมูลตัวอย่างจากวิธีการปัจจุบันมีอัตราประโยชน์ต่ำสุด 96.0 % จนถึง  
97.1 %

จากข้อมูลการคำนวณคละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้งในตารางที่ 6-10 และรูปที่ 6-10  
พบว่า วิธีการคำนวณแบบใหม่สามารถนำไปใช้แทนวิธีการปัจจุบันได้ แต่อาจยังต้องปรับปรุงเพื่อให้  
เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นแผนในการพัฒนาฐานข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาต่อไป

#### 6.6.2 การคำนวณผู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

การคำนวณจะกระทำในลักษณะเดียวกับวิธีการบรรจุแบบตั้ง ดังแสดงในหัวข้อ 6.6.1 โดยใช้  
สมการที่ 6-9 มาใช้ในการคำนวณ และข้อมูล 1 ชุด คือจำนวนผู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้ตั้งตารางที่ 6-11  
ซึ่งแสดงผลการคำนวณผู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

ตารางที่ 6-11 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

จำนวนขนาดในตู้คอนเทนเนอร์	ประเทศปลายทาง	% อรรถประโยชน์จากวิธีการปัจจุบัน	% อรรถประโยชน์จากการคำนวณวิธีเรขาคณิต	ผลต่างระหว่างวิธีการปัจจุบันและวิธีเรขาคณิต	จำนวนวางในตู้คอนเทนเนอร์หากใช้วิธีเรขาคณิต
2	จีน	96.3%	104.1%	-7.8%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
2	มาเลเซีย	98.5%	89.1%	9.4%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
2	อินโดนีเซีย	97.1%	94.0%	3.1%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
2	ออสเตรเลีย	96.6%	91.0%	5.6%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
2	มาเลเซีย	97.2%	83.8%	13.4%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	มาเลเซีย	96.5%	88.8%	7.7%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	มาเลเซีย	94.8%	90.9%	3.9%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	จีน	97.1%	93.2%	3.9%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	มาเลเซีย	94.9%	90.3%	4.6%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
3	มาเลเซีย	94.4%	91.5%	2.9%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
4	มาเลเซีย	96.7%	122.5%	-25.8%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
4	ออสเตรเลีย	96.3%	95.0%	1.3%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
4	จีน	96.3%	89.5%	6.7%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
4	มาเลเซีย	96.4%	89.8%	6.5%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
4	อินโดนีเซีย	97.1%	92.1%	5.1%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
5	มาเลเซีย	95.1%	92.2%	3.0%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
5	อินโดนีเซีย	96.7%	96.5%	0.2%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
5	เวียดนาม	96.5%	98.4%	-1.8%	สูงกว่าวิธีปัจจุบัน
5	จีน	97.1%	89.7%	7.4%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน
5	เวียดนาม	95.5%	91.1%	4.4%	น้อยกว่าวิธีปัจจุบัน

จากตารางที่ 6-11 ค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างวิธีการทั้งหมด มีค่า 6.2 % จากจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ตัวอย่าง 20 ตู้ พบว่า มีจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่การคำนวณด้วยวิธีเรขาคณิตมีค่าสูงกว่าวิธีการปัจจุบันเพียง 3 ตู้คอนเทนเนอร์ และมีค่าน้อยกว่าวิธีปัจจุบัน 17 ตู้คอนเทนเนอร์ รายละเอียดของขนาดแต่ละตู้คอนเทนเนอร์ดังแสดงในภาคผนวก ก)

พิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราประโยชน์จากการคำนวณระหว่างวิธีการปัจจุบันและวิธีการ กำหนดให้  $\mu_{old}$  เป็นค่าเฉลี่ยของวิธีการปัจจุบันและ  $\mu_{new}$  เป็นค่าเฉลี่ยของวิธีเรขาคณิต สร้างสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis :  $H_0$ ) : ค่าเฉลี่ยอัตราประโยชน์ของวิธีการปัจจุบันและวิธีเรขาคณิตไม่มีความแตกต่างกัน

$$H_0 : \mu_{old} = \mu_{new}$$

สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis :  $H_1$ ) : ค่าเฉลี่ยอัตราประโยชน์ของวิธีการปัจจุบันและวิธีเรขาคณิตมีความแตกต่างกัน

$$H_1 : \mu_{old} \neq \mu_{new}$$

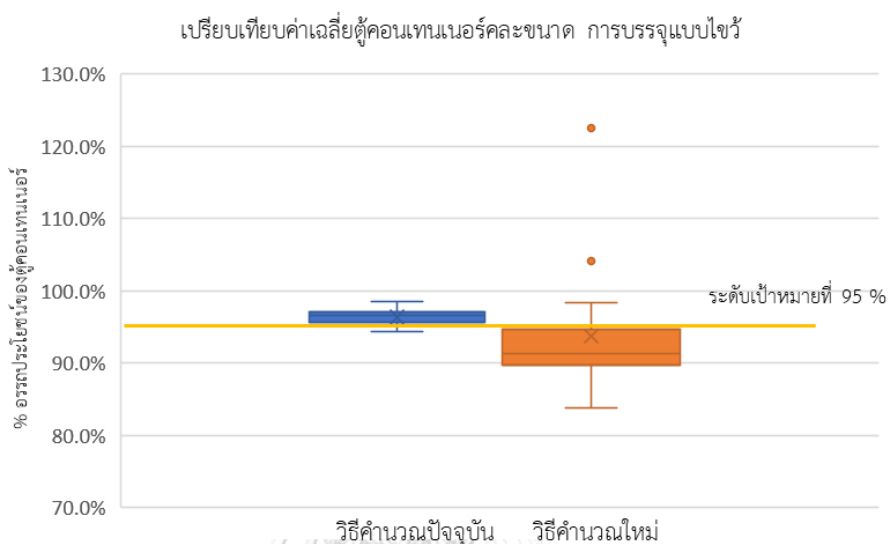
จากสมมติฐาน  $H_0$  จะยอมรับสมมติฐานหากค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสมมติฐาน  $H_1$  จะยอมรับเมื่อค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์นัยสำคัญดังตารางที่ 6-12

ตารางที่ 6-12 ผลการวิเคราะห์ T-Test วิธีการบรรจุคละขนาดแบบไขว้

	วิธีการปัจจุบัน	วิธีเรขาคณิต
ค่าเฉลี่ย	96.4%	93.7%
ค่าความแปรปรวน	9.85383E-05	0.006343702
จำนวนตัวอย่าง	20	20
องศาอิสระ	19	
ค่า T	1.50	
P(T<=t) one-tail	0.08	
t Critical one-tail	1.73	



จากตารางที่ 6-12 ค่า T มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตของ T และ  $P(T \leq t)$  มีค่าสูงกว่าระดับที่ยอมรับคือ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  คือค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธีการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพิจารณาค่าการกระจายตัวของค่าเฉลี่ย ดังรูปที่ 6-11



รูปที่ 6-11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผู้คอนเทนเนอร์ละขนาด การบรรจุแบบไขว้

รูปที่ 6-11 วิธีการคำนวณแบบใหม่มีการกระจายตัวที่สูงกว่าวิธีการคำนวณปัจจุบัน เช่นเดียวกับรูปแบบการบรรจุแบบตั้ง ค่าเฉลี่ยของการคำนวณแบบใหม่มีค่าน้อยกว่าการคำนวณแบบปัจจุบัน และพบว่าวิธีการคำนวณใหม่นอกจากจะมีการกระจายตัวที่กว้างกว่าแล้ว ยังมี Outlier อยู่ในระดับที่สูง อีกด้วย ซึ่งการคำนวณแบบใหม่มีช่วงกว้างตั้งแต่อัตราประโยชน์ ตั้งแต่อัตราประโยชน์ต่ำสุด 83.8 % จนถึง 122.5 % ในขณะที่ข้อมูลตัวอย่างจากวิธีการปัจจุบันมีอัตราประโยชน์ต่ำสุด 94.4 % จนถึง 98.5%

หากเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างสองวิธีการบรรจุโดยภาพรวม พบว่า วิธีการบรรจุแบบตั้งมีความแม่นยำกว่าวิธีการบรรจุแบบไขว้เล็กน้อย แต่หากพิจารณาในอีกแง่มุมหนึ่ง การคำนวณ

ใหม่สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ อาจทำให้เกิดตู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่เต็มตู้มากขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านค่าใช้จ่ายการขนส่ง จึงควรพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานและการสร้างฐานข้อมูลรวมไปถึงการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันด้วยวิธีการที่เหมาะสมกับการคำนวณที่สุด

จากค่าเฉลี่ยการคำนวณแบบปัจจุบันและการคำนวณแบบเรขาคณิต สำหรับตู้คอนเทนเนอร์แบบคละขนาด รูปแบบการบรรจุทั้งสองวิธีการ พบว่าค่าเฉลี่ยของการคำนวณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในเชิงตัวเลข ต่างกันแต่เพียงการคำนวณการวางแผนงานเทียบกับการบรรจุอย่างจริงจังหน้างานเท่านั้น จึงสามารถใช้วิธีใหม่คำนวณฐานข้อมูลที่ใช้ในการวางแผน และยังคงตัวชี้วัดประสิทธิภาพหลักของบริษัทการศึกษาแบบเดิมได้ แต่ยังคงพบจุดปรับปรุงซึ่งสามารถนำไปแก้ไขและพัฒนาให้วิธีเรขาคณิตมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นต่อไป

นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม สำหรับการบรรจุคละขนาดที่ถูกส่งออกจากคลังสินค้าเข้าเพื่อส่งออก ซึ่งมีปัญหาด้านอรรถประโยชน์จนนำมาสู่ปัญหาของงานวิจัย ดังนี้

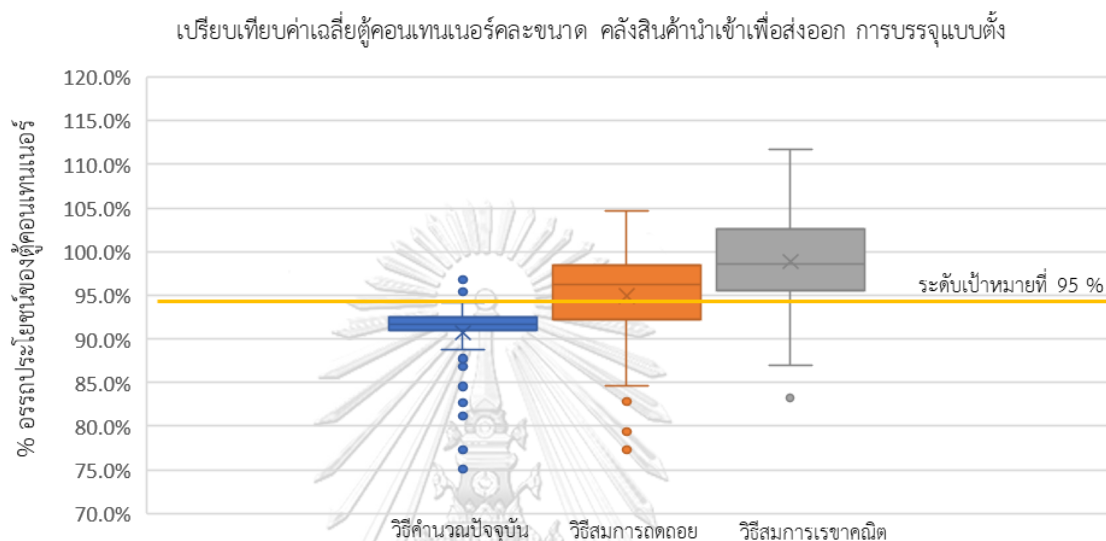
#### **6.7 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด คลังสินค้าเข้าเพื่อส่งออก**

ปัจจุบันคลังสินค้าแห่งนี้ เน้นการส่งออกแบบคละขนาดเนื่องจากมีขนาดของสินค้าในคลังที่หลากหลาย โดยทำการสุ่มตัวอย่างตู้คอนเทนเนอร์ที่มีการส่งออกแบบคละในเดือนกรกฎาคม ถึงกันยายน 2021 เพื่อทำการวิเคราะห์ผลการคำนวณด้วยวิธีสมการถดถอย และวิธีเรขาคณิต เทียบกับวิธีการปัจจุบัน แบ่งการวิเคราะห์ตามวิธีการบรรจุ ดังนี้

##### **6.7.1 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง**

การคำนวณสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง จะคำนวณด้วยสมการที่ 6-5 จากนั้นจึงนำ % อรรถประโยชน์ที่ได้จากการคำนวณมารวมกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่าง ระหว่างวิธีการปัจจุบัน กับวิธีการสมการเรขาคณิต ดังได้แสดงในภาคผนวก ข การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด

จากคลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง จำนวนข้อมูลที่นำมาทำการศึกษาทั้งหมด 65 ชุดข้อมูล โดยข้อมูล 1 ชุด คือจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าการกระจายตัว ดังรูปที่ 6-12



รูปที่ 6-12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด สินค้านำเข้าเพื่อส่งออก บรรจุแบบตั้ง

จากรูปที่ 6-12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างวิธีการคำนวณแบบปัจจุบัน และวิธีการคำนวณแบบใหม่ สำหรับการบรรจุแบบตั้งจากคลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก ดังรูปที่ 6-2 มีจำนวนชุดตัวอย่าง 65 ชุดข้อมูล และจำนวนขนาดภายในตู้คอนเทนเนอร์ที่คละกันต่ำสุด 3 ขนาด สูงสุด 83 ขนาด จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธีการคำนวณแบบใหม่มีผลการคำนวณอัตราประโยชน์ที่สูงกว่าวิธีการคำนวณปัจจุบัน ดังตารางที่ 6-13

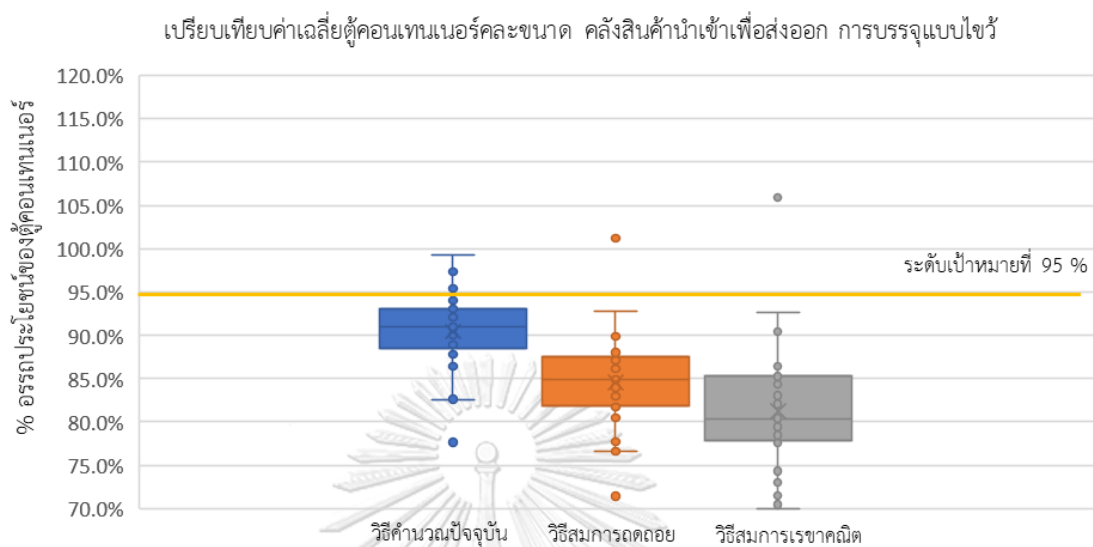
ตารางที่ 6-13 เปรียบเทียบผลการคำนวณ การบรรจุแบบตั้ง คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก

	วิธีการปัจจุบัน	วิธีสมการถดถอย	วิธีเรขาคณิต
ต่ำสุด	75.06%	77.32%	83.19%
สูงสุด	96.82%	104.64%	111.78%
ค่าเฉลี่ย	90.68%	94.91%	98.87%
MAPE	-	5.47	9.41

จากตารางที่ 6-13 พบว่าผลการคำนวณจากวิธีการใหม่ ทั้งวิธีสมการถดถอย และวิธีเรขาคณิต มีค่าสูงกว่าวิธีการคำนวณแบบปัจจุบัน และมีค่า MAPE 5.47 และ 9.41 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสมการถดถอยและวิธีทางเรขาคณิตตามลำดับ โดยวิธีการคำนวณแบบใหม่อาจช่วยให้อัตราประโยชน์มีค่าสูงขึ้นซึ่งแก้ปัญหาอัตราประโยชน์ต่ำกว่าความเป็นจริง แต่ก็อาจทำให้มีค่าสูงเกินหากนำมาใช้งานจริงทดแทนวิธีการคำนวณในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ ดังนี้

#### 6.7.2 การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

การคำนวณจะกระทำในลักษณะเดียวกับวิธีการบรรจุแบบตั้ง แตกต่างเพียงการใช้สมการที่ 6-9 มาใช้ในการคำนวณ ผลการคำนวณค่าความแตกต่างจะกล่าวอยู่ในภาคผนวก และได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างวิธีการปัจจุบัน และวิธีการใหม่ ดังรูปที่ 6-13



รูปที่ 6-13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด สิ้นค้านำเข้าเพื่อส่งออก บรรจุแบบไขว้

จากรูปที่ 6-13 มีจำนวนชุดตัวอย่าง 37 ชุดข้อมูล และจำนวนขนาดภายในตู้คอนเทนเนอร์ที่คละกันต่ำสุด 22 ขนาด สูงสุด 102 ขนาด จากรูปพบว่าวิธีการคำนวณแบบใหม่มีการกระจายตัวที่สูงกว่าวิธีการคำนวณปัจจุบัน และค่าเฉลี่ยของการคำนวณแบบใหม่มีค่าน้อยกว่าการคำนวณแบบปัจจุบันนอกจากนี้ยังพบว่ามีความ Outlier ที่เป็นค่าโดดเพียงค่าเดียวที่สูงกว่าวิธีการคำนวณแบบปัจจุบัน ดังแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 6-14

ตารางที่ 6-14 เปรียบเทียบผลการคำนวณ การบรรจุแบบไขว้ คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก

	วิธีการปัจจุบัน	วิธีสมการถดถอย	วิธีเรขาคณิต
ต่ำสุด	77.64%	71.40%	66.37%
สูงสุด	99.30%	101.23%	105.92%
ค่าเฉลี่ย	90.46%	84.54%	81.20%
MAPE	-	7.1	11.1

จากตารางที่ 6-14 การคำนวณด้วยวิธีการใหม่ทั้งวิธีสมการถดถอยและวิธีเรขาคณิตค่อนข้างมีอัตราประโยชน์ที่ต่ำกว่าวิธีการปัจจุบัน และมีค่า MAPE 7.1 และ 11.1 สำหรับวิธีสมการถดถอยและวิธีเรขาคณิตตามลำดับ ซึ่ง วิธีการนี้อาจทำให้ค่าอัตราประโยชน์ มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

จากการพิจารณาการคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ขนาดที่ส่งออกจากคลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก ซึ่งมีความหลากหลายสูง พบว่า การคำนวณวิธีการใหม่ให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแตกต่างจากวิธีการปัจจุบัน สำหรับทั้งรูปแบบการบรรจุแบบตั้งและแบบไขว้ ซึ่งเป็นจุดที่สามารถปรับปรุงทั้งสมการการคำนวณฐานข้อมูล และการวางแผนงาน ก่อนที่จะประยุกต์ใช้วิธีการใหม่กับการทำงานในลำดับถัดไป

## บทที่ 7

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากหนึ่งในปัจจัยที่สามารถทำให้ประหยัดต้นทุนการขนส่ง คือการลดอัตราประโยชน์เชิงปริมาณของผู้คอนเทนเนอร์สูงสุด เพื่อให้สามารถบรรจุขบวนได้ปริมาณสูงสุดโดยไม่เหลือพื้นที่ว่างซึ่งเป็นความสูญเปล่า บริษัทกรณีศึกษาได้มีการกำหนดตัวชี้วัดอัตราประโยชน์ในเชิงปริมาณเพื่อควบคุมการขนส่งให้มีประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการของลูกค้าทั้งในแง่เวลานำส่งและต้นทุนการขนส่ง การคำนวณ อัตราประโยชน์ของผู้คอนเทนเนอร์ที่ไม่แม่นยำ ก่อให้เกิดปัญหาอย่างไม่เต็มตัว ซึ่งเสียโอกาสในการขนส่ง และปัญหายางล้นตู้ งานวิจัยฉบับนี้จึงได้ศึกษาวิธีการคำนวณ อัตราประโยชน์โดยเลือกนำวิธีการสร้างสมการถดถอย ดังได้กล่าวในบทที่ 5 และวิธีทางเรขาคณิต ดังบทที่ 6 ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

#### 7.1 สรุปผลงานวิจัย

จากข้อมูลในปี 2019 พบว่ามียางในกลุ่มยางนำเข้าไปเพื่อส่งออก มีการใช้อัตราประโยชน์ที่ต่ำกว่ายางกลุ่มอื่นทั้งที่มีวิธีการคำนวณในลักษณะเดียวกัน ในขณะที่เดียวกันเมื่อตรวจสอบหน้างานจริงพบว่า มียางจำนวนมากไม่สามารถบรรจุรวมไปในตู้คอนเทนเนอร์ได้แม้ว่าจะมีค่าอัตราประโยชน์ที่ต่ำจากการวิเคราะห์พบว่าหน้างานจริงไม่สามารถบรรจุขบวนได้เท่ากับการวางแผนงานเนื่องจากมีฐานข้อมูลการคำนวณที่ไม่เป็นปัจจุบันและมีปริมาณยางแต่ละขนาดไม่เพียงพอต่อการสร้างฐานข้อมูล จึงก่อให้เกิดการวางแผนงานที่ไม่แม่นยำ และส่งผลกระทบต่อการทำงานซ้ำซ้อนของคลังสินค้า วิธีการปัจจุบันที่ใช้อยู่เมื่อผู้วางแผนการส่งออกพบว่า มียางขนาดใหญ่ซึ่งแตกต่างจากในฐานข้อมูลปัจจุบันที่มีอยู่ จะทำการเทียบเคียงจากขนาดที่ใกล้เคียงที่สุด ซึ่งก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเทียบขนาดต่อขนาด จึงได้เปลี่ยนวิธีการโดยการใช้ฐานข้อมูลการคำนวณอ้างอิงจากประเทศอื่นที่มี

ยางขนาดเดียวกัน แต่พบว่าปัญหายังไม่หาย เนื่องจากข้อกำหนดและวิธีการในการบรรจุของแต่ละประเทศแตกต่างกัน จึงได้ทำการศึกษาวิจัยการปรับปรุงอรรถประโยชน์ในตัวคอนเทนเนอร์ยางเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลส่งออกย้อนหลัง และวิธีการคำนวณทางสมการคณิตศาสตร์ พบว่าสามารถใช้ทดแทนวิธีการแบบปัจจุบันได้โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ก่อนที่จะได้วิธีการคำนวณดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นในบทที่ 5 และ 6 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาวิธีการคำนวณในลักษณะอื่น คือ การคำนวณแบบปริมาตรของยาง คือการคิดปริมาตรของยางในหน่วยของ ลูกบาศก์เมตร (Cubic Meter : CBM) ซึ่งเป็นหน่วยที่นิยมในการส่งออกแบบบรรจุไม่เต็มตู้ทางเรือ และการส่งออกทางอากาศ [29] แต่เมื่อได้ทำการคำนวณแล้วกลับพบว่า เกิดปัญหาพื้นที่ว่างในตัวคอนเทนเนอร์ กลับไม่สามารถบรรจุยางได้จริง เนื่องจากเป็นพื้นที่ว่างด้านบนหรือด้านท้ายของตู้ที่มีพื้นที่แคบ ไม่สามารถวางยางได้เต็มเส้น จากนั้นจึงได้พิจารณาวิธีสมการถดถอยแบบขนาดเดียวเต็มตู้ ดังได้กล่าวในบทที่ 5 ซึ่งมีแนวคิดจากการวัดยาง ณ หน่วยงานจากวิธีการปัจจุบัน ที่เป็นการหาจำนวนบรรจุยางขนาดเดียวต่อตัวคอนเทนเนอร์ก่อน แล้วจึงนำไปสร้างฐานข้อมูลเพื่อคำนวณหลายขนาดถัดไป และวิเคราะห์วิธีการทางเรขาคณิต โดยได้แนวคิดจากการคิดแบบปริมาตรลูกบาศก์เมตร แต่ต้องทำให้มั่นใจว่าพื้นที่ว่างที่เหลืออยู่มากพอที่จะบรรจุยางเพิ่มได้ จึงสร้างสมการเรขาคณิตดังกล่าวถึงในบทที่ 6 ระหว่างการสร้างสมการได้มีการคำนวณในหลายรูปแบบ เช่น การกำหนดขนาดของยางที่ทำมุมองศากันอย่างตายตัว ในวิธีการบรรจุแบบตั้งและแบบไขว้ และทำการจำลองการบรรจุยาง ดังภาคผนวก ค



การเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างสองวิธีการ พบว่า ทั้งสองวิธีการมีความเหมาะสมตามกรณีที่จะนำไปใช้งานแตกต่างกัน จากตารางที่ 6-5 และตารางที่ 6-7 ซึ่งเปรียบเทียบความแม่นยำสำหรับการบรรจุสินค้าขนาดเดียวเต็มตู้พบว่าวิธีการใช้สมการถดถอยมีความเหมาะสมกว่า แต่หากพิจารณาผลการประยุกต์ใช้กับการคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่คละขนาด พบว่าวิธีทางเรขาคณิตมีความเหมาะสมเพราะสามารถคำนวณจากปริมาณอย่างน้อยได้ ดังนั้น วิธีการสมการถดถอยจึงเหมาะสำหรับยางรถยนต์ที่มีความถี่ในการส่งออกสูงเนื่องจากข้อมูลในอดีตจำนวนมาก ในขณะที่สมการทางเรขาคณิตเหมาะสมกับการประมาณยางรถยนต์ขนาดใหม่ที่ไม่เคยมีการส่งออกในอดีตมาก่อนและยางรถยนต์ที่มีความถี่ในการส่งออกต่ำ

## 7.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

จากงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาการปรับปรุงอรรถประโยชน์ของผู้คอนเทนเนอร์ยาง พบว่า ยังมีจุดที่สามารถปรับปรุงเพื่อให้เกิดการคำนวณที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น และต่อยอดเพื่อพัฒนาการคำนวณรวมถึงแนวคิดเพื่อการส่งออกในลักษณะอื่น ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคตที่สามารถพัฒนาต่อได้ แบ่งเป็น 3 หัวข้อหลักได้ดังนี้ ดังนี้

- การปรับปรุงและพัฒนาการคำนวณให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าผลการคำนวณจากวิธีการใหม่จะให้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้และสามารถนำมาใช้ได้เมื่อเทียบกับวิธีการคำนวณในปัจจุบัน แต่จากข้อมูลพบว่าผลลัพธ์จากวิธีการใหม่ยังมีค่าการกระจายของความแม่นยำที่ค่อนข้างกว้าง จึงควรเก็บสะสมข้อมูลการส่งออกนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงค่าการกระจายให้มีความแม่นยำขึ้นและพัฒนาฐานข้อมูลต่อไปในอนาคต

- การประยุกต์นำไปใช้กับการวางแผนงานและการส่งออก โดยประยุกต์ใช้ในการคำนวณผลิตภัณฑ์ยางล้อประเภทอื่น เช่น ยางรถบรรทุก-รถบัส ยางรถจักรยานยนต์ และยางเครื่องบิน

เนื่องจากเป็น 4 ผลิตภัณฑ์หลักที่ส่งออกจากประเทศไทย และพัฒนาการคำนวณการบรรจุแบบสองวิธีการบรรจุในตู้เดียวกัน เพื่อเพิ่มโอกาสการขายผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงคำนวณสำหรับการบรรจุในตู้ขนาดอื่น รวมไปถึงการคำนวณพาเลทสำหรับยางบางชนิด เช่น ยางเครื่องบินขนาดเล็กที่มีการบรรจุแบบ pallet และการศึกษาขนาดทางกายภาพของยางในเชิงลึก แบ่งตามตระกูลของยาง เพราะตระกูลยางที่ต่างกัน ย่อมส่งผลถึงความแข็ง และความยืดหยุ่นของยางที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อขนาดของยางขณะซ้อนทับหลายชั้น

- การพัฒนาระบบและโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งปัจจุบันเป็น Microsoft Access เป็นโปรแกรมที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบ ได้โดยตรง โดยนำฐานข้อมูลการคำนวณเชื่อมต่อกับระบบ ERP เพื่อได้ทราบอัตราประโยชน์ตั้งแต่ได้รับคำสั่งซื้อ และสร้างฐานข้อมูลกลาง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการส่งออกของแผนกอื่น เช่น แผนกการขายในประเทศ หรือการขนส่งภายในประเทศอื่นในภูมิภาค

## บรรณานุกรม

- [1] กรมการค้าไทย. "สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย," <http://www2.ops3.moc.go.th>.
- [2] I. J. Chen, and A. Paulraj, "Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements," *Journal of operations management*, vol. 22, no. 2, pp. 119-150, 2004.
- [3] P. R. Cateora, R. B. M. F. Meyer, M. C. Gilly, and J. L. Graham, *International marketing*: McGraw-Hill Education, 2020.
- [4] J. L. Devore, *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*: Cengage learning, 2011.
- [5] D. C. Montgomery, and G. C. Runger, *Applied statistics and probability for engineers*: John Wiley & Sons, 2010.
- [6] cran.r-project.org. "Variable Selection Methods," [https://cran.r-project.org/web/packages/olsrr/vignettes/variable\\_selection.html](https://cran.r-project.org/web/packages/olsrr/vignettes/variable_selection.html).
- [7] B. Eksioğlu, R. Demirer, and I. Capar, "Subset selection in multiple linear regression: a new mathematical programming approach," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 49, no. 1, pp. 155-167, 2005.
- [8] D. Pisinger, "Heuristics for the container loading problem," *European journal of operational research*, vol. 141, no. 2, pp. 382-392, 2002.
- [9] 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.
- [10] 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.

- [11] M. Alonso, R. Alvarez-Valdes, M. Iori, F. Parreño, and J. Tamarit, "Mathematical models for multicontainer loading problems," *Omega*, vol. 66, pp. 106-117, 2017.
- [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] 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.
- [14] 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.
- [15] ส. พึ่งพุทธิกานต์, "การเพิ่มประสิทธิภาพการบรรจุสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์," รายงานการประชุมวิชาการ เสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ, vol. 1, no. 9, pp. 1290-1300, 2018.
- [16] ป. สุวรรณสันติสุข, "ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องหลายมิติเข้าตู้คอนเทนเนอร์," Thesis, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2009.
- [17] ธ. ทองรีว, "วิธีการทางฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเรียงสินค้าลงตู้สินค้า," 2018.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] อ. นววงศ์เสถียร, "ต้นทุนการขนส่งรวมต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีผลต่อการเลือกรูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการ," วารสารวิชาการพระจอม

- เกล้าพรนครเหนือ, vol. 24, no. 1, pp. 135-145, 2014.
- [21] ก. วังบุญ, “โปรแกรมการจัดเรียงของบรรถบรรทุก Truck packing program,” Independent Study (IS), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2005.
- [22] K. Phongsrisuk, A. Phewdum, and P. Sonyam, “การประมาณค่าความถี่ธรรมชาติของแผ่นวัสดุเชิงประกอบที่มีขอบสามด้านรองรับแบบยึดแน่นและอีกหนึ่งด้านปล่อยอิสระ,” *Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 28, no. 1, pp. 185-194, 2021.
- [23] H. H. Örkücü, “Subset selection in multiple linear regression models: A hybrid of genetic and simulated annealing algorithms,” *Applied Mathematics and Computation*, vol. 219, no. 23, pp. 11018-11028, 2013.
- [24] R. Kohavi, and G. H. John, “Wrappers for feature subset selection,” *Artificial intelligence*, vol. 97, no. 1-2, pp. 273-324, 1997.
- [25] A. Soltanzadeh, H. Heidari, H. Mohammadi, A. Mohammadbeigi, V. Sarsangi, and M. Darakhshan Jazari, “Comprehensive causal analysis of occupational accidents’ severity in the chemical industries; A field study based on feature selection and multiple linear regression techniques,” *Journal of Health and safety at Work*, vol. 9, no. 4, pp. 298-310, 2019.
- [26] H. Son, and C. Kim, “Forecasting short-term electricity demand in residential sector based on support vector regression and fuzzy-rough feature selection with particle swarm optimization,” *Procedia engineering*, vol. 118, pp. 1162-1168, 2015.
- [27] สยามมิชลิน. "วิธีอ่านขนาดบนแก้มยาง," 2021; <https://www.michelin.co.th>.
- [28] Searates. "Parameters of sea containers : 40' HIGH-CUBE," <https://www.searates.com/reference/container/40-foot-high-cube>.
- [29] S. Kollerath. "How to calculate CBM in LCL export shipments," 2021; <https://howtoexportimport.com/How-to-calculate-CBM-in-LCL-export-shipments-195.aspx>.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ภาคผนวก ก

ความแม่นยำของสมการ ตามขนาดของยาง การบรรจุยางแบบตั้ง

คำอธิบาย ขนาดยาง	D	R	r	จำนวน ยางจาก วิธีการ ปัจจุบัน	วิธีสมการถดถอย			วิธีสมการเรขาคณิต		
					จำนวน ยางจาก วิธี สมการ ถดถอย	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE	จำนวน ยางจาก วิธีสมการ เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE
265/70 R16	0.265	0.39	0.20	450	456	6	1.3%	450	0	0.0%
225/45 R18	0.225	0.33	0.23	680	679	1	0.1%	693	13	1.9%
205/50 R17	0.205	0.32	0.22	792	811	19	2.4%	792	0	0.0%
215/50 R17	0.215	0.32	0.22	770	753	17	2.2%	756	14	1.8%
245/50 R20	0.245	0.38	0.25	450	430	20	4.4%	450	0	0.0%
235/55 R19	0.235	0.37	0.24	480	487	7	1.5%	495	15	3.1%
265/60 R18	0.265	0.39	0.23	450	424	26	5.8%	450	0	0.0%
245/55 R19	0.245	0.38	0.24	468	458	10	2.1%	450	18	3.8%
225/40 R19	0.225	0.33	0.24	700	659	41	5.9%	693	7	1.0%
245/60 R18	0.245	0.38	0.23	480	485	5	1.0%	450	30	6.3%
225/40 R18	0.225	0.32	0.23	693	719	26	3.8%	726	33	4.8%
215/55 R17	0.215	0.33	0.22	704	718	14	2.0%	756	52	7.4%
235/60 R18	0.235	0.37	0.23	500	520	20	4.0%	528	28	5.6%
235/50 R18	0.235	0.35	0.23	546	596	50	9.2%	550	4	0.7%
205/70 R15	0.205	0.33	0.19	832	821	11	1.3%	756	76	9.1%
155/65 R14	0.155	0.28	0.18	1428	1344	84	5.9%	1496	68	4.8%
205/55 R16	0.205	0.32	0.20	864	842	22	2.5%	792	72	8.3%
185/70 R14	0.185	0.31	0.18	934	1041	107	11.5%	924	10	1.1%
245/45 R19	0.245	0.35	0.24	480	544	64	13.3%	480	0	0.0%
225/50 R17	0.225	0.33	0.22	746	698	48	6.4%	693	53	7.1%
265/50 R20	0.265	0.39	0.25	405	395	10	2.5%	450	45	11.1%
225/60 R17	0.225	0.35	0.22	594	632	38	6.4%	550	44	7.4%
165/55 R15	0.165	0.28	0.19	1200	1225	25	2.1%	1344	144	12.0%
255/40 R21	0.255	0.37	0.27	432	446	14	3.2%	480	48	11.1%
175/65 R15	0.175	0.30	0.19	1140	1079	61	5.4%	1035	105	9.2%

## ความแม่นยำของสมการ ตามขนาดของยาง การบรรจุยางแบบตั้ง (ต่อ)

คำอธิบาย ขนาดยาง	D	R	r	จำนวน ยางจาก วิธีการ ปัจจุบัน	วิธีสมการถดถอย			วิธีสมการเรขาคณิต		
					จำนวน ยางจาก วิธี สมการ ถดถอย	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE	จำนวน ยางจาก วิธีสมการ เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE
185/65 R15	0.185	0.31	0.19	1036	997	39	3.8%	924	112	10.8%
225/55 R18	0.225	0.35	0.23	610	600	10	1.6%	528	82	13.4%
245/45 R18	0.245	0.34	0.23	590	592	2	0.3%	500	90	15.3%
195/70 R15	0.195	0.33	0.19	794	893	99	12.5%	819	25	3.1%
215/60 R17	0.215	0.34	0.22	696	683	13	1.9%	600	96	13.8%
225/65 R17	0.225	0.36	0.22	612	598	14	2.3%	528	84	13.7%
215/70 R16	0.215	0.35	0.20	676	691	15	2.2%	576	100	14.8%
255/35 R19	0.255	0.33	0.24	561	595	34	6.1%	630	69	12.3%
195/60 R16	0.195	0.32	0.20	936	879	57	6.1%	819	117	12.5%
265/65 R17	0.265	0.39	0.22	495	440	55	11.1%	450	45	9.1%
235/45 R17	0.235	0.32	0.22	770	677	93	12.1%	693	77	10.0%
265/75 R16	0.265	0.40	0.20	440	441	1	0.2%	340	100	22.7%
195/65 R15	0.195	0.32	0.19	1008	920	88	8.7%	858	150	14.9%
215/75 R16	0.215	0.36	0.20	702	662	40	5.7%	576	126	17.9%
195/80 R15	0.195	0.35	0.19	784	840	56	7.1%	650	134	17.1%
195 R15	0.195	0.39	0.19	765	734	31	4.1%	585	180	23.5%
235/85 R16	0.235	0.40	0.20	450	511	61	13.6%	374	76	16.9%
175/50 R15	0.175	0.28	0.19	1060	1166	106	10.0%	1320	260	24.5%



## ความแม่นยำของสมการ ตามขนาดของยาง การบรรจุยางแบบไขว้

คำอธิบาย ขนาดยาง	D	R	r	จำนวน ยางจาก วิธีการ ปัจจุบัน	วิธีสมการถดถอย			วิธีสมการเรขาคณิต		
					จำนวน ยางจาก วิธี สมการ ถดถอย	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE	จำนวน ยางจาก วิธีสมการ เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE
185/65 R15	0.185	0.31	0.19	1197	1174	23	1.9%	1197	0	0.0%
185/60 R15	0.185	0.30	0.19	1221	1215	6	0.5%	1197	24	2.0%
285/60 R18	0.285	0.40	0.23	440	445	5	1.1%	450	10	2.3%
275/65 R17	0.275	0.39	0.22	465	464	1	0.2%	450	15	3.2%
205/65 R16	0.205	0.34	0.20	952	915	37	3.9%	952	0	0.0%
215/70 R15	0.215	0.34	0.19	840	810	30	3.6%	833	7	0.8%
195/65 R15	0.195	0.32	0.19	1056	1051	5	0.5%	1008	48	4.5%
205/75 R14	0.205	0.33	0.18	912	894	18	2.0%	882	30	3.3%
205/55 R16	0.205	0.32	0.20	978	1000	22	2.2%	1008	30	3.1%
235/65 R17	0.235	0.37	0.22	640	635	5	0.8%	672	32	5.0%
215/60 R17	0.215	0.34	0.22	850	827	23	2.7%	816	34	4.0%
215/55 R17	0.215	0.33	0.22	828	876	48	5.8%	816	12	1.4%
235/55 R18	0.235	0.36	0.23	652	681	29	4.4%	672	20	3.1%
245/50 R20	0.245	0.38	0.25	540	568	28	5.2%	525	15	2.8%
185/70 R14	0.185	0.31	0.18	1140	1155	15	1.3%	1064	76	6.7%
175/65 R15	0.175	0.30	0.19	1254	1306	52	4.1%	1197	57	4.5%
205/70 R15	0.205	0.33	0.19	891	908	17	1.9%	952	61	6.8%
265/65 R17	0.265	0.39	0.22	540	492	48	8.9%	540	0	0.0%
215/45 R17	0.215	0.31	0.22	978	975	3	0.3%	1064	86	8.8%
265/70 R16	0.265	0.39	0.20	510	493	17	3.3%	540	30	5.9%
225/65 R17	0.225	0.36	0.22	720	701	19	2.6%	672	48	6.7%
245/60 R18	0.245	0.38	0.23	576	576	0	0.0%	630	54	9.4%
225/55 R17	0.225	0.34	0.22	782	788	6	0.8%	714	68	8.7%
275/65 R18	0.275	0.41	0.23	457	445	12	2.6%	420	37	8.1%
165/65 R14	0.165	0.29	0.18	1635	1477	158	9.7%	1680	45	2.8%

## ความแม่นยำของสมการ ตามขนาดของยาง การบรรจุยางแบบไขว้ (ต่อ)

คำอธิบาย ขนาดยาง	D	R	r	จำนวน ยางจาก วิธีการ ปัจจุบัน	วิธีสมการถดถอย			วิธีสมการเรขาคณิต		
					จำนวน ยางจาก วิธี สมการ ถดถอย	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE	จำนวน ยางจาก วิธีสมการ เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ	APE
235/50 R18	0.235	0.35	0.23	680	732	52	7.6%	714	34	5.0%
215/55 R16	0.215	0.32	0.20	900	894	6	0.7%	1008	108	12.0%
165/80 R14	0.165	0.31	0.18	1254	1361	107	8.5%	1197	57	4.5%
205/65 R15	0.205	0.32	0.19	1044	938	106	10.2%	1008	36	3.4%
195/80 R15	0.195	0.35	0.19	935	944	9	1.0%	816	119	12.7%
225/60 R17	0.225	0.35	0.22	784	745	39	5.0%	714	70	8.9%
225/60 R18	0.225	0.36	0.23	736	694	42	5.7%	672	64	8.7%
225/45 R17	0.225	0.32	0.22	912	875	37	4.1%	1008	96	10.5%
245/55 R19	0.245	0.38	0.24	558	572	14	2.5%	630	72	12.9%
265/75 R16	0.265	0.40	0.20	460	497	37	8.0%	420	40	8.7%
215/60 R16	0.215	0.33	0.20	900	857	43	4.8%	1008	108	12.0%
205/60 R16	0.205	0.33	0.20	900	958	58	6.4%	1008	108	12.0%
265/60 R18	0.265	0.39	0.23	525	493	32	6.1%	450	75	14.3%
175/65 R14	0.175	0.29	0.18	1254	1326	72	5.7%	1440	186	14.8%
225/50 R17	0.225	0.33	0.22	810	832	22	2.7%	1008	198	24.4%
195 R14	0.195	0.37	0.18	910	884	26	2.9%	672	238	26.2%
235/85 R16	0.235	0.40	0.20	504	569	65	12.9%	420	84	16.7%
195 R15	0.195	0.39	0.19	860	801	59	6.9%	630	230	26.7%
215/75 R14	0.215	0.34	0.18	680	795	115	16.9%	833	153	22.5%

## ภาคผนวก ข

การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 2 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

ตู้ ลำดั บที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จาก ฐานข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้ จากวิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	จีน	LT265/65 R17	0.27	0.39	0.22	283	450	62.9%	450	63%	0.0%
1	จีน	LT265/70R17	0.27	0.40	0.22	150	440	34.1%	340	44%	-10.0%
2	ญี่ปุ่น	155/65 R14	0.16	0.28	0.18	712	1,344	53.0%	1496	48%	5.4%
2	ญี่ปุ่น	175/65 R15	0.18	0.30	0.19	491	1,140	43.1%	1035	47%	-4.4%
3	เกาหลี	215/60 R16	0.22	0.33	0.20	163	780	20.9%	756	22%	-0.7%
3	เกาหลี	175/50 R15	0.18	0.28	0.19	797	1,060	75.2%	1320	60%	14.8%
4	เกาหลี	245/45R18	0.25	0.34	0.23	367	480	76.5%	500	73%	3.1%
4	เกาหลี	195/65 R15	0.20	0.32	0.19	197	1,008	19.5%	858	23%	-3.4%
5	ญี่ปุ่น	215/60 R17	0.22	0.34	0.22	38	696	5.5%	600	6%	-0.9%
5	ญี่ปุ่น	215/55 R17	0.22	0.33	0.22	641	704	91.1%	756	85%	6.3%

## การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 3 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

ตู้ ลำดับ ที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จากฐาน ข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้จาก วิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	ญี่ปุ่น	225/50 R18	0.23	0.34	0.23	73	666	11.0%	550	13%	-2.3%
1	ญี่ปุ่น	215/45 R18	0.22	0.33	0.23	106	800	13.3%	756	14%	-0.8%
1	ญี่ปุ่น	195/65 R15	0.20	0.32	0.19	730	1,008	72.4%	858	85%	-12.7%
2	เกาหลี	265/50R 20	0.27	0.39	0.25	157	405	38.8%	450	35%	3.9%
2	เกาหลี	195/80 R 14	0.20	0.33	0.18	28	840	3.3%	819	3%	-0.1%
2	เกาหลี	205/70 R 15	0.21	0.33	0.19	407	755	53.9%	756	54%	0.1%
3	ญี่ปุ่น	215/70 R 16	0.22	0.35	0.20	174	676	25.7%	576	30%	-4.5%
3	ญี่ปุ่น	215/55 R17	0.22	0.33	0.22	70	704	9.9%	756	9%	0.7%
3	ญี่ปุ่น	215/70 R 16	0.22	0.35	0.20	415	676	61.4%	576	72%	-10.7%
4	ญี่ปุ่น	155/65 R14	0.16	0.28	0.18	983	1,344	73.1%	1496	66%	7.4%
4	ญี่ปุ่น	165/55 R14	0.17	0.27	0.18	170	1,200	14.2%	1456	12%	2.5%
4	ญี่ปุ่น	175/60 R16	0.18	0.31	0.20	87	936	9.3%	990	9%	0.5%
5	เกาหลี	215/60 R16	0.22	0.33	0.20	673	780	86.3%	756	89%	-2.7%
5	เกาหลี	225/40R19	0.23	0.33	0.24	52	700	7.4%	693	8%	-0.1%
5	เกาหลี	195/65R15	0.20	0.32	0.19	24	1,008	2.4%	858	3%	-0.4%

## การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 4 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

ตู้ ลำดับ ที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จากฐาน ข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้ จากวิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	เกาหลี	195/60 R15	0.20	0.31	0.19	8	962	0.8%	858	1%	-0.1%
1	เกาหลี	235/50 R18	0.24	0.35	0.23	2	561	0.4%	550	0%	0.0%
1	เกาหลี	235/65 R 16	0.24	0.36	0.20	17	546	3.1%	528	3%	-0.1%
1	เกาหลี	205/70 R 15	0.21	0.33	0.19	698	755	92.5%	756	92%	0.1%
2	ญี่ปุ่น	235/60 R16	0.24	0.34	0.20	8	689	1.2%	550	1%	-0.3%
2	ญี่ปุ่น	185/70 R14	0.19	0.31	0.18	616	934	66.0%	924	67%	-0.7%
2	ญี่ปุ่น	195/75 R 15	0.20	0.34	0.19	196	794	24.7%	780	25%	-0.4%
2	ญี่ปุ่น	175/60 R16	0.18	0.31	0.20	47	936	5.0%	990	5%	0.3%
3	เกาหลี	175/50 R15	0.18	0.28	0.19	1000	1,060	94.3%	1320	76%	18.6%
3	เกาหลี	175/65 R14	0.18	0.29	0.18	2	1,050	0.2%	1440	0%	0.1%
3	เกาหลี	215/60 R16	0.22	0.33	0.20	5	792	0.6%	756	1%	0.0%
3	เกาหลี	205/60 R15	0.21	0.31	0.19	10	936	1.1%	792	1%	-0.2%
4	ญี่ปุ่น	265/65R17	0.27	0.39	0.22	244	495	49.3%	450	54%	-4.9%
4	ญี่ปุ่น	185/55 R16	0.19	0.30	0.20	423	1,045	40.5%	966	44%	-3.3%
4	ญี่ปุ่น	205/65 R16	0.21	0.34	0.20	44	910	4.8%	720	6%	-1.3%
4	ญี่ปุ่น	195/55 R15	0.20	0.30	0.19	19	1,014	1.9%	897	2%	-0.2%
5	เกาหลี	205/65 R15	0.21	0.32	0.19	165	910	18.1%	756	22%	-3.7%
5	เกาหลี	205/55 R16	0.21	0.32	0.20	89	700	12.7%	792	11%	1.5%
5	เกาหลี	165/65 R14	0.17	0.29	0.18	99	1,320	7.5%	1344	7%	0.1%
5	เกาหลี	195/65R15	0.20	0.32	0.19	583	1,008	57.8%	858	68%	-10.1%

## การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 5 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

ตู้ ลำดับ ที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จาก ฐานข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้ จากวิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	เกาหลี	205/60 R16	0.21	0.33	0.20	29	816	3.6%	756	4%	-0.3%
1	เกาหลี	205/65 R16	0.21	0.34	0.20	20	702	2.8%	720	3%	0.1%
1	เกาหลี	185/65 R14	0.19	0.30	0.18	22	1,076	2.0%	966	2%	-0.2%
1	เกาหลี	215/60 R16	0.22	0.33	0.20	504	780	64.6%	756	67%	-2.1%
1	เกาหลี	195/70 R 15	0.20	0.33	0.19	183	794	23.0%	819	22%	0.7%
2	ญี่ปุ่น	LT215/70R16	0.22	0.35	0.20	404	612	66.0%	576	70%	-4.1%
2	ญี่ปุ่น	LT255/70R16	0.26	0.38	0.20	50	561	8.9%	450	11%	-2.2%
2	ญี่ปุ่น	LT275/65R17	0.28	0.39	0.22	26	480	5.4%	378	7%	-1.5%
2	ญี่ปุ่น	LT235/85R16	0.24	0.40	0.20	53	450	11.8%	374	14%	-2.4%
2	ญี่ปุ่น	LT245/70R16	0.25	0.37	0.20	27	558	4.8%	450	6%	-1.2%
3	เกาหลี	195/65 R15	0.20	0.32	0.19	159	1,008	15.8%	858	19%	-2.8%
3	เกาหลี	225/60 R16	0.23	0.34	0.20	22	692	3.2%	660	3%	-0.2%
3	เกาหลี	175/50 R15	0.18	0.28	0.19	214	1,060	20.2%	1320	16%	4.0%
3	เกาหลี	235/60 R18	0.24	0.37	0.23	148	500	29.6%	528	28%	1.6%
3	เกาหลี	175/65 R15	0.18	0.30	0.19	287	1,050	27.3%	1035	28%	-0.4%
4	ญี่ปุ่น	LT225/70R16	0.23	0.36	0.20	160	612	26.1%	528	30%	-4.2%
4	ญี่ปุ่น	195/60 R16	0.20	0.32	0.20	189	936	20.2%	819	23%	-2.9%
4	ญี่ปุ่น	185/60 R16	0.19	0.31	0.20	184	936	19.7%	924	20%	-0.3%
4	ญี่ปุ่น	LT215/70R16	0.22	0.35	0.20	142	612	23.2%	576	25%	-1.5%
4	ญี่ปุ่น	LT265/70R16	0.27	0.39	0.20	33	450	7.3%	450	7%	0.0%
5	ญี่ปุ่น	LT215/70R16	0.22	0.35	0.20	404	612	66.0%	576	70%	-4.1%
5	ญี่ปุ่น	LT255/70R16	0.26	0.38	0.20	50	561	8.9%	450	11%	-2.2%
5	ญี่ปุ่น	LT275/65R17	0.28	0.39	0.22	26	480	5.4%	378	7%	-1.5%
5	ญี่ปุ่น	LT235/85R16	0.24	0.40	0.20	53	450	11.8%	374	14%	-2.4%
5	ญี่ปุ่น	LT245/70R16	0.25	0.37	0.20	27	558	4.8%	450	6%	-1.2%

## การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 2 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

ผู้ ลำดับที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จาก ฐานข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้ จากวิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	จีน	205/50 ZR17	0.20	0.32	0.19	596	1,056	56.4%	1008	59%	-2.7%
1	จีน	195/55 R15	0.20	0.35	0.20	367	920	39.9%	816	45%	-5.1%
2	มาเลเซีย	215/60 R16	0.22	0.33	0.20	775	900	86.1%	1008	77%	9.2%
2	มาเลเซีย	175/70 R13	0.18	0.29	0.17	176	1,416	12.4%	1440	12%	0.2%
3	อินโดนีเซีย	185/70 R14	0.19	0.31	0.18	468	1,140	41.1%	1064	44%	-2.9%
3	อินโดนีเซีย	195/75 R 14	0.20	0.32	0.18	504	900	56.0%	1008	50%	6.0%
4	ออสเตรเลีย	215/60 R16	0.22	0.33	0.20	542	900	60.2%	1008	54%	6.5%
4	ออสเตรเลีย	225/65 R17	0.23	0.36	0.22	250	688	36.3%	672	37%	-0.9%
5	มาเลเซีย	205/55 R16	0.21	0.32	0.22	18	918	2.0%	1134	2%	0.4%
5	มาเลเซีย	265/70 R16	0.20	0.30	0.19	1036	1,088	95.2%	1260	82%	13.0%

## การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 3 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

ผู้ ลำดับที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จาก ฐานข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้ จากวิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	มาเลเซีย	LT265/60R18	0.27	0.39	0.22	326	510	63.9%	540	60%	3.6%
1	มาเลเซีย	265/60 R18	0.21	0.31	0.22	265	1,048	25.3%	1197	22%	3.1%
1	มาเลเซีย	215/65 R16	0.19	0.29	0.19	91	1,240	7.3%	1440	6%	1.0%
2	มาเลเซีย	195/55 R15	0.20	0.32	0.19	438	1,056	41.5%	1008	43%	-2.0%
2	มาเลเซีย	245/65 R17	0.21	0.31	0.20	438	1,076	40.7%	1197	37%	4.1%
2	มาเลเซีย	235/60 R16	0.19	0.29	0.19	156	1,240	12.6%	1440	11%	1.7%
3	จีน	245/60R18	0.25	0.38	0.23	216	576	37.5%	630	34%	3.2%
3	จีน	235/60 R16	0.24	0.34	0.20	265	765	34.6%	714	37%	-2.5%
3	จีน	195/55 R16	0.20	0.31	0.20	261	1,045	25.0%	1197	22%	3.2%
4	มาเลเซีย	235/50 R18	0.24	0.35	0.23	233	680	34.3%	714	33%	1.6%
4	มาเลเซีย	215/60 R16	0.22	0.33	0.20	10	900	1.1%	1008	1%	0.1%
4	มาเลเซีย	235/60 R18	0.24	0.37	0.23	381	640	59.5%	672	57%	2.8%
5	มาเลเซีย	215/60 R16	0.23	0.32	0.22	160	810	19.8%	1008	16%	3.9%
5	มาเลเซีย	225/45 ZR17	0.22	0.33	0.22	536	828	64.7%	816	66%	-1.0%
5	มาเลเซีย	185/55 R15	0.26	0.37	0.19	57	576	9.9%	576	10%	0.0%



## การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 4 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

ผู้ ลำดับที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จาก ฐานข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้ จากวิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	มาเลเซีย	185/60 R14	0.23	0.33	0.22	23	806	2.9%	1008	2%	0.6%
1	มาเลเซีย	225/45 ZR17	0.20	0.39	0.19	630	860	73.3%	630	100%	-26.7%
1	มาเลเซีย	215/55 R17	0.21	0.32	0.20	119	966	12.3%	1008	12%	0.5%
1	มาเลเซีย	235/40 ZR18	0.19	0.30	0.19	101	1,221	8.3%	1197	8%	-0.2%
2	ออสเตรเลีย	195/65 R15	0.20	0.32	0.19	172	1,056	16.3%	1008	17%	-0.8%
2	ออสเตรเลีย	175/65 R14	0.18	0.29	0.18	185	1,254	14.8%	1440	13%	1.9%
2	ออสเตรเลีย	205/65 R15	0.21	0.32	0.19	598	1,008	59.3%	1008	59%	0.0%
2	ออสเตรเลีย	235/55 R17	0.24	0.35	0.22	41	696	5.9%	714	6%	0.1%
3	จีน	245/60R18	0.25	0.38	0.23	413	576	71.7%	630	66%	6.1%
3	จีน	205/55 ZR16	0.21	0.32	0.20	111	900	12.3%	1008	11%	1.3%
3	จีน	235/60 R16	0.24	0.34	0.20	50	765	6.5%	714	7%	-0.5%
3	จีน	225/60R18	0.23	0.36	0.23	40	704	5.7%	672	6%	-0.3%
4	มาเลเซีย	235/50 R18	0.24	0.35	0.23	260	680	38.2%	714	36%	1.8%
4	มาเลเซีย	175/65 R14	0.18	0.29	0.18	250	1,254	19.9%	1440	17%	2.6%
4	มาเลเซีย	215/55 ZR17	0.22	0.33	0.22	270	765	35.3%	816	33%	2.2%
4	มาเลเซีย	225/65 R17	0.23	0.36	0.22	20	688	2.9%	672	3%	-0.1%
5	อินโดนีเซีย	235/50 R18	0.24	0.35	0.23	458	680	67.4%	714	64%	3.2%
5	อินโดนีเซีย	225/55 R16	0.23	0.33	0.20	117	814	14.4%	882	13%	1.1%
5	อินโดนีเซีย	195/80 R 14	0.20	0.33	0.18	127	912	13.9%	952	13%	0.6%
5	อินโดนีเซีย	205/50 ZR16	0.21	0.31	0.20	16	1,076	1.5%	1197	1%	0.2%

## การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุ 5 ขนาดสำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

ผู้ ลำดับที่	ประเทศ	คำอธิบายยาง	D	R	r	จำนวน ยาง	จำนวน เต็มตู้ จาก ฐานข้อมูล ปัจจุบัน	% จาก วิธีการ ปัจจุบัน	จำนวน เต็มตู้ จากวิธี เรขาคณิต	% จาก วิธี เรขาคณิต	ผลต่าง ระหว่าง วิธีการ
1	มาเลเซีย	265/65 R17	0.27	0.39	0.22	162	510	31.8%	540	30%	1.8%
1	มาเลเซีย	185/60 R14	0.19	0.29	0.18	3	1,336	0.2%	1440	0%	0.0%
1	มาเลเซีย	225/45 ZR17	0.23	0.32	0.22	22	810	2.7%	1008	2%	0.5%
1	มาเลเซีย	205/45 ZR17	0.21	0.31	0.22	117	1,048	11.2%	1197	10%	1.4%
1	มาเลเซีย	215/55 R17	0.22	0.33	0.22	408	828	49.3%	816	50%	-0.7%
2	อินโดนีเซีย	185/65 R15	0.19	0.31	0.19	37	1,197	3.1%	1197	3%	0.0%
2	อินโดนีเซีย	215/60 R17	0.22	0.34	0.22	181	816	22.2%	816	22%	0.0%
2	อินโดนีเซีย	215/55 ZR17	0.22	0.33	0.22	148	765	19.3%	816	18%	1.2%
2	อินโดนีเซีย	205/65 R16	0.21	0.34	0.20	359	952	37.7%	952	38%	0.0%
2	อินโดนีเซีย	215/65 R16	0.22	0.34	0.20	110	765	14.4%	714	15%	-1.0%
3	เวียดนาม	235/65 R 16	0.24	0.36	0.20	39	672	5.8%	672	6%	0.0%
3	เวียดนาม	215/75 R 16	0.22	0.36	0.20	474	765	62.0%	672	71%	-8.6%
3	เวียดนาม	175/50 R15	0.18	0.28	0.19	220	1,330	16.5%	1680	13%	3.4%
3	เวียดนาม	215/55 R16	0.22	0.32	0.20	10	900	1.1%	1008	1%	0.1%
3	เวียดนาม	235/40 ZR18	0.24	0.32	0.23	80	720	11.1%	1008	8%	3.2%
4	จีน	265/70 R15	0.27	0.38	0.19	2	544	0.4%	540	0%	0.0%
4	จีน	235/60 R18	0.24	0.37	0.23	105	615	17.1%	672	16%	1.4%
4	จีน	265/65 R17	0.27	0.39	0.22	336	510	65.9%	540	62%	3.7%
4	จีน	245/70 R16	0.25	0.37	0.20	16	603	2.7%	576	3%	-0.1%
4	จีน	245/45 R19	0.25	0.35	0.24	62	558	11.1%	714	9%	2.4%
5	เวียดนาม	235/60 R17	0.24	0.36	0.22	20	672	3.0%	672	3%	0.0%
5	เวียดนาม	175/65 R14	0.18	0.29	0.18	75	1,254	6.0%	1440	5%	0.8%
5	เวียดนาม	195/70 R14	0.20	0.31	0.18	135	1,254	10.8%	1064	13%	-1.9%
5	เวียดนาม	165/65 R14	0.17	0.29	0.18	1161	1,560	74.4%	1680	69%	5.3%
5	เวียดนาม	165/65 R13	0.17	0.27	0.17	23	1,670	1.4%	1980	1%	0.2%

## การคำนวณต้นทุนคอนเทนเนอร์คละขนาด คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง

ผู้ลำดับที่	จำนวนขนาด ในตู้คอนเทน เนอร์	ประเทศปลายทาง	% อรรถประโยชน์ จากวิธีการปัจจุบัน	% อรรถประโยชน์ จากการวิธีสมการ ถดถอย	% อรรถประโยชน์ จากวิธีเรขาคณิต
1	71	ญี่ปุ่น	92.2%	92.7%	96.4%
2	40	เกาหลี	84.5%	96.5%	100.0%
3	38	ญี่ปุ่น	91.6%	92.9%	94.0%
4	20	เกาหลี	91.2%	94.4%	97.5%
5	52	เกาหลี	91.8%	97.7%	101.9%
6	53	ญี่ปุ่น	92.1%	93.9%	98.0%
7	83	ญี่ปุ่น	91.9%	90.9%	94.1%
8	53	เกาหลี	92.0%	94.1%	100.5%
9	36	เกาหลี	86.8%	100.0%	107.1%
10	29	เกาหลี	91.6%	88.8%	87.3%
11	3	เกาหลี	91.7%	99.2%	111.8%
12	38	ญี่ปุ่น	90.9%	98.4%	100.2%
13	66	ญี่ปุ่น	90.7%	92.3%	97.0%
14	25	เกาหลี	87.7%	99.4%	111.5%
15	76	เกาหลี	92.8%	99.0%	107.0%
16	79	เกาหลี	91.1%	92.2%	97.4%
17	77	ญี่ปุ่น	92.1%	97.7%	102.0%
18	40	ญี่ปุ่น	90.8%	96.9%	94.4%
19	20	เกาหลี	75.1%	77.3%	83.2%
20	11	เกาหลี	92.6%	91.1%	94.4%
21	19	ญี่ปุ่น	90.9%	102.3%	109.1%
22	7	ญี่ปุ่น	92.2%	96.6%	99.4%
23	65	ญี่ปุ่น	81.2%	85.7%	88.5%
24	32	เกาหลี	95.4%	98.8%	100.8%
25	35	เกาหลี	93.0%	97.1%	102.8%

การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด คลังสินค้าเข้าเพื่อส่งออก สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง (ต่อ)

ตู้ลำดับที่	จำนวนขนาด ในตู้คอนเทน เนอร์	ประเทศปลายทาง	% อรรถประโยชน์ จากวิธีการปัจจุบัน	% อรรถประโยชน์ จากการวิธีสมการ ถดถอย	% อรรถประโยชน์ จากวิธีเรขาคณิต
26	52	ญี่ปุ่น	87.4%	88.6%	92.8%
27	54	ญี่ปุ่น	91.2%	96.0%	101.2%
28	39	เกาหลี	91.2%	96.3%	103.5%
29	13	ญี่ปุ่น	93.5%	104.4%	105.0%
30	54	ญี่ปุ่น	91.4%	91.1%	94.2%
31	14	ญี่ปุ่น	82.7%	97.4%	110.2%
32	24	เกาหลี	92.6%	93.5%	93.8%
33	12	ญี่ปุ่น	91.3%	100.1%	108.3%
34	37	ญี่ปุ่น	77.2%	79.4%	83.6%
35	25	ญี่ปุ่น	92.7%	91.5%	102.3%
36	21	ญี่ปุ่น	91.6%	93.0%	102.1%
37	39	ญี่ปุ่น	92.0%	97.9%	103.4%
38	36	ญี่ปุ่น	93.0%	95.2%	96.3%
39	30	ญี่ปุ่น	90.1%	99.0%	103.8%
40	22	ญี่ปุ่น	91.0%	101.5%	103.7%
41	38	ญี่ปุ่น	89.0%	93.0%	95.8%
42	51	ญี่ปุ่น	94.2%	98.6%	99.4%
43	12	ญี่ปุ่น	91.0%	99.4%	101.0%
44	54	ญี่ปุ่น	92.0%	97.0%	102.5%
45	34	ญี่ปุ่น	91.6%	100.7%	102.7%
46	56	ญี่ปุ่น	92.7%	96.3%	98.6%
47	48	ญี่ปุ่น	92.5%	94.2%	96.1%
48	39	ญี่ปุ่น	91.7%	82.9%	87.0%
49	76	ญี่ปุ่น	92.5%	98.1%	100.9%
50	20	ญี่ปุ่น	92.7%	97.2%	96.5%

การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์คละขนาด คลังสินค้าเข้าเพื่อส่งออก สำหรับวิธีการบรรจุแบบตั้ง (ต่อ)

ตู้ลำดับที่	จำนวนขนาด ในตู้คอนเทน เนอร์	ประเทศปลายทาง	% อรรถประโยชน์ จากวิธีการปัจจุบัน	% อรรถประโยชน์ จากการวิธีสมการ ถดถอย	% อรรถประโยชน์ จากวิธีเรขาคณิต
51	34	ญี่ปุ่น	96.8%	92.3%	97.4%
52	66	ญี่ปุ่น	92.6%	90.8%	98.0%
53	19	ญี่ปุ่น	91.8%	97.2%	97.9%
54	21	ญี่ปุ่น	92.7%	101.7%	111.5%
55	25	ญี่ปุ่น	92.1%	97.0%	100.0%
56	30	ญี่ปุ่น	92.4%	99.2%	100.2%
57	53	ญี่ปุ่น	92.4%	98.3%	96.1%
58	39	ญี่ปุ่น	91.3%	90.5%	93.0%
59	45	ญี่ปุ่น	91.8%	93.1%	98.2%
60	30	ญี่ปุ่น	91.7%	93.5%	95.2%
61	36	ญี่ปุ่น	91.1%	92.0%	94.0%
62	7	ญี่ปุ่น	81.7%	84.6%	83.3%
63	28	ญี่ปุ่น	93.5%	104.6%	106.1%
64	46	ญี่ปุ่น	90.9%	94.8%	97.5%
65	52	ญี่ปุ่น	88.8%	91.4%	97.0%

การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์ขนาด คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้

ตู้ลำดับที่	จำนวนขนาด ในตู้คอนเทน เนอร์	ประเทศปลายทาง	% ธรรมดาประโยชน์ จากวิธีการปัจจุบัน	% ธรรมดาประโยชน์ จากการวิธีสมการ ถดถอย	% ธรรมดาประโยชน์ จากวิธีเรขาคณิต
1	93	ออสเตรเลีย	93.7%	88.6%	85.3%
2	79	ออสเตรเลีย	89.4%	81.7%	74.3%
3	80	ออสเตรเลีย	88.4%	87.5%	82.0%
4	99	ออสเตรเลีย	93.6%	89.9%	91.1%
5	63	ออสเตรเลีย	91.3%	77.4%	71.5%
6	87	ออสเตรเลีย	90.3%	88.2%	84.3%
7	102	ออสเตรเลีย	95.4%	87.5%	86.9%
8	39	ออสเตรเลีย	87.2%	81.9%	79.5%
9	72	มาเลเซีย	90.0%	84.9%	80.9%
10	52	มาเลเซีย	90.0%	86.5%	80.4%
11	49	มาเลเซีย	89.7%	83.3%	77.5%
12	27	มาเลเซีย	91.6%	101.2%	105.9%
13	22	ออสเตรเลีย	94.0%	92.8%	92.7%
14	96	ออสเตรเลีย	86.5%	80.4%	78.3%
15	65	ออสเตรเลีย	88.6%	76.6%	70.0%
16	85	ออสเตรเลีย	93.2%	86.7%	86.5%
17	79	ออสเตรเลีย	97.4%	88.2%	84.5%
18	67	ออสเตรเลีย	82.6%	80.9%	78.7%
19	40	ออสเตรเลีย	88.2%	77.7%	70.4%
20	39	ออสเตรเลีย	99.3%	86.5%	85.2%
21	79	ออสเตรเลีย	88.6%	84.7%	82.3%
22	60	ออสเตรเลีย	88.9%	87.5%	87.2%
23	38	ออสเตรเลีย	92.1%	82.0%	74.6%
24	65	ออสเตรเลีย	82.6%	76.6%	73.0%
25	74	ออสเตรเลีย	77.6%	71.4%	66.4%

การคำนวณตู้คอนเทนเนอร์clidean คลังสินค้านำเข้าเพื่อส่งออก สำหรับวิธีการบรรจุแบบไขว้ (ต่อ)

ตู้ลำดับที่	จำนวนขนาด ในตู้คอนเทน เนอร์	ประเทศปลายทาง	% ธรรมดาประโยชน์ จากวิธีการปัจจุบัน	% ธรรมดาประโยชน์ จากการวิธีสมการ ถดถอย	% ธรรมดาประโยชน์ จากวิธีเรขาคณิต
26	73	ออสเตรเลีย	90.9%	83.0%	77.6%
27	40	ออสเตรเลีย	90.5%	86.7%	85.6%
28	101	ออสเตรเลีย	92.2%	83.0%	78.5%
29	61	ออสเตรเลีย	93.0%	83.5%	79.7%
30	69	ออสเตรเลีย	92.5%	88.0%	82.1%
31	74	ออสเตรเลีย	91.1%	88.0%	90.4%
32	42	อินโดนีเซีย	93.2%	86.2%	83.0%
33	77	ออสเตรเลีย	92.6%	80.5%	79.5%
34	63	ออสเตรเลีย	93.6%	87.1%	82.8%
35	96	ออสเตรเลีย	87.8%	82.3%	78.0%
36	97	ออสเตรเลีย	91.4%	85.0%	79.4%
37	76	ออสเตรเลีย	88.3%	84.0%	78.1%

## ภาคผนวก ค

การทดลองในงานวิจัยวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการจำลองการบรรจุยางโดยอ้างอิงจากการบรรจุยางจริง เพื่อศึกษาลักษณะการจัดเรียงทางกายภาพและหารูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการบรรจุยางในตู้คอนเทนเนอร์ ดังรูปที่ ข.1



ก) การจำลองการบรรจุยางแบบตั้ง

ข) การจำลองการบรรจุยางแบบไขว้

รูปที่ ข.1 การจำลองการบรรจุยาง

จากรูปที่ ข.1 ก) จำลองการบรรจุยางแบบตั้งในลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นที่มาของการวิเคราะห์ทางเรขาคณิตตั้งได้กล่าวในบทที่ 6 ลักษณะของการจัดเรียงยางในแนวกว้างดังรูปที่ 6-4 แล้วจึงพบว่า ขนาดของยางที่แตกต่างกันในการบรรจุลงตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดคงที่ มีการทำมุมระหว่างแถวกัน จึงทำให้เกิดรูปแบบการวางยางที่แตกต่างกัน และรูปที่ ข.1 ข) การจำลองการบรรจุยางแบบไขว้ สร้างจากแนวคิดที่ต้องการหามุมระหว่างชั้นแนวตั้งที่ทำมุมกัน ผลการทดลองพบว่ามุมที่ได้จากการจำลองมีค่า 50 องศา แต่เมื่อนำมาคำนวณกลับพบว่าไม่แม่นยำ เนื่องจากมุมระหว่างชั้นขึ้นอยู่กับขนาดของยางด้วย จึงทำให้เกิดสมการที่ 6-7 ที่เป็นการคำนวณมุมจากความสัมพันธ์ของขนาดของยาง



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วิภาดา ฮันสราช
วัน เดือน ปี เกิด	27 กรกฎาคม 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	236/23 ซอย สรณคมณ์ 14 ถนน สรงประภา แขวง สีกัน เขต ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร 10210



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY