ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องหลายมิติเข้าตู้คอนเทนเนอร์

นางสาวปิยธิดา สุวรรณสันติสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ALGORITHM FOR LOADING MULTI-DIMENSIONAL BOXES IN CONTAINERS

Miss Piyathida Suwansantisuk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Logistics Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ขั้นตอนวิธีการทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องหลายมิติเข้าตู้คอนเทนเนอร์
โดย	นางสาวปิยธิดา สุวรรณสันติสุข
สาขาวิชา	การจัดการด้านโลจิสติกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณกร อินทร์พยุง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิยธิดา สุวรรณสันติสุข : ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องหลายมิติ .เข้าตู้คอนเทนเนอร์ (ALGORITHM FOR LOADING MULTI-DIMENSIONAL BOXES IN CONTAINERS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์,63 หน้า.

การบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ เป็นงานประจำที่เกิดขึ้นและก่อให้เกิดต้นทุนที่สำคัญในอุตสาหรรมการขนส่ง ปัญหานี้ ถือเป็นปัญหาที่ยาก ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มปัญหา NP-hard ซึ่งยากแก่การหาคำตอบที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามในปัจจุบันพบว่าการจัดกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ของบริษัทขนส่งโดยส่วนใหญ่ จะเป็นการทำด้วยมือมิได้มีการนำเครื่องมือใด ๆ เข้ามาช่วย อนึ่งการวางแผนการจัดกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธีนี้พบว่า มีการใช้ระยะเวลาที่นาน ในบางครั้งก่อให้เกิดปัญหาในการจัด ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งที่สูงขึ้นอีกด้วย งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและพัฒนารูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ โดยให้มีราคาต่ำและสามารถแสดงผลได้ในระยะเวลาที่สั้นหลังจากที่ใส่ข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณเข้าไปแล้ว วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้แก่ (1) พัฒนาวิธีการทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์โดยให้มีราคาต่ำ(2)แปลงรูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าให้เป็น Software เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ และ (3) เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะสินค้าที่บรรจุในกล่องสี่เหลี่ยมเท่านั้น วิธีการจัดเรียงสินค้าจะศึกษาเฉพาะการจัดเรียงสินค้าในแนวระนาบ และข้อมูลเกี่ยวกับกล่องสินค้า ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ และอื่นๆต้องมีความถูกต้อง ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นได้ให้ต้นทุนในการขนส่งที่ต่ำกว่าการจัดโดยอาศัยมือ ตลอดจนยังพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลยังน้อยกว่าวิธีการเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ที่พัฒนาขึ้นมานั้น ยังสามารถประมวลผลได้ในระยะเวลาอันสั้น แม้ว่าจำนวนกล่องสินค้าจะมีมากก็ตาม นับว่ารูปแบบที่พัฒนาขึ้นมานั้น สามารถตอบสนองต่อสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการส่งออกได้อีกด้วย รูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น เป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยลดต้นทุนในการขนส่งแก่ผู้ประกอบการสืบไป

สาขาวิชา การจัดการด้านโลจิสติกส์ ลายมือชื่อนิสิต S. Piyathida.

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

4989135820 : MAJOR LOGISTICS MANAGEMENT

KEYWORDS : Multi-container packing strategy / Cost-efficient heuristic / Algorithm design / Logistics industry

PIYATHIDA SUWANSANTISUK : ALGORITHM FOR LOADING MULTI-DIMENSIONAL BOXES IN CONTAINERS . THESIS ADVISIOR : ASSISTANT PROFESSOR MANOJ LOHATEPANONT,Ph.D.,63 pp.

Container packing is a routine task that contributes significantly to the optional cost of the shipping industry. Container packing is an NP-hard problem and difficult to solve optimally, due to stringent requirements on minimum cost and indivisibility of boxes. At present, container packing is achieved by hand in many shipping companies. However, this manual approach is usually time-consuming, produces errors, and results in a high shipping cost. In this paper, we aim to design and implement a cost-efficient and fast algorithm for container packing. Objectives of this work are to , (1) develop a cost-efficient and fast algorithm for container packing based on an appropriate heuristic, (2) implement the algorithm in software, and (3) compare the developed algorithm with the manual approach. The scope of the packing algorithm includes the following: boxes are assumed to be cubic; only heuristics that pack boxes in parallel to the container's walls will be considered; information such as boxes' and container's dimensions are accurate. The results of this work show that the developed algorithm outperforms the conventional manual approach in terms of cost and processing time. In addition, the algorithm runs efficiently even for a large number of boxes typically faced in oversea shipments. In conclusion, the developed algorithm is promising and can be a viable tool for a shipping company that aims to minimize its operational cost.

Field of Study : Logistics Management ..... Student's Signature S. Piyathida

Academic Year : 2009 ..... Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ ศาสตราจารย์ ดร. กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณกร อินทร์พยุง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบูรพาจารย์และคุณพ่อ คุณแม่ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้การศึกษา ให้มีความรู้บังเกิดปัญญา ซึ่งมีส่วนทำให้บังเกิดความสำเร็จในครั้งนี้

นอกจากนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้รับความช่วยเหลือด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตลอดจนช่วยการค้นคว้าเอกสารงานวิจัยจากห้องสมุดมหาวิทยาลัยต่างประเทศจากนายวัชรพันธ์ สุวรรณสันติสุข น้องชายซึ่งกำลังศึกษาปริญญาเอกอยู่ ณ สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสสาซูเซท (MIT) สหรัฐอเมริกา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ คุณพ่อคุณแม่และบูรพาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ที่มาและปัญหาของงานวิจัย..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 2

ขอบเขตการวิจัย..... 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing)..... 4

การพัฒนาของงานวิจัยที่เกี่ยวเนื่องกับปัญหาการตัดและการบรรจุ..... 11

การตัดและการบรรจุในสามมิติหรือมากกว่า..... 13

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 21

ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธี ฮิวริสติคส์(Heuristics) แบบต่าง ๆ 21

พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์..... 21

พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้ 22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม	22
4 ผลการวิจัย.....	24
ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์.....	24
ผลการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้.....	30
ผลการเปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆโดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม.....	44
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
สรุปผลการวิจัย.....	55
อภิปรายผลการวิจัย.....	57
ข้อเสนอแนะ.....	59
รายการอ้างอิง	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปัญหาการตัดและการบรรจุที่เรียกชื่อแตกต่างกัน ……..	4
2	ผลการเปรียบเทียบการบรรจุกล่องสินค้าโดยพนักงานดัมโก้ กับ โดยโปรแกรม ……	44
3	ปริมาตรเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือ……..	47
4	ปริมาตรเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยโปรแกรม ……	49
5	เปรียบเทียบร้อยละเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือและโปรแกรม.....	51

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปัญหาการตัดท่อ.....	6
2	ปัญหาการตัดกระดาษ.....	6
3	Pallet Loading Problem.....	7
4	Container Loading Problem	7
5(ก)	การตัดกระดาษแบบกิโยติน.....	8
5(ข)	การตัดกระดาษแบบไม่ใช่กิโยติน.....	8
6	กล่องหมุนได้มากที่สุดจำนวน 6 ทิศ	8
7	การจัดประเภท ปัญหาการตัดและการบรรจุของ Dyckhoff.....	11
8	จำนวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตัดและการบรรจุ แยกตามมิติของปัญหา.....	13
9	ประเภทของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์.....	18
10(ก)	ภาพด้านข้างของกล่อง กล่องข้างบนไม่เสถียร	18
10(ข)	ภาพด้านข้างของกล่อง กล่องทุกกล่องเสถียร	19
11	Tabu Search ทำงานเลียนแบบการค้นหาจุดต่ำสุดของกราฟ โดยจะยอมให้คำตอบใหม่เลวกว่าคำตอบครั้งที่แล้วได้ แต่จะเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้ในหน่วยความจำ	25
12	การจัดแบบจัดแล้วจัดเลย จะตัดสินใจว่าเอากล่องหนึ่งๆ ไปวางที่ใด โดยไม่มีการลองผิดลองถูก	25
13	อัลกอริทึมแบบพันธุกรรม เป็นการหาการจัดกล่องสินค้าที่เลียนแบบวิธีการสร้างยีน โดยเก็บเซตการจัดกล่องสินค้าจำนวนหนึ่งไว้ หลังจากนั้นจะทำการสร้างวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบใหม่โดยการผสมพันธุ์และกลายพันธุ์จนพอใจ	25
14	ความสามารถในการหมุนของกล่อง	27
15	จัดเรียงสินค้าให้เต็มในระนาบที่ 1 จนเต็มก่อนจึงเริ่มการบรรจุในระนาบถัดไป.....	27
16	รูปแบบการจุสินค้าในระนาบที่ 2	28

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	แสดงผลรูปแบบการบรรจุสินค้าก่อนที่จะมีการปรับจุดศูนย์ถ่วงภายในตู้	28
18	แสดงผลรูปแบบการบรรจุสินค้าหลังจากมีการปรับจุดศูนย์ถ่วงภายในตู้	29
19	ขอบเขตและรูปแบบกล่องสินค้าที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัย	29
20	รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์ที่ 0	42
21	รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์ที่ 1	43
22	รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์สุดท้ายที่ยังไม่ได้ปรับสมดุล	43
23	รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์สุดท้ายที่ปรับสมดุลแล้ว	44
24	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์	46
25	กราฟแสดงการเปรียบเทียบร้อยละเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือและโปรแกรม	53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ขอบเขตและปัญหางานวิจัย

ธุรกิจในยุคปัจจุบัน มีการแข่งขันกันอย่างรุนแรง ภาคธุรกิจต่างมีความพยายามในการพัฒนาปรับปรุงในหลาย ๆ ด้านเพื่อลดต้นทุนและสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า การพัฒนาปรับปรุงจะทำในหลาย ๆด้าน อาทิการพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์ การปรับเปลี่ยนบรรจุภัณฑ์ การโฆษณาประชาสัมพันธ์ตลอดจนการใช้กลยุทธ์ทางด้านราคา อย่างไรก็ตามหัวใจสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกในยุคปัจจุบัน คือความสามารถในการกระจายสินค้าไปยังส่วนต่างๆ ของโลกอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้าถึงสินค้าได้ในทุกเวลาที่ต้องการ อนึ่งต้นทุนในการขนส่งและกระจายสินค้าถือเป็นต้นทุนสำคัญของผู้ประกอบการ โดยมีสัดส่วนราวร้อยละ 10 – 20 ของต้นทุนของทั้งหมด

ในปัจจุบันรูปแบบการขนส่งสินค้าที่ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ คือการขนส่งโดยบรรจุสินค้าลงในกล่องและทำการขนส่งโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ เนื่องจากมีความสะดวกในการขนส่ง และสามารถเข้าถึงผู้รับได้โดยตรง อนึ่งกิจกรรมหลักที่ภาคธุรกิจไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิตหรือผู้ที่อยู่ในอุตสาหกรรมการขนส่งจะต้องทำ คือการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ให้มีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงการบรรจุกล่องสินค้าที่มีอยู่ทั้งหมดลงในตู้คอนเทนเนอร์ โดยให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำ นอกจากนั้นน้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์ จะต้องไม่เกินขีดจำกัดของตู้ที่สามารถรับน้ำหนักได้ ตลอดจนต้องคำนึงถึงข้อกำหนดในด้านกฎหมาย อันว่าด้วยน้ำหนักบรรทุกของแต่ละประเทศที่ต้องส่งสินค้าไปด้วย

นอกจากน้ำหนักรวมที่บรรจุในตู้คอนเทนเนอร์ไม่เกินขีดกำหนดแล้ว การบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ต้องคำนึงถึงสมดุลของตู้คอนเทนเนอร์หลังการบรรจุด้วย หากตู้ไม่สมดุลจะเสียศูนย์และล้มได้ในขณะยกตู้ลงเรือสินค้า หรือรถบรรทุก ปัญหาความไม่สมดุลนี้ พบว่าเกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้า

อย่างไรก็ตามจากสภาพการณ์ในปัจจุบันพบว่า การบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ยังเป็นการทำด้วยมือ โดยอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของบุคลากรผู้บรรจุสินค้าแทนที่จะเป็นการใช้เครื่องมือช่วยในการออกแบบการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งพบว่าในบางครั้งก่อให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการใช้ตู้คอนเทนเนอร์มากเกินความจำเป็น

หรือมีการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักเกินข้อจำกัดซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น อาทิค่าปรับ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความล่าช้าในการขนส่งสินค้า เนื่องจากต้องมีการรื้อถ่ายสินค้าออกจากตู้คอนเทนเนอร์เพื่อให้น้ำหนักเป็นไปตามข้อกำหนดก่อนที่จะทำการขนส่งสินค้าต่อไป นอกจากนี้ ยังพบว่าในบางครั้งการบรรจุสินค้ายังเป็นไปโดยมิได้คำนึงถึงความสมดุลของตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวสินค้าและอุปกรณ์ที่ใช้ในการยกสินค้าด้วย สิ่งเหล่านี้นอกจากจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นแล้วยังสร้างความไม่พึงพอใจให้แก่ลูกค้าด้วย

อย่างไรก็ดีแม้ว่าการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ จะเป็นงานประจำในอุตสาหกรรมการขนส่ง แต่การศึกษารูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อให้มีต้นทุนต่ำยังไม่มีการศึกษามากนัก ดังนั้นผู้วิจัย จึงสนใจที่จะทำการศึกษารูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อควบคุมราคาต้นทุน อันจะก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการควบคุมต้นทุนการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ ตลอดจนเป็นการสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาวิธีทางคอมพิวเตอร์(Algorithm) สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์ให้มีราคาต่ำ โดยคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

   1.1 ขีดจำกัดน้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์ไม่เกิน

   1.2 ศูนย์ถ่วงของตู้คอนเทนเนอร์ หลังการบรรจุกล่องสินค้ามีความสมดุล

2. พัฒนา Software เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้

3 .เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้วิธีการทางคอมพิวเตอร์(Algorithm) ในการบรรจุกล่องสินค้าที่ใช้งานได้จริง และทำให้ต้นทุนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบและวิธีการในปัจจุบันที่ทำด้วยมือ

2. เป็นการสร้างพื้นฐานสำหรับงานวิจัยระดับสูง โดยเฉพาะกรณีที่ข้อมูลกล่องสินค้าและตู้คอนเทนเนอร์ มีความผิดพลาด อาทิเช่น จำนวนตู้มีไม่พอต่อความต้องการ หรือกล่องสินค้าบวม

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. ใช้วิธีการหากระบวนวิธี (Algorithm) การบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งทำให้มีราคาต้นทุนต่ำโดยใช้วิธีฮิวริสติคส์(Heuristics)

2. รูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ ต้องทำให้น้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์ไม่เกินขีดจำกัด

3. รูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ ต้องทำให้ศูนย์ถ่วงของตู้คอนเทนเนอร์ หลังการบรรจุกล่องสินค้ามีความสมดุล

4. รูปแบบของสินค้าที่ทำการศึกษาคือ สินค้าที่บรรจุในกล่องสี่เหลี่ยมเท่านั้น

5. วิธีการจัดเรียงสินค้าจะศึกษาเฉพาะการจัดเรียงสินค้าในแนวระนาบ

6. ข้อมูลเกี่ยวกับกล่องสินค้า และตู้คอนเทนเนอร์ต้องมีความถูกต้อง

7. สถานที่จัดส่งสินค้าทั้งหมด จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะสินค้าที่ถูกจัดส่งไปยังสถานที่ปลายทางเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยเรื่อง ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องหลายมิติ เข้าตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อควบคุมราคาต้นทุน ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย ดังนี้

1. แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing)
2. การพัฒนาของงานวิจัยที่เกี่ยวเนื่องกับปัญหาการตัดและการบรรจุ
3. การตัดและการบรรจุในสามมิติหรือมากกว่า

2.1 แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการตัดและการบรรจุ (Cutting and Packing)

การตัดและการบรรจุเป็นปัญหาเก่าแก่ และเกิดขึ้นในงานด้านอุตสาหกรรม การบริหาร วิศวกรรม วิทยาการคอมพิวเตอร์ คณิตศาสตร์ และการวิจัยปฏิบัติการ เป็นต้น (Dyckhoff, Scheithauer, and Term, 1997) ปัญหาการตัดและการบรรจุเกี่ยวกับอุตสาหกรรม เช่นการตัดกระจก การตัดกระดาษ การตัดไม้ การตัดเหล็กแผ่น การตัดท่อน้ำ การตัดผ้า รวมไป ถึงการบรรจุสินค้า และอุตสาหกรรม Logistics ปัญหาการตัดและการบรรจุ มีชื่อเรียกแตกต่างกัน ชื่ออื่น ๆ ที่ใช้ในวรรณกรรมเช่น Cutting Stock , Trim Loss , Bin Packing , Strip Packing , Knapsack Problem , Vehicle Loading , Pallet Loading , Container Loading , Change Making , Memory Allocation และ Multiprocessor Scheduling เป็นต้น (Dyckhoff, 1990) รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัญหาการตัดและการบรรจุที่เรียกชื่อแตกต่างกัน

ผู้แต่ง	ปี	ชื่อเรียก	สาขาวิชา
Brown	1971	Packing, depletion	Computer Science
Salkin/de Kluyver	1975	Knapsack	Logistics
Golden	1976	Cutting stock	Industrial Engineering
Hinxman	1980	Trim loss, assortment	Operational Research

ตารางที่ 1 ปัญหาการตัดและการบรรจุที่เรียกชื่อแตกต่างกัน (ต่อ)

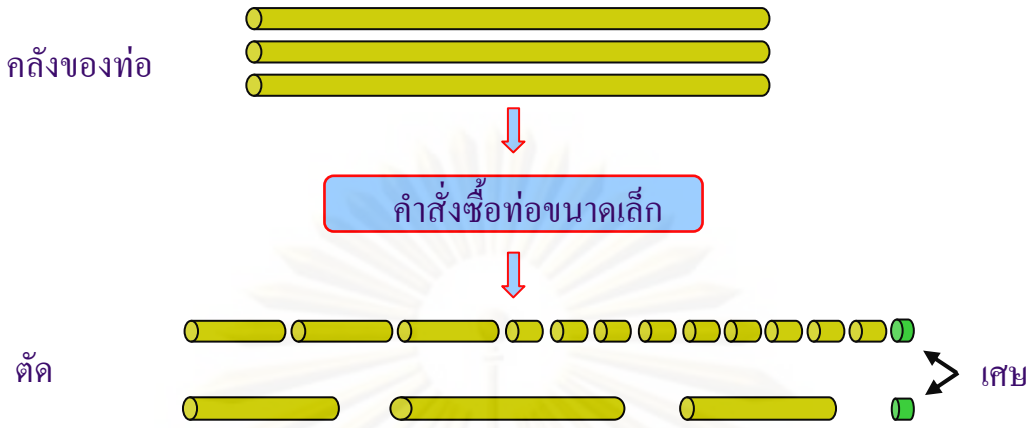
ผู้แต่ง	**ปี**	**ชื่อเรียก**	**สาขาวิชา**
Garey/Johnson	1981	Bin packing	Combinatorial Optimization
Israni/Sanders	1982	Cutting stock, layout	Manufacturing
Rayward-Smith/Shing	1983	Bin packing	Mathematics
Coffman et. al	1984	Bin packing	Computer Science
Dowsland	1985	Packing	Operational Research
Dyckhoff et. al	1985	Trim loss	Management
Israni/Sanders	1985	Parts nesting	Production
Berkey/Wang	1987	Bin packing	Operational Research
Dudzinski/Walukiewicz	1987	Knapsack	Operational Research
Martello/Toth	1987	Knapsack	Mathematics
Rode/Rosenberg	1987	Trim loss	Engineering/Production
Dyckhoff et. al	1988	Cutting stock	Production

ที่มา : Dyckhoff : 1990

ปัญหาการตัดและการบรรจุมีจุดมุ่งหมายคือเรียงวัตถุชิ้นเล็ก ๆ ลงในวัตถุชิ้นใหญ่อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างปัญหาของการตัดและการบรรจุเช่น การตัดท่อ การตัดกระดาษ การบรรจุกล่องสินค้าลง Pallet (Pallet Loading Problem) และการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ (Container Loading Problem) เป็นต้น ตัวอย่างดังกล่าวขยายความได้ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 การตัดท่อ

กำหนดให้มีท่อที่มีความยาวเท่า ๆ กันจำนวนหนึ่ง มีคำสั่งซื้อซึ่งประกอบด้วย ความยาวและจำนวนท่อขนาดเล็กที่ต้องการ หาวิธีตัดท่อตามคำสั่งซื้อโดยให้เหลือเศษท่อน้อยที่สุด รายละเอียดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปัญหาการตัดท่อ

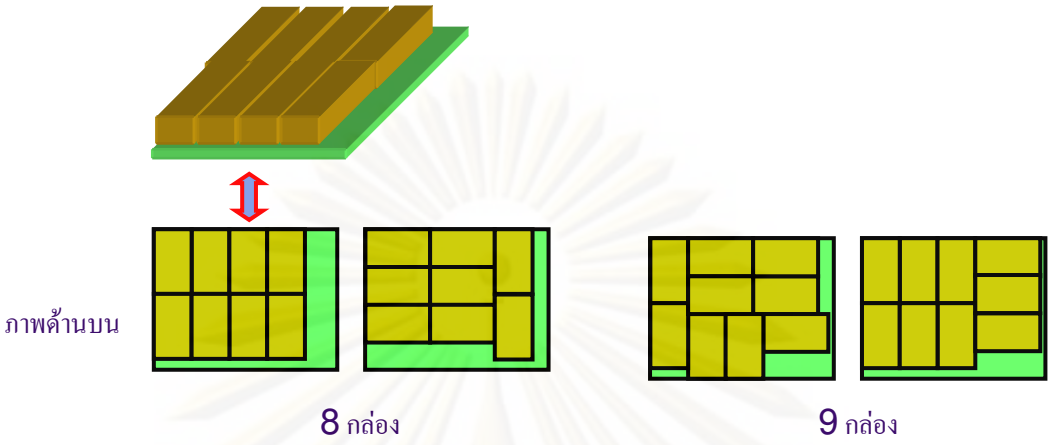
ตัวอย่างที่ 2 การตัดกระดาษ

กำหนดให้มีคลังกระดาษ ซึ่งประกอบด้วยกระดาษที่มีขนาดเท่ากัน มีคำสั่งซื้อกระดาษซึ่งประกอบด้วยขนาดกระดาษแผ่นเล็กๆ และจำนวนที่ต้องการ หาวิธีตัดกระดาษแผ่นใหญ่ ตามคำสั่งซื้อ เพื่อให้เหลือเศษน้อยที่สุด รายละเอียดดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ปัญหาการตัดกระดาษ

ตัวอย่างที่ 3 Pallet Loading Problem

กำหนดให้มี Pallet (พื้นที่สี่เหลี่ยม) และกำหนดให้มีกล่องสินค้าขนาดต่าง ๆ กัน หาวิธีบรรจุกล่องสินค้าลงบน Pallet โดยให้มีจำนวนกล่องสินค้ามากที่สุด และกล่องต้องวางโดยไม่ซ้อนทับกัน รายละเอียดดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Pallet Loading Problem

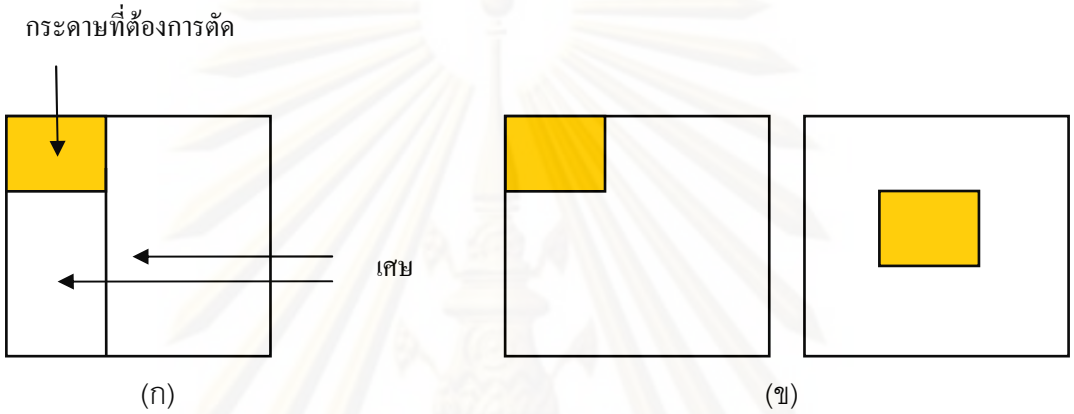
ตัวอย่างที่ 4 Container Loading Problem

กำหนดให้มีตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้ และกำหนดให้มีกล่องสินค้าขนาดต่าง ๆ กัน จำนวนหนึ่ง หาวิธีเลือกกล่องสินค้ามาบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อให้มีปริมาตรกล่องที่บรรจุได้มีค่ามากที่สุด รายละเอียดดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 Container Loading Problem

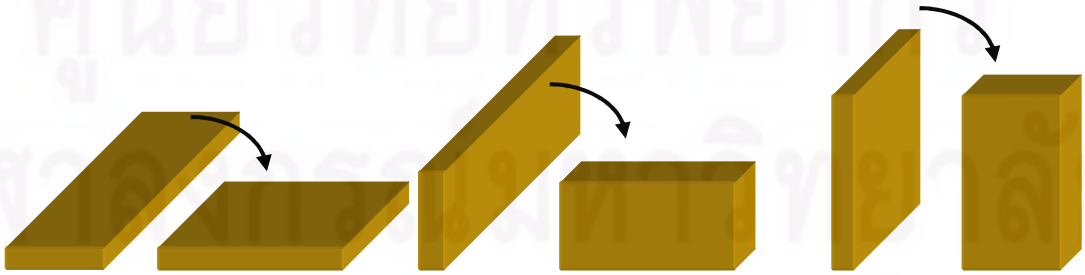
รายละเอียดของวิธีการตัดและการบรรจุที่ทำได้ใน 4 ตัวอย่างข้างต้นนั้น อาจแตกต่างไปตามบริบท ตัวอย่างเช่น การตัดท่อ มักสมมุติว่าการตัดต้องกระทำจากปลายท่อด้านหนึ่งไปสู่ปลายท่ออีกด้านหนึ่ง เนื่องจากเครื่องจักรตัดท่อทำงานในลักษณะดังกล่าว ส่วนการตัดกระดาษ

นั้นมีข้อจำกัดว่า ประการที่หนึ่ง การตัดทำแบบขนานกล่าวคือ ขอบของกระดาษแผ่นเล็กที่ตัดต้องขนานกับขอบของกระดาษแผ่นใหญ่ และประการที่สอง การตัดต้องทำแบบกิโยติน (Guillotine Cut) กล่าวคือตัดจากขอบกระดาษด้านหนึ่งจากการตัดที่แล้ว ไปสู่ขอบด้านตรงข้าม (Dowsland, 1992) ดูรูปที่ 5 ประกอบ



รูปที่ 5 (ก) การตัดกระดาษแบบกิโยติน
(ข) การตัดกระดาษไม่ใช่แบบกิโยติน

ส่วนการบรรจุกล่องลง Pallet และการบรรจุกล่องลงตู้คอนเทนเนอร์ นั้น มักมีข้อสมมุติว่ากล่องสามารถหมุนได้ทุกทิศทาง ซึ่งมีจำนวน 6 ทิศทางดังแสดงในรูปที่ 6 ปัญหา Pallet Loading Problem ให้จัดกล่องสินค้าโดยไม่ให้วางกล่องซ้อนทับกัน เหตุผลเนื่องจาก ประการที่ 1 Pallet ต้องถูกยกด้วยรถยก การซ้อนกล่องมาก ๆ ทำให้ Pallet ไม่เสถียรได้ ประการที่ 2 ถึงแม้การวางซ้อนทับกล่องสามารถทำได้ และการจัดกล่องลง Pallet สามารถทำเป็นชั้นๆ ได้ ปัญหาการจัดจึงลดทอนเป็นปัญหา 2มิติได้ ข้อจำกัดเกี่ยวกับการตัดและการบรรจุเช่นการตัดแบบกิโยติน และการหมุนกล่องทุกทิศ อาจแตกต่างกันได้ แล้วแต่ลักษณะของงาน



รูปที่ 6 กล่องหมุนได้มากที่สุดจำนวน 6 ทิศ

ปัญหาการตัดและการบรรจุอาจมีมิติแตกต่างกัน มิติในที่นี้หมายถึงมิติของวัตถุชิ้นใหญ่ ซึ่งก็คือท่อในคลังท่อ กระดาษในคลังกระดาษ Pallet และตู้คอนเทนเนอร์ในตัวอย่างข้างต้น การตัดท่อ การตัดกระดาษ Pallet Loading Problem และ Container Loading Problem จึงเป็นปัญหาการตัดและการบรรจุใน 1 มิติ 2 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ ปัญหาการตัดและการบรรจุนอกจากจะแยกประเภทได้ตามมิติของวัตถุชิ้นใหญ่แล้ว ยังแยกประเภทได้ตามวัตถุชิ้นเล็กซึ่งก็คือ ท่อขนาดเล็กตามคำสั่งซื้อ กระดาษขนาดเล็กตามคำสั่งซื้อ กล่องสินค้าที่จะบรรจุลง Pallet และ กล่องสินค้าที่จะบรรจุลงตู้คอนเทนเนอร์

เนื่องจากปัญหาการตัดและการบรรจุมีหลายประเภท ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน จึงได้มีความพยายามในการจัดประเภทของปัญหาการตัดและการบรรจุในระบบต่าง ๆ โดยระบบที่ได้รับความนิยมคือวิธีการของ Dyckhoff (Dyckhoff, 1990) ซึ่งการอธิบายในระบบนี้จะใช้สัญลักษณ์ที่ประกอบกันใน 4 หัวข้อเพื่ออธิบายเงื่อนไขและกฎเกณฑ์ปัญหาการตัดและการบรรจุ หัวข้อ 4 หัวข้อได้แก่

1. มิติของวัตถุชิ้นใหญ่ สัญลักษณ์ที่ใช้คือ 1 , 2 , 3 , และ N โดยแทน 1 มิติ 2 มิติ 3 มิติ และ 4 มิติ หรือมากกว่าตามลำดับ ปัญหาใน 1 มิติเช่นการตัดท่อ ปัญหา 2 มิติเช่น การตัดกระดาษ และ Pallet Loading Problem ปัญหา 3 มิติเช่น Container Loading Problem และ ปัญหาใน 4 มิติ เช่นการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยคำนึงถึงขีดจำกัดด้านน้ำหนักของ ตู้คอนเทนเนอร์ มิติในที่นี้ คือ ความกว้าง-ความยาว-ความสูง-และขีดจำกัดน้ำหนัก อีกตัวอย่างของการบรรจุใน 4 มิติคือ การบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยวางสินค้าที่ต้องขนออกจากตู้ก่อนไว้ที่ด้านท้ายตู้คอนเทนเนอร์ มิติ คือ กว้าง-ยาว-สูง-เวลา

2. เงื่อนไขของการจัด สัญลักษณ์ที่ใช้คือ

   2.1 B ใช้วัตถุใหญ่ทั้งหมด (โดยอาจใช้วัตถุเล็กไม่หมด) และ

   2.2 V ใช้วัตถุเล็กทั้งหมด (โดยอาจใช้วัตถุใหญ่ไม่หมด)

ตัวอย่างเช่น การตัดท่อ และการตัดกระดาษ ต้องตัดตามคำสั่งซื้อทั้งหมด นั่นคือต้องใช้วัตถุเล็กทั้งหมด เงื่อนไขของการตัดท่อ และการตัดกระดาษจึงเป็นแบบ V ส่วน Pallet Loading Problem และ Container Loading Problem มีเงื่อนไขการจัดแบบ B เพราะวัตถุชิ้นใหญ่คือ Pallet และตู้คอนเทนเนอร์ มีอยู่ชิ้นเดียวและต้องใช้ทั้งหมดในการจัด ส่วนกล่องสินค้าจะนำมาบรรจุทุกกล่องหรือไม่ก็ได้

3. รูปแบบของวัตถุใหญ่ สัญลักษณ์ที่ใช้คือ

   3.1 มีอยู่ 1 ชิ้น

3.2 I มีอยู่หลายชิ้น และมีลักษณะเหมือนกันทั้งหมด

3.3 D มีอยู่หลายชิ้น และมีลักษณะแตกต่างกัน

ตัวอย่างเช่นปัญหาการตัดท่อ และการตัดกระดาษ มีรูปแบบของวัตถุใหญ่เป็นแบบ I เนื่องจากท่อและกระดาษในคลังมีขนาดเท่ากันทั้งหมด ส่วน Pallet Loading Problem และ Container Loading Problem มีรูปแบบวัตถุใหญ่เป็นแบบ O เนื่องจาก Pallet มีชิ้นเดียว และมีตู้คอนเทนเนอร์ตู้เดียว

4. รูปแบบของวัตถุเล็ก สัญลักษณ์ที่ใช้คือ

4.1 F มีจำนวนน้อยและมีขนาดต่างกัน

4.2 M มีจำนวนมากและมีขนาด หลากหลาย

4.3 R มีจำนวนมากและมีขนาดไม่ หลากหลาย

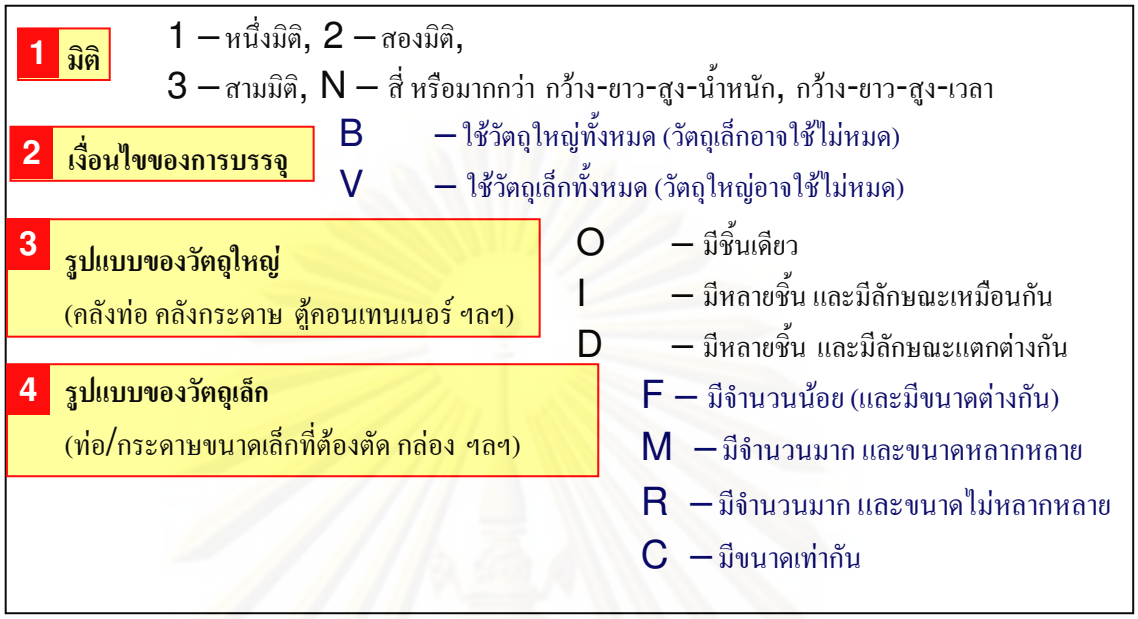
4.4 C มีขนาดเท่ากัน

“มีจำนวนน้อย” “มีจำนวนมาก” “ขนาดหลากหลาย” และ “ขนาดไม่หลากหลาย” ไม่มีนิยามชัดเจนขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้จัดประเภทปัญหา ตัวอย่างเช่น Pallet Loading Problem วัตถุเล็กคือกล่องสินค้า ซึ่งมีขนาดเท่ากันทุกกล่อง รูปแบบของวัตถุเล็กจึงเป็นแบบ C ส่วนปัญหาการตัดท่อ การตัดกระดาษ และ Container Loading Problem วัตถุขนาดเล็กคือคำสั่งซื้อท่อ คำสั่งซื้อกระดาษ และกล่องสินค้า ซึ่งอาจมีขนาดเท่ากัน หรือต่างกันก็ได้ มีจำนวนมากหรือจำนวนน้อยก็ได้จึงไม่มีการระบุสัญลักษณ์สำหรับปัญหาทั้งสามนี้

จากระบบการจัดประเภทปัญหาการตัดและการบรรจุ ของ Dyckhoff จะได้ว่า การตัดท่อ เป็นปัญหาประเภท 1/V/I ปัญหาการตัดกระดาษ เป็นปัญหาประเภท 2/V/I Pallet Loading Problem เป็นปัญหาประเภท 2/B/O/C และ Container Loading Problem เป็นปัญหาประเภท 3/B/O ระบบการจัดประเภทปัญหาการตัดและการบรรจุของ Dyckhoff สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 7

ระบบการจัดประเภทแบบอื่น ๆ นอกเหนือจากของ Dyckhoff ก็มีเช่นกัน เช่นของ Wascher , Haubner , Schumann (Wascher, Haubner, and Schumann, 2007) แต่ยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก เหตุผลอาจเนื่องจากระบบของ Dyckhoff ถูกพัฒนามาก่อนตั้งแต่ ค.ศ. 1990

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7 การจัดประเภท ปัญหาการตัดและการบรรจุของ Dyckhoff

2.2 การพัฒนาของงานวิจัยที่เกี่ยวเนื่องกับปัญหาการตัดและการบรรจุ

ตามมุมมองของ Dyckhoff , Scheithauer และ Terno (Dyckhoff, Scheithauer and Terno, 1997) ผู้คร่ำหวอดและมีชื่อเสียงในวงการวิจัยและศึกษา ที่เกี่ยวเนื่องกับปัญหาการตัดและ การบรรจุ ได้กล่าวถึงวรรณกรรมสำคัญที่แสดงถึงการพัฒนาและประวัติของการตัดและการบรรจุจนถึงปี ค.ศ. 1997 ดังต่อไปนี้ อนึ่งการทำความรู้จักวรรณกรรมดังกล่าว ย่อมจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาและต้องการทำความเข้าใจถึงมุมมอง วิธีการแก้ปัญหาของนักวิจัยตลอดจนจะได้เห็นวิวัฒนาการการพัฒนาที่เกี่ยวเนื่องกับการตัดและการบรรจุ อันเป็นรากฐานสำคัญแก่งานวิจัยในยุคต่อ ๆ มา

1. วรรณกรรมเชิงคณิตศาสตร์ชิ้นแรกที่เกี่ยวเนื่องกับการตัดและการบรรจุ คือ วรรณกรรมของ Kantorovich (Kantorovich, 1939) ซึ่งเป็นภาษารัสเซีย และได้รับการแปลเป็นภาษาอังกฤษในปี ค.ศ. 1960 วรรณกรรมภาษาอังกฤษชิ้นแรกคือ งานของ Brooks , Smith , Stone , และ Tutte (Brooks, Smith, Stone, and Tutte, 1940) ซึ่งศึกษาใน 2 มิติ วรรณกรรมของ Gilmore และ Gomory เป็นวรรณกรรมแรกที่เสนอเทคนิคจัดการกับปัญหาการตัดและการบรรจุที่เหมาะสมกับปัญหาการตัดและการบรรจุขนาดกลาง (เช่นมีคำสั่งซื้อกระดาษจำนวนชิ้นไม่มากนัก) (Gilmore and Gomory , 1961, 1963) ซึ่ง Gilmore และ Gomory ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นเป็นเครื่องมือในการศึกษาปัญหาการตัดใน 1 มิติ และปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมเชิงเส้นซึ่งเดิมใช้วิธี Simplex Method ให้เหมาะกับปัญหาการตัด

2. วรรณกรรมของ Gilmore และ Gomory ในปี 1965 (Gilmore and Gomory, 1965) ศึกษาการตัดในหลายมิติ สำหรับการตัดแบบกิโยติน วิธีการตัดที่เสนอใช้วิธีของ Dynamic Programming ซึ่งเป็นเครื่องมือในทฤษฎี Optimization เครื่องมือหนึ่ง วรรณกรรมของ Gilmore และ Gomory ในปี 1966 (Gilmore and Gomory, 1966) แสดงให้เห็นว่าปัญหา Knapsack เป็นปัญหาย่อยที่ต้องแก้ไขในปัญหาการตัดและการบรรจุหลาย ๆ ปัญหา วรรณกรรมของ Herz ในปี 1972 (Herz, 1972) เป็นงานแรกที่เสนอเทคนิคที่เรียกว่า Raster Points ซึ่งลดทอนเวลาในการคำนวณ วิธีการตัดที่ดีที่สุดใน 2 มิติ ได้อย่างมาก วรรณกรรมของ Christofides และ Whitlock ในปี 1977 (Christofides and Whitlock, 1977) ใช้วิธีค้นหาแบบBranch-And-Bound เพื่อหาวิธีการตัดในสองมิติที่ดีที่สุด วิธีสร้างรูปแบบของการตัดในสองมิติแบบกิโยตินที่เป็นไปได้

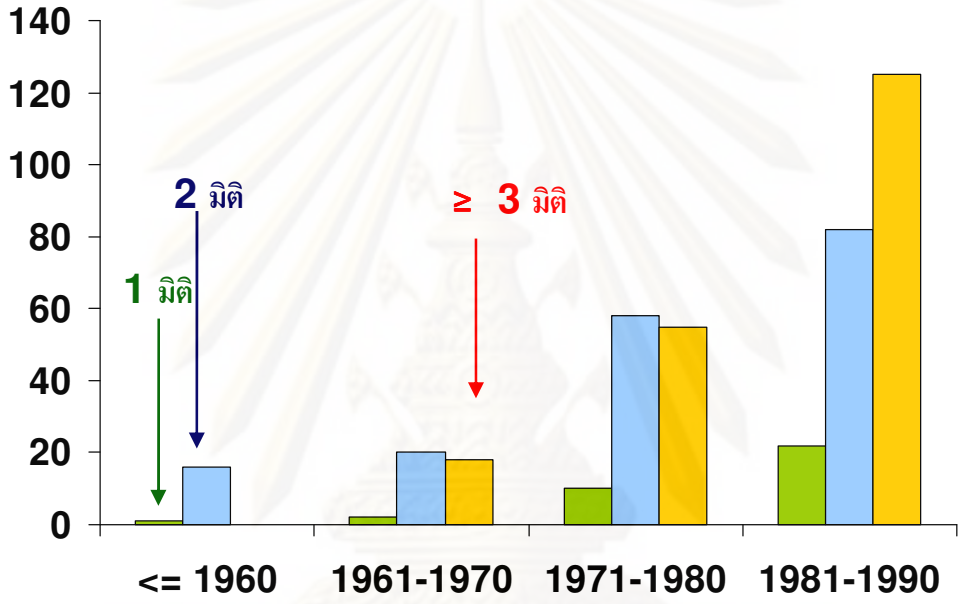
3. หนังสือสามเล่มที่เขียนโดย Stoyan and Gil (Stoyan and Gil, 1976) โดย Stoyan and Sokolovski (Stoyan and Sokolovski, 1980) และโดย Mukhachova (Mukhachova, 1984) ซึ่งเขียนเป็นภาษารัสเซีย ศึกษาการจัดสี่เหลี่ยมลงบนสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่หรือลงบนรูปร่างอื่น ๆ หนังสือนี้ศึกษาการบรรจุทั้งทางทฤษฎีและในด้านการประยุกต์ใช้งานผ่านอัลกอริทึม หนังสือที่เขียนโดย Terno , Lindeman และ Schcithauer ซึ่งเขียนในปี 1987 ซึ่งเป็นภาษาเยอรมันได้รวบรวมปัญหาการตัดและอัลกอริทึมที่ใช้งานได้ในทางปฏิบัติไว้จำนวนมาก หนังสือนี้ยังเสนออัลกอริทึมที่ทำงานได้เร็วเพื่อแก้ปัญหาการตัดสี่เหลี่ยม วิธีการดังกล่าวเรียกว่า Reduced Raster Point Sets ซึ่งใช้ Dynamic Programming เป็นพื้นฐาน

4. ในปี ค.ศ. 1988 Dyckhoff และ Wascher ตั้งกลุ่มของผู้ที่สนใจ ในปัญหาการตัด (Special Interest Group on Cutting and packing – SICUP) กลุ่มนี้พิมพ์เอกสารออกประมาณ 2 ครั้งต่อปี ในปี ค.ศ. 1990 Dyckhoff เสนอวิธีจัดกลุ่มปัญหาการตัดและการบรรจุ (Dyckhoff, 1990) หนังสือที่เขียนโดย Dyckhoff และ Finke ในปี 1992 (Dyckhoff and Finke, 1992) มีตัวอย่างของปัญหาการตัดและการบรรจุจำนวนมาก

5. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการตัดและการบรรจุที่สำคัญได้แก่ การศึกษางานเขียนของ Hinxman (Hinxman, 1980) งานเขียนของ Haessler และ Sweeney (Haessler and Sweeney, 1991) งานเขียนของ K.A. Dowsland และ W.B. Dowsland (K.A. Dowsland and W.B. Dowsland, 1992) และงานเขียนของ Cheng , Feiring และ Sheng (Cheng, Feiring, and Sheng, 1994) ความสนใจในปัญหาการตัดและการบรรจุที่มากขึ้นทำให้วารสารหลายวารสารมีการออกภาคพิเศษสำหรับปัญหาการตัดและการบรรจุ วารสารพิเศษนี้ได้แก่ วารสารที่มี Dyckhoff และ Washer เป็นบรรณาธิการ วารสารที่ Dyckhoff และ Schuster เป็น

บรรณาธิการ วารสารที่มี Lirow เป็นบรรณาธิการ วารสารที่มี Martello เป็นบรรณาธิการ และวารสารที่มี Bischoff Washer เป็นบรรณาธิการ

จำนวนวรรณกรรมที่ศึกษาปัญหาการตัดและการบรรจุมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับการเก็บข้อมูลถึงปี ค.ศ. 1990 ดังแสดงในรูปที่ 8 หากวรรณกรรมหนึ่งศึกษาปัญหาในการตัดและการบรรจุในมิติมากกว่าหนึ่ง มิติ จะถูกนับมากกว่าหนึ่งครั้ง ในรูปจะเห็นว่าการตัดและการบรรจุใน 3 มิติหรือมากกว่าได้รับความสนใจอย่างมาก



รูปที่ 8 จำนวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการตัดและการบรรจุ แยกตามมิติของปัญหา
ที่มา : Sweeney , Paternoster 1992

2.3 การตัดและการบรรจุในสามมิติหรือมากกว่า

การตัดและการบรรจุในสามมิติหรือมากกว่า มักเกี่ยวเนื่องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ สามมิติหมายถึง ความกว้าง ยาว สูง ของตู้คอนเทนเนอร์ สี่มิติหมายถึง กว้าง-ยาว-สูง-น้ำหนัก หรือ กว้าง-ยาว-สูง-ลำดับการบรรจุกล่องสินค้า เป็นต้น

เนื่องจากมิติของปัญหามีมาก การตัดและการบรรจุในสามมิติหรือมากกว่าจึงเป็นปัญหาที่ซับซ้อน อันที่จริงแล้วไม่น่าจะมีวิธีการที่สามารถหาการบรรจุที่ดีที่สุดได้ ในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล เมื่อกล่องสินค้ามีจำนวนมาก เหตุผลเนื่องจากการตัดและการบรรจุในสามมิติหรือมากกว่าเป็นปัญหาประเภท NP-Hard (Scheithauer, 1999) ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีใครค้นพบ

อัลกอริทึมที่ให้คำตอบได้เร็วเป็นพหุนาม (Polynomial) ของขนาดอินพุท ของขนาดอินพุทในที่นี้คือจำนวนกล่องสินค้าและจำนวนตู้คอนเทนเนอร์

ปัญหาการจัดกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์มีหลากหลายปัญหา เพราะจุดประสงค์การบรรจุและเงื่อนไขอื่น ๆ แตกต่างกัน ปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ แยกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 4 ประเภทดังนี้ (Pisinger, 2002)

1. การบรรจุแบบเรียงยาว (Strip Packing) ตู้คอนเทนเนอร์ในการจัดแบบนี้มี 1 ตู้ และมีความกว้าง และความสูงคงที่ แต่มีความยาวอนันต์ จุดประสงค์การบรรจุคือ บรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์ โดยให้กล่องทั้งหมดมีความยาวน้อยที่สุด การจัดเรียงแบบยาวมีประโยชน์สำหรับกรณีที่กล่องสินค้าถูกแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ โดยแต่ละกลุ่มต้องขนลงที่จุดหมายปลายทางแตกต่างกันดู (Bischoff and Ratcliff , 1995) ตัวอย่างวรรณกรรมที่ศึกษา (Bischoff and Marriott , 1990) ซึ่งเปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้า 14 วิธี

2. การบรรจุแบบใส่ถุง (Knapsack Loading) มีตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้ และมีกล่องสินค้าจำนวนมาก กล่องสินค้าแต่ละกล่องให้กำไรหรือผลตอบแทนต่างกัน จุดประสงการบรรจุคือเลือกกล่องมาบรรจุลงตู้คอนเทนเนอร์ โดยให้ผลกำไรสูงสุด กรณีพิเศษของการบรรจุแบบใส่ถุงคือ กรณีที่กำไรมีค่าเท่ากับปริมาตรของกล่อง กรณีนี้จุดประสงค์จะกลายเป็นเลือกบรรจุกล่องลงตู้คอนเทนเนอร์ ให้มีปริมาตรกล่องมากที่สุด ตัวอย่างวรรณกรรมที่ศึกษาการบรรจุแบบใส่ถุงเช่น (Gehring, Menscher, and Meyer, 1990) และ (Scheithauer, 1991) ซึ่งศึกษา Heuristics สำหรับการบรรจุกล่องสินค้า

3. การบรรจุแบบใส่ถัง (Bin Packing) ใช้ตู้คอนเทนเนอร์หลายตู้ ซึ่งทุกตู้มีขนาดเท่ากัน ให้กล่องสินค้ามาจำนวนหนึ่ง จุดประสงค์การบรรจุคือ ให้บรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ให้น้อยที่สุด ตัวอย่างวรรณกรรมที่ศึกษาการบรรจุแบบใส่ถังคือ (Scheithauer, 1991) , (Faroe, Pisinger, and Zachariasen, 2000) และ (Martello, Pisinger, and Vigo, 2000) เป็นต้น วรรณกรรมสุดท้ายให้อัลกอริทึมที่นำไปสู่คำตอบจริงและไม่ใช้การประมาณค่าใด ๆ ทั้งสิ้น

4. การบรรจุแบบหลายตู้คอนเทนเนอร์ (Multi-container Loading) การบรรจุแบบนี้คล้ายกับการบรรจุแบบใส่ถัง ข้อแตกต่างคือ ตู้คอนเทนเนอร์มีขนาดแตกต่างกัน จุดประสงค์การบรรจุคือบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์โดยให้ราคาขนส่งหรือราคาต้นทุนต่ำสุด ตัวอย่าง วรรณกรรม ที่ศึกษาการบรรจุแบบหลายตู้คอนเทนเนอร์คือ (Chen, Lee, and Shen, 1995) ซึ่งสร้าง Integer Programming ซึ่งให้วิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการคำนวณมาก

วรรณกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการตัดและการบรรจุในสามมิติหรือมากกว่า มีอยู่มาก แต่มีวรรณกรรมชิ้นสำคัญไม่มากนักที่ถือว่าเป็นหัวใจของสาขานี้ วรรณกรรมสำคัญถึงปี ค.ศ. 1997 ได้ถูกรวบรวมไว้โดยปรมาจารย์ทางด้านการตัดและการบรรจุ Dyckhoff , Scheithauer และ Terno (Dyckhoff, et al., 1997) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงวรรณกรรมสำคัญโดยคล่าวๆ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่จะศึกษาหัวข้อเฉพาะทางที่เกี่ยวกับการการตัดและการบรรจุ ในสามมิติ รายละเอียดโดยย่อมีดังนี้

1. วรรณกรรมของ Sculli และ Hui (Sculli and Hui, 1988) ศึกษาการวางซ้อนทับตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดเท่ากันโดยใช้วิธีซิมูเลชั่น (Simulation) เป็นเครื่องในการศึกษา ประสิทธิภาพของการจัดวางวัดด้วยปริมาตรที่ว่างที่ถูกนำมาใช้งาน (Valumetrix Utilization) อัตราส่วนของพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ (Wasteful Handling Ratio) อัตราส่วนของพื้นที่ใช้สอย (Storage Ratio) และอัตราส่วนของพื้นที่ที่นำมาจัดสินค้าไม่ได้ (Rejection Ratio)
วรรณกรรมของ (Schneider, 1988) ศึกษากรณีตัวอย่างของการตัดในสามมิติ ให้เหลือเศษน้อยที่สุด

2. วรรณกรรมของ Ivancic , Mathur และ Mohanty (Ivancic, Mathur, and Mohanty , 1989) ศึกษา Heuristics สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าหลายกล่อง ลงตู้คอนเทนเนอร์หลายขนาดเพื่อให้ราคาต้นทุนต่ำสุด Heuristic ที่ใช้มีพื้นฐานอยู่ที่ Integer Programming

3. วรรณกรรมของ Haessler และ Talbot (Haessler and Talbot, 1990) พัฒนาอัลกอริทึมที่บรรจุสินค้าลงรถไฟ และรถบรรทุกโดยสินค้ามีน้ำหนักต่ำกล่าวคือไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงขีดจำกัดด้านน้ำหนักของรถไฟ และรถบรรทุก

4. วรรณกรรมของ Gehring , Menschner และ Meyer (Gehring et al., 1990) ศึกษาการจัดสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้โดยการจัดทำแบบใส่กล่องเป็นชั้น ๆ ตามความลึกของตู้คอนเทนเนอร์

5. วรรณกรรมของ Bischoff (Bischoff, 1991) ศึกษาการบรรจุกล่องลง Pallet โดยพิจารณาความเสถียรของกล่องที่วางซ้อน ๆ กัน

6. วรรณกรรมของ W.B. Dowsland (W.B. Dowsland, 1991) รวบรวมวิธีการบรรจุกล่องสินค้าในสามมิติ

7. วรรณกรรมของ Li และ Cheng (Li and Cheng, 1992) ศึกษาอัลกอริทึมสำหรับการบรรจุสินค้าแบบออนไลน์ (Online Packing Algorithm) โดยตั้งชื่ออัลกอริทึม ที่จัดเป็นชั้นตามแนวลึกว่า Level-Strip-Algorithm อัลกอริทึมนี้ใช้ Heuristic แยกกันในมิติ กว้าง ยาว และสูง

8. วรรณกรรมของ Scheithauer (Scheithauer, 1992) ศึกษาอัลกอริทึมในการบรรจุกล่องสินค้า

9. วรรณกรรมของ George (George, 1992) ศึกษาการบรรจุกล่องสินค้าขนาดเท่ากันลงตู้คอนเทนเนอร์หนึ่งตู้ และหาขอบบนของปริมาตรสูงสุดของกล่องที่บรรจุได้

10. วรรณกรรมของ Tsi , Malstrom และ Kuo (Tsi, Malstrom, and Kuo, 1993) เสนอ 0-1 Integer Programming เพื่อแก้ปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าขนาดต่าง ๆ ลง Pallet

11. วรรณกรรมของ Abdou และ Yang (Abdou and Yang, 1994) เสนอวิธีบรรจุกล่องสินค้าลง Pallet โดยกล่องมีความสูงเท่ากัน แต่มีความกว้าง ความยาวแตกต่างกัน

12. วรรณกรรมของ Mohanty , Marthur และ Ivancic (Mohanty, Marthur, and Ivancic, 1994) เสนอ Heuristic ในการจัดกล่องสินค้าโดยใช้ Integer Programming ซึ่งเรียกใช้ Fractional Knapsack Problem (คือ Relaxation ของปัญหา Knapsack) เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน

13. วรรณกรรมของ Morabito และ Arenales (Morabito and Arenales, 1994) ใช้ทฤษฎีกราฟมาแก้ปัญหาในการบรรจุกล่องสินค้า

14. วรรณกรรมของ Ngoi , Tay และ Chua (Ngoi, Tay, and Chua, 1994) ศึกษาปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าจำนวนมากลงตู้คอนเทนเนอร์โดยใช้เทคนิคการแทนการจัดวางกล่องที่เรียกว่า Unique Spatial Representation

15. วรรณกรรมของ Bischoff และ Ratcliff (Bischoff and Ratcliff, 1995) ศึกษาการวางกล่องสินค้าลง Pallet โดยคำนึงถึงความเสถียรของกล่องที่วางทับซ้อนกัน

16. วรรณกรรมของ Bischoff และ Ratcliff (Bischoff and Ratcliff, 1995) ศึกษาการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ โดยคำนึงถึงความเสถียรของกล่องที่วางทับซ้อนกัน จุดศูนย์ถ่วงของตู้คอนเทนเนอร์ และลำดับของกล่องสินค้าสำหรับกรณีที่กล่องสินค้าต้องขนลงในจุดหมายปลายทางที่แตกต่างกัน

17. วรรณกรรมของ Chen, Lee และ Shen (Chen et al., 1995) สร้าง 0-1 Mixed Integer Programming ที่ให้คำตอบคือการจัดกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ ให้เหลือที่ว่างน้อยที่สุด ข้อเด่นคือ ข้อจำกัดด้านน้ำหนัก ความสมดุลของตู้ การหมุนได้ของกล่อง ที่น้อยกว่า 6 แบบ สามารถนำไปรวมในข้อจำกัดของ 0-1 Mixed Integer Programming ได้ง่าย แต่ข้อเสียคือการหาคำตอบใช้เวลานาน ไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ในทางปฏิบัติ

18. วรรณกรรมของบริษัทดรีมซอฟต์ ออฟติไมเซชั่น จำกัด (ดรีมซอฟต์ ออฟติไมเซชั่น ,2552 : ออนไลน์) ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณการจัดเรียงสินค้าแบบ 3 มิติ โดยจะเป็นการรองรับการจัดสินค้าในพาหนะรูปทรงสี่เหลี่ยม ความสามารถของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้น มีความสามารถในการคำนวณการบรรจุสินค้าได้โดยไม่จำกัดจำนวนกล่องและจำนวนคู้คอนเทนเนอร์ ความสามารถในการบรรจุให้อัตราร้อยละที่ 95-100 % การหมุน การกำหนดน้ำหนักของสินค้า ตลอดจนการกำหนดความสำคัญของสินค้าจะถูกนำมาพิจารณาด้วย การประมวลผลจะให้ข้อมูลออกในรูปแบบรูปสามมิติและรายงานสรุปผลด้วย

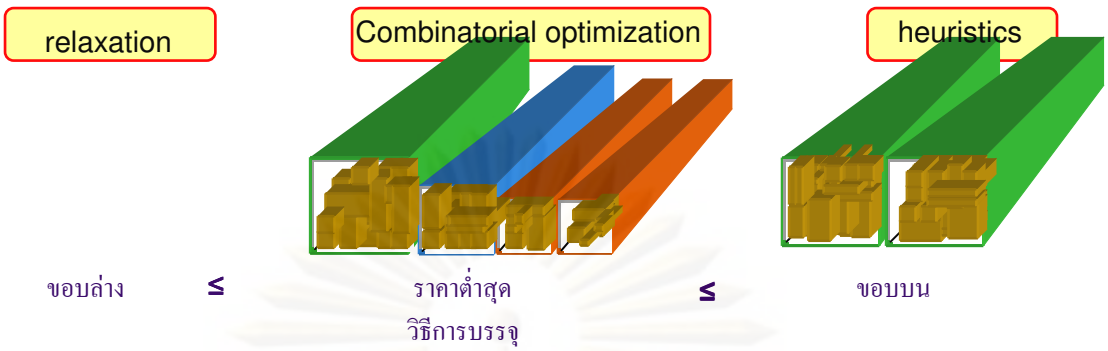
หากศึกษาวิธีการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์แล้วจะพบว่าวรรณกรรมแบ่งตามแนว างการแก้ปัญหาได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ (ดูรูปที่ 9)

1. มุ่งเน้นหาการบรรจุสินค้าที่ดีที่สุด เครื่องมือที่ใช้คือทฤษฎี Optimization วรรณกรรมที่สำคัญ ในกลุ่มนี้คือ วรรณกรรมของ Chen , Lee และ Shen (Chen et al., 1995) เนื่องจากการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ เป็นปัญหาในกลุ่ม NP-Hard วิธีการจัดกล่องสินค้าที่ดีที่สุดจึงใช้ระยะเวลาการคำนวณสูง

2. หาขอบล่างของปริมาตรน้อยที่สุด หรือขอบล่างของราคาต้นทุนการบรรจุกล่องที่ดีที่สุด ตัวอย่างของวรรณกรรมในกลุ่มนี้เช่น วรรณกรรมของ Scheithaue (Scheithauer, 1999) เครื่องมือที่ใช้ศึกษาคือ Relaxation (คือการเปลี่ยนเงื่อนไขของตัวแปร ที่ต้องเป็นจำนวนเต็มให้เป็นจำนวนจริง) และการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)

3. หาขอบบนของปริมาตรที่น้อยที่สุด หรือขอบบนของราคาต้นทุนการบรรจุกล่องที่ดีที่สุด ตัวอย่างของวรรณกรรมในกลุ่มนี้เช่น (Invancic, Mathur, and Mahanty, 1982) (haescler and Talbot, 1990) (Gehring et al., 1990) (Davies and Bischoff, 1999) (Tero, Scheithauer, Sommerweiß and Richme, 2000) (Bortfeldt and Gehing, 2001) (Eley, 2002) และ (Bischoff, 2006) เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยกลุ่มนี้คือ Heuristics งานวิจัยในกลุ่มที่ 3 นี้ได้รับความสนใจมาก เหตุผลเนื่องมาจาก งานวิจัยกลุ่มนี้จะให้วิธีการจัดกล่องสินค้าที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงเนื่องจากให้คำตอบการจัดในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล ถึงแม้การจัดจะไม่ดีที่สุดก็ตาม

งานวิจัยในกลุ่มที่ 3 มีความสำคัญในเชิงปฏิบัติเนื่องจากให้การจัดที่นำไปใช้งานจริงได้ จึงจะนำวรรณกรรมในกลุ่มที่ 3 มาขยายความเพิ่มเติมดังนี้



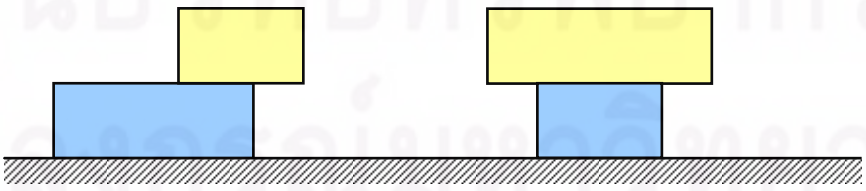
รูปที่ 9 ประเภทของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์

การจัดกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์นั้นมักพิจารณาเพียงตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้ และจะจัดกล่องสินค้าให้ได้ปริมาตรมากที่สุด (ปัญหาการบรรจุใส่ถัง – Bin Packing) ส่วนการพิจารณาตู้คอนเทนเนอร์ หลายตู้ยังไม่มีมากนัก (Eley, 2002) พัฒนาการของการบรรจุกล่องสินค้าที่ผ่านมาอย่างไรก็ตามเริ่มมีการพิจารณาข้อจำกัดอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น

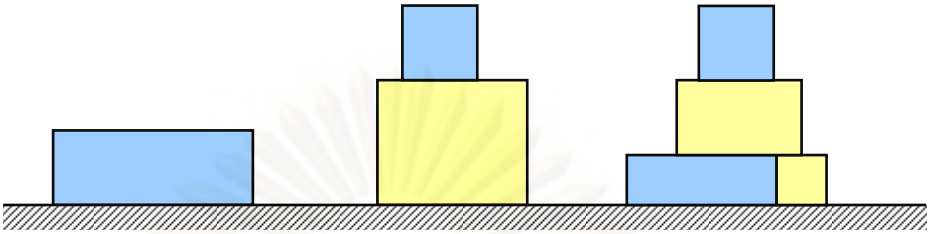
ข้อจำกัดอื่น ๆ ในการบรรจุกล่องสินค้าที่สำคัญได้แก่

1. การหมุนของกล่อง กล่องหมุนได้สูงสุด 6 ทิศ กล่องบางชนิดอาจต้องตั้งขึ้นในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้นเพราะ สินค้าอาจแตกได้ การหมุนจึงอาจมีได้ตั้งแต่ 1-6 ทิศ แล้วแต่กรณีของสินค้า

2. ความเสถียรของกล่อง เมื่อกล่องสินค้ามาซ้อนทับกัน โดยฐานของกล่องบนบางส่วนไม่มีกล่องข้างล่างรองรับกล่องข้างบนอาจหล่นได้ ในวรรณกรรมการบรรจุกล่องสินค้าที่คำนึงถึงความเสถียรมักนิยามว่า (ก) กล่องต้องวางบนพื้นตู้คอนเทนเนอร์หรือวางบนกล่องข้างล่าง (กล่องข้างล่างอาจมีหลายกล่องแต่มีความสูงในระดับเดียวกัน) ดูรูปที่ 10 ประกอบทั้งหมด



(ก) กล่องข้างบนไม่เสถียร



(ข) กล่องทุกกล่องเสถียร

รูปที่ 10 ภาพด้านข้างของกล่อง

3. การวางกล่องทับกัน กล่องบางกล่องอาจรับน้ำหนักมากไม่ได้ จึงไม่สามารถมีกล่อง หนัก ๆ มาซ้อนทับ ตัวอย่างวรรณกรรมเด่นที่พิจารณาข้อจำกัดนี้คือ (Bischoff, 2006)

4. ขีดจำกัดด้านน้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์ต้องไม่เกิน เนื่องจากตู้อาจรับน้ำหนักไม่ไหว หรือเกณฑ์น้ำหนักขนส่งเกินตามที่กฎหมายกำหนด

5. จุดศูนย์ถ่วงของตู้คอนเทนเนอร์ หลังการบรรจุกล่องสินค้าต้องสมดุล โดยห่างจากจุดศูนย์กลางได้ระยะทางหนึ่ง ในแนวแกน X,Y และ Z เพื่อป้องกันการล้มของเครนยกตู้คอนเทนเนอร์ ตัวอย่างวรรณกรรมเช่น (Davies and Bischoff, 1999)

การหาขอบบนของปริมาตรที่น้อยที่สุด หรือขอบบนของราคาต้นทุนการบรรจุกล่องที่ดีที่สุด ทำโดยอาศัยอาศัย **Heuristics** เป็นเครื่องมือสำคัญ หากวิเคราะห์ **Heuristics** ที่ใช้ในวรรณกรรมแล้ว จะพบว่าอาจแบ่งเป็นเป็นวิธีการใหญ่ ๆ ได้ 4 วิธี ดังนี้

1. การจัดแบบจัดแล้วจัดเลย (Single-pass Heuristic) การจัดแบบนี้จะตัดสินใจว่าเอากล่องหนึ่ง ๆ ไปวางที่ใด หลังจากตัดสินใจแล้วจะเลือกการจัดกล่องต่อไป การจัดสินค้าแบบนี้อาศัยประสบการณ์ที่คิดว่าจะทำให้คำตอบดี หรืออาศัย Greedy Algorithm ตัวอย่างการจัดกล่องสินค้าแบบนี้เช่น (รัชนก ตะเพียนทอง, 2549), (Haessler and Talbot, 1990) และ (Gehing ey al., 1990)

2. Tabu Search วิธีการ Tabu Search เป็นการหาคำตอบโดยประมาณ และเป็นวิธีการทั่ว ๆ ไป ในการแก้ไขปัญหาในกลุ่ม Combinatorial Optimization (Glover, 1989) เช่น Travelling Saleman Problem หรือปัญหาการตัดและการบรรจุ การทำงานของ Tabu Search จะทำงานซ้ำ ๆ ในการซ้ำแต่ละครั้ง จะให้คำตอบที่เป็นไปได้แบบใหม่ขึ้น โดยยอมให้คำตอบใหม่เลวกว่าคำตอบเดิมครั้งที่แล้วได้ แต่จะเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้ในหน่วยความจำ การกำเนิดใหม่จากคำตอบปัจจุบันทำโดยการเลือกเซตของคำตอบต่อไปที่เป็นไปได้จากคำตอบปัจจุบันหลังจากนั้น

เลือกคำตอบที่ดีที่สุดในเซตนั้น การใช้ Tabu Search จึงต้องอาศัยการออกแบบว่า จะนิยามเซตของคำตอบที่เป็นไปได้อย่างไร และนิยามคำว่า “ดีที่สุด” อย่างไร ตัวอย่างของวรรรกรรมที่ใช้ Tabu Search ในการช่วยบรรจุกล่องสินค้าคือ (Bortfeldt and Gehring, 1998) ซึ่งไม่ได้เขียนเป็นภาษาอังกฤษ (Eley, 2002)

3. อัลกอริทึมแบบพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นการหาการจัดกล่องสินค้าที่เลียนแบบวิธีการทางธรรมชาติ อัลกอริทึมแบบพันธุกรรมสามารถใช้แก้ปัญหาได้หลากหลาย ไม่ได้จำกัดที่ปัญหาการตัดและการบรรจุเท่านั้น การทำงานทำโดยเก็บเซตของการจัดกล่องสินค้าจำนวนหนึ่งไว้ (การจัดแต่ละแบบเปรียบเทียบได้กับยีนในทางพันธุกรรม) หลังจากนั้นจะทำการผสมพันธุ์ยีน และการกลายพันธุ์ กล่าวคือการผสมพันธุ์ยีนจะเลือกการบรรจุที่เป็นไปได้มา 2 วิธีจากเซตของการบรรจุที่กำลังพิจารณาอยู่ แล้วทำการสร้างการบรรจุแบบที่ 3 จากการบรรจุทั้งสองแบบนี้ ส่วนการกลายพันธุ์ทำโดย เลือกการบรรจุกล่องสินค้ามา 1 แบบ จากเซตของการบรรจุที่กำลังพิจารณาอยู่ แล้วทำการเปลี่ยนแปลงการบรรจุนั้นให้เป็นการบรรจุแบบใหม่ การบรรจุแบบใหม่ที่เกิดขึ้นโดยการผสมพันธุ์ และการกลายพันธุ์ จะเข้าไปอยู่ในเซตของการบรรจุที่กำลังพิจารณาอยู่ และการบรรจุแบบเก่าในเซตอาจถูกลบไป เพื่อไม่ให้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์เต็ม วรรณกรรมที่ใช้อัลกอริทึมแบบพันธุ์กรรมในการจัดกล่องสินค้าเช่น (Bortfeldt and Gehring, 2001)

4. วิธีการแบบอื่น ๆ เช่น (ก) การค้นหาแบบต้นไม้ (Tree Search Algorithm) วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเช่น (Morahito and Arenales, 2000) ซึ่งศึกษาการตัดแบบกิโยตินใน 3 มิติ ใบของต้นไม้ในที่นี้คือกล่องสินค้าและการแตกกิ่งต้นไม้คือการตัดตู้คอนเทนเนอร์เป็นชิ้นที่เล็กลงตามขนาดกล่องที่จะนำมาบรรจุ (ข) วิธีการที่อาศัยโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) หรืออาศัย Dynamic programming (Bischoff, 2006) (ค) หรือใช้ Heuristics หลาย ๆ แบบปนกัน เช่นวรรณกรรม (Bischoff and Marriott, 1990)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องหลายมิติเข้าตู้คอนเทนเนอร์โดยให้มีราคาต่ำ จะใช้วิธี ฮิวริสติคส์(Heuristics) ที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธีฮิวริสติคส์(Heuristics) แบบต่าง ๆ

2. พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์

3. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้ในข้อ 2

4. เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธี ฮิวริสติคส์(Heuristics) แบบต่าง ๆ

ฮิวริสติคส์(Heuristics) สำหรับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ ได้แก่ (1) การจัดแบบจัดแล้วจัดเลย (2) Tabu Search (3) อัลกอริทึมแบบพันธุกรรม (4) วิธีการแบบอื่น ๆ เช่น การค้นหาแบบต้นไม้ วิธีการที่อาศัยโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และวิธีการที่อาศัย Dynamic programming รายละเอียดของฮิวริสติคส์ในแต่ละแบบได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

3.2 พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์

การพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์มีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. สังเคราะห์รูปแบบการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. เลือกวิธี ฮิวริสติคส์(Heuristics) ที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นหลักในการพัฒนารูปแบบ อนึ่งหลังจากที่ได้ทำการศึกษาวิธีการทางฮิวริสติคส์(Heuristics) แล้ว ผู้วิจัยค่อนข้างสนใจวิธีการในกลุ่ม Tabu Search เป็นพิเศษ เนื่องจากจะมีการพิจารณาเซตของคำตอบหลายมากกว่า

หนึ่งครั้ง ก่อนที่จะทำการตัดสินใจเลือกเซตของคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่ม อย่างไรก็ตามผู้เขียนจะทำการศึกษาเพิ่มเติม ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกวิธีทางฮิวริสติคส์(Heuristics) ใดมาใช้ ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่ารูปแบบที่ถูกเลือก จะสอดคล้องกับจำนวนของข้อมูล และสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมต่อไป

3. พัฒนารูปแบบการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ ตามวิธี ฮิวริสติคส์(Heuristics) ที่เลือก

3.3 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้ มีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. นำรูปแบบที่พัฒนาได้จากข้อ 3.2.3 มาใช้ออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ โดยใช้ภาษา Visual Basic อนึ่งภาษาทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ อาจมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

2. ทดสอบโปรแกรมจากข้อมูลสมมุติ เพื่อทดสอบว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบสามารถใช้ได้งานได้จริงภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยเซตของข้อมูลสมมติที่จะนำมาใช้ทดสอบโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ จะเป็นบางส่วนของข้อมูลจริงของสินค้าที่มีการส่งออกบริษัทเมอส์ก โลจิสติกส์(ไทยแลนด์) จำกัด ในช่วง 1-2 ปีย้อนหลังของบริษัทเมอส์ก โลจิสติกส์(ไทยแลนด์) จำกัด การทดสอบโปรแกรมจะเป็นการทดลองจากข้อมูลขนาดเล็กก่อน เพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ สามารถประมวลผลได้ตามที่ต้องการภายใต้ข้อกำหนดที่กำหนดไว้

3. ทดสอบโปรแกรมกับข้อมูลจริง

3.4 เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

การเปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม มีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. เลือกอุตสาหกรรมที่จะใช้ข้อมูลทดลอง โดยจะทำการทดลองกับสินค้าที่ส่งออกกับบริษัท แดมโก้ โลจิสติกส์ (ไทยแลนด์) จำกัด เป็นเวลา 24 สัปดาห์ (6 เดือน)

2. นำโปรแกรมที่พัฒนาได้จากข้อ 3.3 ไปทดลองกับข้อมูลของบริษัท แดมโก้โลจิสติกส์ (ไทยแลนด์) จำกัด เป็นเวลา 24 สัปดาห์ (6 เดือน)

3. เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธีปกติที่ทำด้วยมือ กับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ โดยควบคุมราคาต้นทุน ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการศึกษาเป็น 3 ตอนคือ

1. ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์

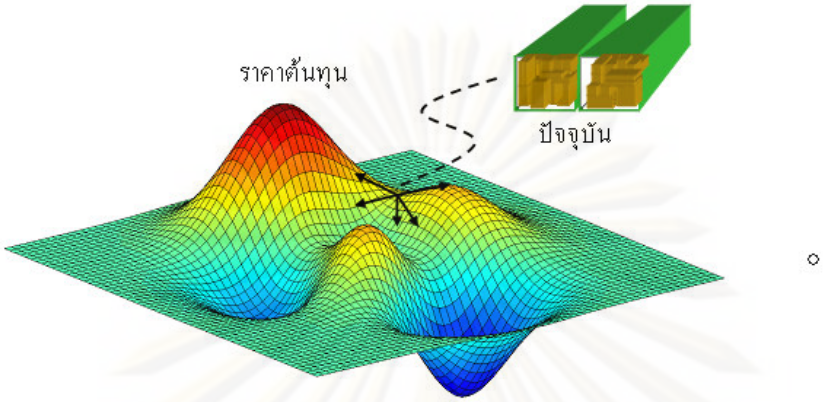
2. ผลพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้ในข้อ 1

3. ผลการเปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

1. ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์

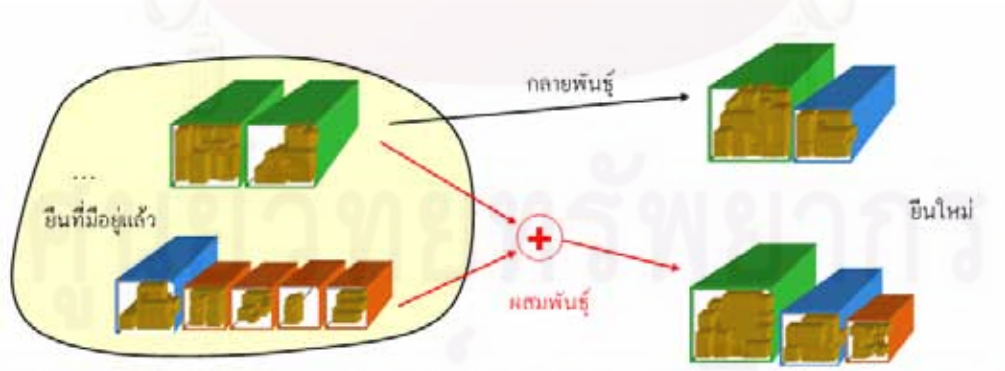
1.1 ผลการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธี ฮิวริสติคส์ (Heuristics) แบบต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

ฮิวริสติคส์(Heuristics) สำหรับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ ได้แก่ (1) Tabu Search [รูปที่ 11] (2) การจัดแบบจัดแล้วจัดเลย [รูปที่ 12] (3) อัลกอริทึมแบบพันธุกรรม [รูปที่ 13] (4) วิธีการแบบอื่น ๆ เช่น การค้นหาแบบต้นไม้ วิธีการที่อาศัยโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และวิธีการที่อาศัย Dynamic programming อย่างไรก็ตามจากการศึกษาวิธีการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ในสภาพการทำงานจริงพบว่า วิธีการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์จะเป็นไปในลักษณะจัดแล้วจัดเลย เนื่องจากหากมีการการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์แล้ว และต้องมีการรื้อออกจะทำให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้น และทำให้เกิดความล่าช้าซึ่งอาจกระทบต่อกระบวนการในการขนส่งในขั้นต่อ ๆ ไป ดังนั้นหลักการดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้ในการพัฒนารูปแบบในการจัดการสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ของงานวิจัยในชิ้นนี้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเลียนแบบ สภาพการทำงานจริงที่เกิดขึ้น



รูปที่ 11 Tabu Search ทำงานเลียนแบบการค้นหาจุดต่ำสุดของกราฟ โดยจะยอมให้คำตอบบใหม่เลวกว่าคำตอบครั้งที่แล้วได้ แต่จะเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้ในหน่วยความจำ

รูปที่ 12 การจัดแบบจัดแล้วจัดเลย จะตัดสินใจว่าเอากล่องหนึ่งๆ ไปวางที่ใด โดยไม่มีการลองผิดลองถูก



รูปที่ 13 อัลกอริทึมแบบพันธุกรรม เป็นการหาการจัดกล่องสินค้าที่เลียนแบบวิธีการสร้างยีนส์ โดยเก็บเซตการจัดกล่องสินค้าจำนวนหนึ่งไว้ หลังจากนั้นจะทำการสร้างวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบใหม่โดยการผสมพันธ์และกลายพันธ์จนพอใจ

1.2 ผลพัฒนารูปแบบการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์

หลักการและวิธีการปฏิบัติในสภาพการทำงานจริงได้ ถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนารูปเป็นแบบการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ในงานวิจัยนี้

1. ชนิดของตู้คอนเทนเนอร์อ้างอิงจากชนิดของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าที่เป็นกล่องที่มีใช้อยู่จริงในธุรกิจการส่งออก โดยตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีด้วยกันทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ตู้ 20 Dry , 40 Dry, 40 High, 45 High

2. ตู้ที่จะถูกเลือกเพื่อนำมาบรรจุสินค้าก่อน จะพิจารณาจากตู้ที่มีต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยเป็นคิวบิกเมตรที่ต่ำที่สุดก่อน หลัง จากนั้น จึงพิจารณาตู้ที่มีต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยเป็นคิวบิกเมตรที่สูงขึ้นเป็นลำดับถัดไป

3. จำนวนตู้ที่สามารถใช้ได้ จะต้องไม่เกินจำนวนของตู้ในแต่ละชนิดที่มีอยู่ในขณะนั้น

4. น้ำหนักสูงสุดที่แต่ละตู้จะรับได้ จะขึ้นอยู่กับความ สามารถ ในการรับน้ำหนักของตู้ในแต่ละชนิด หรือข้อจำกัดอันว่าด้วยน้ำหนักบรรทุกสินค้าในแต่ละประเทศที่ตู้สินค้าจะถูกส่งออก หรือ นำเข้า โดยยึดจากน้ำหนักที่น้อยที่สุดเป็นหลัก

5. จุดศูนย์ถ่วงในตู้คอนเทนเนอร์ในด้านกว้าง ยาว และสูง ให้เป็นจุดกึ่งกลางในแต่ละด้านนั้น ๆ โดยให้แทนด้วยตำแหน่งเหล่านั้นด้วยเลข 0 และจุดศูนย์ถ่วงในแต่ละด้านจะต้องไม่เกิน 1

6. กล่องสินค้าที่บรรจุจะต้องถูกวางในแนวระนาบเท่านั้น โดยฐานของกล่องที่ถูกวางซ้อนด้านบนจะต้องไม่เกินขนาดของกล่องสินค้าที่วางอยู่ด้านล่าง

7. การบรรจุสินค้าจะพิจารณาการหมุนของกล่องด้วย โดยกล่องสามารถหมุนได้สูงสุด 6 ด้านด้วยกัน [รูปที่ 14]

8. การจัดเรียงสินค้าจะทำโดยจัดกล่องสินค้าเข้าไปที่มุมด้านในสุดของตู้ก่อน หลังจากนั้นจะทำการจัดเรียงกล่องอื่น ๆ ในแนวระนาบเดียวกันจนเต็มตู้จากขวาไปซ้าย หลังจากจัดเรียงในชั้นแรกเต็มแล้วจึงเริ่มการจัดเรียงในชั้นที่ 2 โดยการเริ่มที่มุมของตู้ และทำการจัดเรียงจากขวาไปซ้ายให้เต็มในชั้นที่ 2 จึงเริ่มการจัดเรียงในชั้นที่ 3 และชั้นอื่นๆ จนถึงเพดานของตู้ จึงเป็นอันเสร็จการจัดเรียงในระนาบที่ 1 เมื่อมองจากประตูของตู้ หลังจากนั้นจึงเริ่มการจัดเรียงในระนาบถัดไป จนเต็มตู้ [รูปที่ 15, 16]

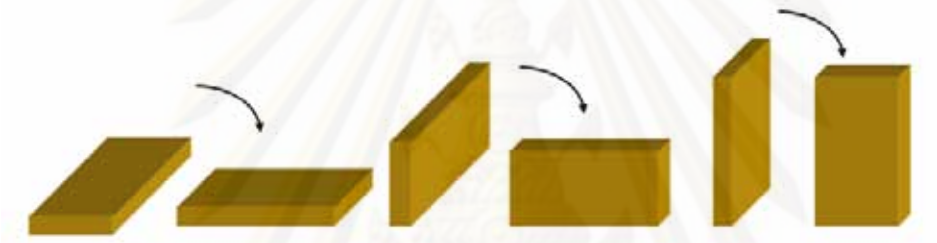
9. กล่องสินค้าทั้งหมดที่มีอยู่จะต้องถูกบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมด งานวิจัยนี้ไม่อนุญาตให้กล่องสินค้าเหลืออยู่

10. เมื่อตู้เต็มแล้ว โปรแกรมจะสลับระนาบ เพื่อทำให้จุดศูนย์ถ่วงของตู้อยู่กึ่งกลาง [รูปที่ 17, 18]

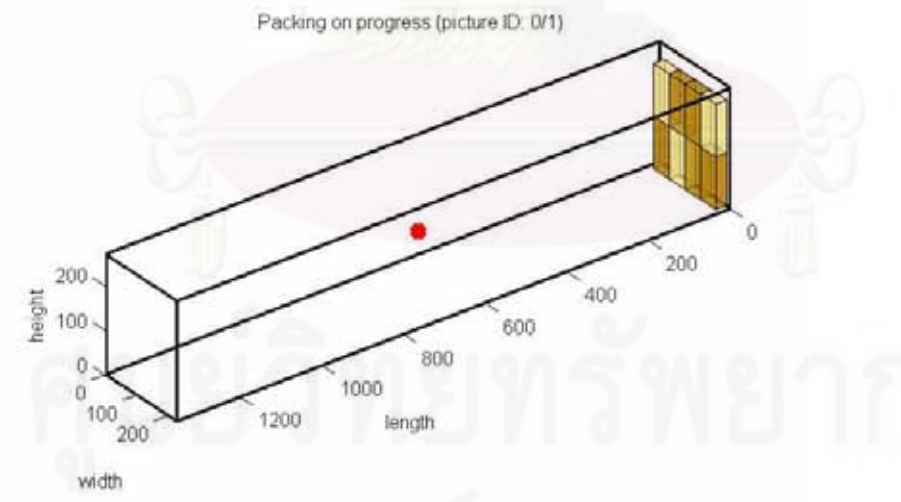
11. การพิจารณาขอบล่างหรือการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์โดยให้มีต้นทุนต่ำสุด จะพิจารณาโดย สมมุติให้กล่องสินค้าสามารถบ่น และย่อยเป็นผงได้ หลังจากนั้นจึงทำการบรรจุตามกระบวนการวิธีที่กล่าวมาข้างต้น

12. การพิจารณาคำตอบจะใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบจัดแล้วจัดเลย โดยจะอนุญาตให้ตู้ที่บรรจุตู้สุดท้ายสามารถใช้พื้นที่ในตู้ได้ไม่เต็มจำนวนที่สามารถบรรจุได้

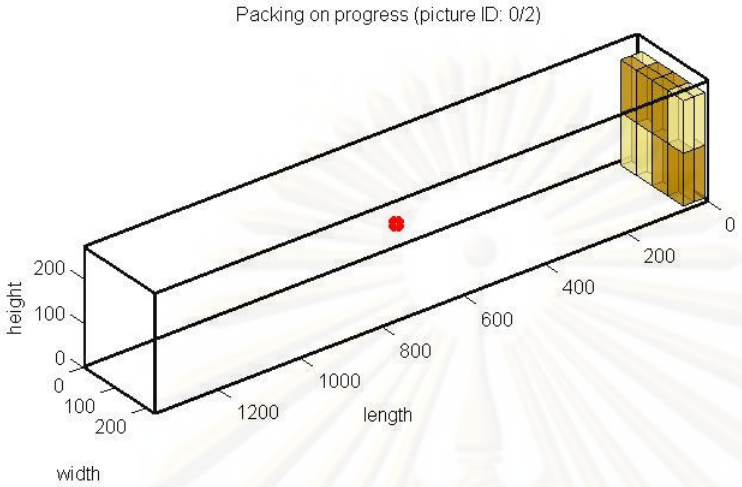
13. ข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณา เช่นขนาดและจำนวนของกล่องสินค้าที่ใช้ในการคำนวณจะต้องมีความแม่นยำ ไม่คลาดเคลื่อน



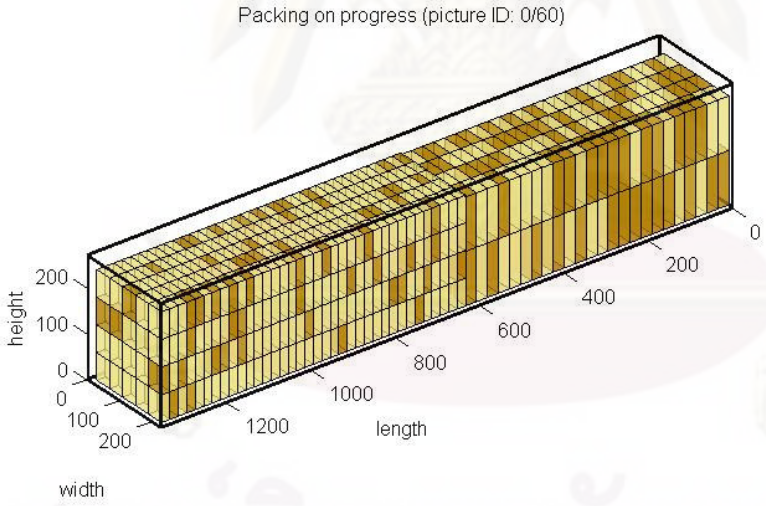
รูปที่ 14 ความสามารถในการหมุนของกล่อง



รูปที่ 15 จัดเรียงสินค้าให้เต็มในระนาบที่ 1 จนเต็มก่อนจึงเริ่มการบรรจุในระนาบถัดไป

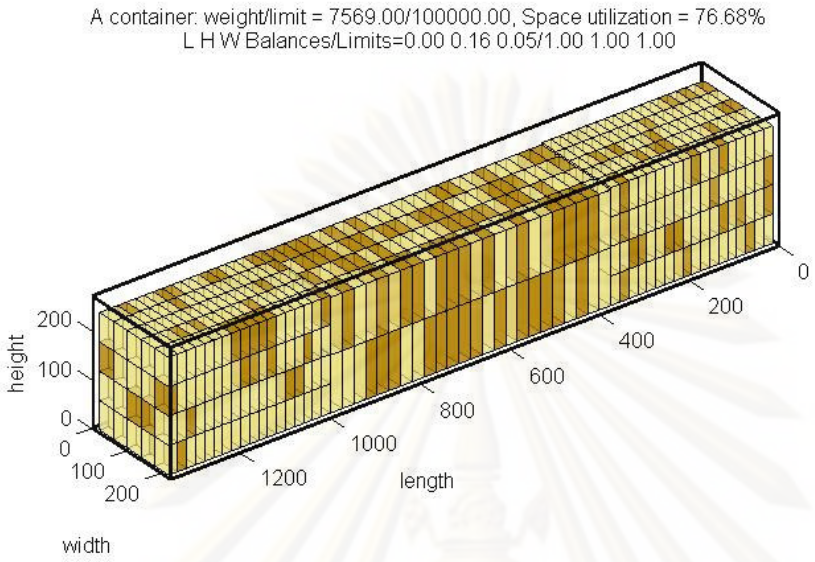


รูปที่ 16 รูปแบบการจุสินค้าในระนาบที่ 2



รูปที่ 17 แสดงผลรูปแบบการบรรจุสินค้าก่อนที่จะมีการปรับจุดศูนย์ถ่วงภายในตู้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 18 แสดงผลรูปแบบการบรรจุสินค้าหลังจากมีการปรับจุดศูนย์ถ่วงภายในตู้

รูปที่ 19 ขอบเขตและรูปแบบกล่องสินค้าที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัย

2. ผลการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้

2.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ที่พัฒนาขึ้น จะประมวลผลโดยรับข้อมูลพารามิเตอร์ผ่านไฟล์ input.txt ดังรายละเอียดต่อไปนี้

```
% Section: [Output]
% Purpose: Describe the location to output the results and the manner to display
%          in details the progress of the layer-by-layer packing
[Output]

% Location to store the output directory
root = "C:\Documents and Settings\Oar\My Documents\Master-Thesis\ThesisResults"

% The output directory to store the results, underneath the root
% value = <empty string> (default) or a directory name
%         <empty string>   = automatically generated the output directory's
%                            name (0,1,2,...)
%         a directory name = use the provided directory name
%                            (cannot contains / \ * : ? > < |)
%  Example: output directory = "Test-1"
%           output directory =
output directory =

% The manner to output in Matlab file the progress in layer-by-layer packing
% Value = none (default),  firstcontainer, everycontainer
%         none  = do not save the Matlab files that display the layer-by-layer packing
%         firstcontainer = save the Matlab files for the first container only
%                          that s used in the packing
%         everycontainer = save the Matlab file for every container that
%                          is used in the packing
Matlab layer-by-layer display mode = everycontainer %firstcontainer
```

1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะถูกเก็บไว้ที่ไดร์ C:\Document and Setting \Oar\My Documents\Master-Thesis\ ThesisRsults

2 ชื่อของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะถูกตั้งค่าอัตโนมัติให้เป็น 0, 1, 2, 3, ... ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น การประมวลผลครั้งแรกจะเก็บภายใต้ชื่อไฟล์ 0 และถ้ามีการประมวลผลครั้งที่ 2 ผลลัพธ์จะถูกเก็บภายใต้ชื่อไฟล์ 1 และหากมีการประมวลผลในครั้งต่อไปๆ ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะถูกเก็บไว้ในชื่อลำดับถัดไป เป็นต้น

```
% Section: [Container Type]
% Objectives: Describe a container type that is avialble to be used
% in container packing
%
% Available variable name (Required):
% count = number of available containers (non-negative integers: 0,1,2,3,4,...)
% cost = cost per container (real number, >= 0 )
% width = internal width of each container (positive real number)
% height = internal height of each container (positive real number)
% length = internal length of each container (positive real number)
% max weight limit = maximum weight that each container can sustains
%                          (real number, >=0 )
%  = center-of-mass balance limit in the W-axis
% W-axis balance limit = balance limit in the W-axis (real number in [0,1])
% H-axis balance limit = balance limit in the H-axis (real number in [0,1])
% L-axis balance limit = balance limit in the L-axis (real number in [0,1])
%
% Other variable name are optional
% name = name of a container type.  (string, in the quotes).  Optional value = <null>
%   (no name)
%
% The index for types 0, 1, 2, ... of container Type is according
% to the order that each container Type appears in the file.
% The first container type that appears = type 0
% The second container type that appears = type 1
```

3 ชนิดของคอนเทนเนอร์ อธิบายชนิดของตู้คอนเทนเนอร์ที่สามารถใช้ได้ในการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์

4 จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ได้จากการประมวลผล จะเป็นเลขจำนวนบวก เริ่มต้นตั้งแต่ 0, 1, 2, 3 ,.... เป็นต้นไป

5 ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ กว้าง,ยาว และสูง จะเป็นจำนวนบวก เริ่มต้นตั้งแต่ 0, 1, 2, 3 ,.... เป็นต้นไป

6 ขีดจำกัดของน้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์ คือน้ำหนักสูงสุดที่ตู้คอนเทนเนอร์สามารถบรรจุสินค้าได้โดยน้ำหนักสูงสุดนี้จะพิจารณาจาก น้ำหนักสูงสุดที่ตู้คอนเทนเนอร์รับน้ำหนักได้ หรือ ข้อกำหนดว่าด้วยการบรรทุก โดยพิจารณาจากน้ำหนักที่น้อยที่สุดเป็นหลัก

7 จุดศูนย์ถ่วงของตู้คอนเทนเนอร์ คือจุดที่ตู้คอนเทนเนอร์ มีความสมดุลหลังจากที่บรรจุสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์แล้ว โดยจุดสมดุลของตู้คอนเทนเนอร์ที่ถูกพิจารณาในงานวิจัยนี้จะต้องพิจารณาถึงความสมดุลที่เกิดขึ้นในด้านทั้งสามด้านของตู้คอนเทนเนอร์ กล่าวคือ ทั้งด้านกว้าง, ยาว และสูง โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้จุดกึ่งกลางของตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละด้านมีค่าเท่ากับ 0 และอนุญาตให้ค่าสูงสุดที่ห่างออกไปจากจุดกึ่งกลางในแต่ละด้านทั้งด้านซ้ายและขวาหรือด้านบนและด้านล่างมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ไม่เกิน 1

8 ตู้คอนเทนเนอร์ที่ได้จากการประมวลผลจะถูกเก็บภายใต้ชื่อ 0, 1, 2, 3 ,....ยกตัวอย่างเช่น ผลลัพธ์ของตู้แรกที่ได้จากการประมวลผลจะเก็บในชื่อตู้คอนเทนเนอร์ที่ 0 ตู้ที่สองที่ได้จะเก็บภายในชื่อตู้ คอนเทนเนอร์ที่ 1 เป็นต้น

2.2 ข้อมูลเข้า (Input) คือข้อมูลที่ต้องมีการป้อนเข้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผลข้อมูลเข้าจะประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 จำนวนตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชนิดที่สามารถนำมาใช้ในการบรรจุสินค้า ขนาดของ ตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชนิด และราคาค่าขนส่งของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชนิด

2.2.2 จำนวนกล่องสินค้าพร้อมรายละเอียดกล่องคือ ขนาดยาว กว้าง และสูงของกล่อง , น้ำหนักรวมของกล่องสินค้า และ จำนวนด้านที่หมุนได้ของกล่อง

```
[Container Type]
name = "20 Dry" % optional
count = 0
cost = 1200    % x = 1200
width = 228.6
height = 233.68
length = 584.2
max weight limit = 100000
W-axis balance limit = 1
H-axis balance limit = 1
L-axis balance limit = 1

[Container Type]
name = "40 Dry"  % optional
count = 10
cost = 2900      % x = 1500; 2x-100 = 2900
width = 226.6  % cm
height = 233.68
length = 1191.26
max weight limit = 100000
W-axis balance limit = 1
H-axis balance limit = 1
L-axis balance limit = 1

[Container Type]
name = "40 High" % optional
count = 20
cost = 3075      % x = 1500; 2x+75 = 3075
width =  228.6
height = 261.62
length = 1191.26
max weight limit = 100000
W-axis balance limit = 1
H-axis balance limit = 1
L-axis balance limit = 1

[Container Type]
name = "45 High" % optional
count = 5
cost = 3350     % x = 1500; 2x+350 = 3350
width =  228.6
height = 269.24
length = 1356.36
max weight limit = 100000
W-axis balance limit = 1
H-axis balance limit = 1
L-axis balance limit = 1
```

9

10

11

12

จากตัวอย่างดังที่แสดงในหัวข้อที่ 9 จะพบว่า คอนเทนเนอร์ชนิดที่ 20 Dry มีจำนวนทั้งหมด 0 ตู้คอนเทนเนอร์ และต้นทุนในการขนส่งต่อตู้คือ USD 1,200 ต่อตู้ ขนาดของตู้คือมีความกว้าง 228.6 เซนติเมตร, สูง 233.68 เซนติเมตรและยาว 584.2 เซนติเมตร น้ำหนักบรรทุกสูงสุดคือ 100,000 กิโลกรัม จุดสมดุลสูงสุดในด้านกว้าง, สูง และยาวคือ 1

ตู้คอนเทนเนอร์ชนิดที่ 40 Dry 10 มีจำนวนทั้งหมด 10 ตู้คอนเทนเนอร์ และต้นทุนในการขนส่งต่อตู้คือ USD 2,900 ต่อตู้ ขนาดของตู้ คือมีความกว้าง 226.6 เซนติเมตร, สูง 233.68 เซนติเมตรและยาว 1191.26 เซนติเมตร น้ำหนักบรรทุกสูงสุดคือ 100,000 กิโลกรัม จุดสมดุลสูงสุดในด้านกว้าง, สูง และยาวคือ 1

ตู้คอนเทนเนอร์ชนิดที่ 40 High 11 มีจำนวนทั้งหมด 20 ตู้คอนเทนเนอร์ และต้นทุนในการขนส่งต่อตู้คือ USD 3,075 ต่อตู้ ขนาดของตู้ คือมีความกว้าง 228.8 เซนติเมตร, สูง 261.62 เซนติเมตรและยาว 1191.26 เซนติเมตร น้ำหนักบรรทุกสูงสุดคือ 100,000 กิโลกรัม จุดสมดุลสูงสุดในด้านกว้าง, สูง และยาวคือ 1

ตู้คอนเทนเนอร์ชนิดที่ 45 High 12 มีจำนวนทั้งหมด 5 ตู้คอนเทนเนอร์ และต้นทุนในการขนส่งต่อตู้คือ USD 3,350 ต่อตู้ ขนาดของตู้ คือมีความกว้าง 228.6 เซนติเมตร, สูง 269.4 เซนติเมตรและยาว 1356.36 เซนติเมตร น้ำหนักบรรทุกสูงสุดคือ 100,000 กิโลกรัม จุดสมดุลสูงสุดในด้านกว้าง, สูง และยาวคือ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

13

```
[Boxes]
% Each line contain 3 or 4 columns
%    1st column = Total carton  (parcel)
%    2nd column = Aggregated weight of all cartons (Gross weight)
%    3rd column = Carton size (A*B*C)
%    4th column (optional) = a list of available rotations (ABC, BAC, ACB, CAB, BCA, CBA)
%                            separated by commas
%                            -or-
%                            Empty column (no column) = all 6 rotations are allowed
%
%    Rotation XYZ means that the length X, width Y, and height Z are allowed.
%
% Columns are separated by tab.

25      199.870         40*40*60        %BAC,BCA        % Equivalent in boxtype to the line below
21      170.930         60*40*40        %CBA,BAC % Equivalent in boxtype to the line above
469     3937.820        40*40*60
47      436.200         20*40*60
64      536.000         20*40*60
100     855.000
25      199.870         40*40*60
21      170.930 40*40*60
469     3937.820        40*40*60
47      436.200 20*40*60
64      536.000 20*40*60
25      147.500
198     962.300
8       63.340  20*40*60
48      301.920 20*40*60
49      301.920 20*40*60
139     839.850 30*40*40
180     553.800 20*40*60
29      344.310 40*40*60
156     1320.160        20*40*60
47      246.790 40*40*60
18      161.260 40*40*60
232     2313.240        40*40*60
277     1400.360        20*40*60
138     1362.660        40*40*60
242     1243.840        20*40*60
58      186.800 20*40*60
36      289.900 40*40*60
196     656.600 30*20*20
233     736.200 20*40*60
11      100.700 40*40*60
216     986.100 20*40*60
189     1379.000        20*40*60
144     581.800 20*40*60
97      1459.700
117     1733.850
```

14

13 รายละเอียดของกล่องสินค้าที่ต้องมีการนำเข้าโปรแกรมเพื่อใช้ในการประมวลผล ได้แก่ ข้อมูลจำนวนกล่องสินค้าที่จะแสดงในคอลัมน์ที่ 1 , น้ำหนักรวมของกล่องสินค้าในแต่ละชนิดแสดงอยู่ในคอลัมน์ที่ 2, ขนาด กว้าง ยาวและสูงของกล่องสินค้าหน่วยเป็นเซนติเมตรจะแสดงอยู่ในคอลัมน์ที่ 3, และ ความสามารถในการหมุนของกล่องสินค้าจะแสดงอยู่ในคอลัมน์ที่ 4 ความสามารถในการหมุนสูงสุดของกล่องสินค้าที่ทำได้คือ หมุนได้ทั้งหมด 6 ด้าน ตัวอย่างเช่น กล่องสินค้ามีขนาด ยาว, กว้าง, สูง เท่ากับ 40*40*60 เซนติเมตร จะสามารถหมุนได้ ทั้งหมด 2 ด้านกล่าวคือ 40*40*60 และ 40*60 *40 โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณอัตโนมัติแลแสดงผลในข้อมูลส่วนออก (Output) โดยจะแสดงเผลป็นตัวอักษร 3 ตัวคือ BAC และ BCA

14 ตัวอย่างการใส่ข้อมูลกล่องสินค้า เพื่อใช้ในการประมวลผล ข้อมูลที่แสดงในบรรทัดที่ 1 อ่านค่าได้ว่า จำนวนกล่องสินค้ามีทั้งหมด 25 กล่อง น้ำหนักรวมของกล่องสินค้าทั้งหมดคือ 199.87 กิโลกรัม ขนาดของกล่องสินค้าในกลุ่มนี้คือ 40*40*60 เซนติเมตร และด้านซ้ายมือสุดแสดงความสามารถในการหมุนของกล่องได้ 2 ด้านคือ 40*40*60 และ 40*60 *40

2.3 ข้อมูลออก (Output) โปรแกรมจะให้ผลลัพธ์จากการประมวลผลคือ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชนิดที่ใช้ในการบรรจุสินค้า, จำนวนกล่อง น้ำหนัก และปริมาตรรวมในแต่ละตู้คอนเทนนเนอร์, ตำแหน่งของกล่องในตู้คอนเทนเนอร์ พร้อมรูปภาพแสดงตำแหน่งการบรรจุกล่องสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์

อย่างไรก็ตามการแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลจะมีการให้รายละเอียดเป็นภาพรวมของชนิด จำนวนตู้ ราคาต้นทุนในการขนส่งรวม ตลอดจนจำนวนคิวบิกเมตร จำนวนกล่องและน้ำหนักรวมก่อน แล้วจึงค่อย ๆ ให้รายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในเชิงลึกจนถึงระดับรายละเอียดของสินค้าในแต่ละชั้นที่ต้องทำการบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละตู้ในลำดับถัดไป ตัวอย่างข้างล่างนี้ แสดงผลจากการประมวลผลของชุดข้อมูลเข้า (Input) ดังรายละเอียดที่แสดงในด้านบน

Summary of Container Packing
Sunday, February 21, 2010

The directory for this output is
C:\Documents and Settings\Oar\My Documents\Master-Thesis\ThesisResults\8

1. PACKING OVERVIEW

	Number	Aggregated Volume	Aggregated Weight*	TOTAL COST
of all boxes	11792	864484800.00	99697.90	-
of all contn used by				
Lower Bound	12	916122254.20	1200000.00	38275
Heuristic	15	1129856927.38	1500000.00	47500
Ratio (%):				
Boxes/LoB	-	94.36	8.31	-
Boxes/Heu	-	76.51	6.65	-

* For containers, this column is the maximum weight limit, aggregated over all containers that are used by the Lower Bound and Heuristic packing methods.

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมจะให้ภาพรวมของผลลัพธ์ในส่วนแรกจากตัวอย่างผลลัพธ์ข้างต้น รายละเอียดที่ปรากฏในบรรทัดแรกจะพบว่าจำนวนกล่องสินค้าที่ถูกบรรจุเข้าตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดมีจำนวน 11,792 กล่อง ผลรวมปริมาตรสินค้าที่บรรจุคือ 864.48 คิวบิกเมตร (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) น้ำหนักรวมของสินค้าทั้งหมดคือ 99,697 กิโลกรัม

รายละเอียดที่แสดงในบรรทัดที่ 2 จะแสดงผลลัพธ์ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด โดยในการบรรจุกล่องสินค้านั้น ได้อนุญาตให้ปันและทำให้กล่องสินค้าแปรสภาพเป็นผง ดังนั้นสินค้าที่ถูกบรรจุจะสามารถใช้พื้นที่ในตู้คอนเทนเนอร์ได้เต็ม 100 % โดยมิต้องคำนึงขนาดของกล่องสินค้าที่ต้องบรรจุ เมื่อเทียบกับปริมาตรของพื้นที่ที่เหลืออยู่ในตู้คอนเทนเนอร์

คำตอบที่ได้นี้จะเป็นคำตอบที่จะไม่เกิดขึ้นจริงในการปฏิบัติงาน หากแต่จะให้ขอบล่างของคำตอบที่ดีที่สุด กล่าวคือให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการบรรจุ กล่องสินค้าทั้งหมดคือ 12 ตู้ ปริมาตรทั้งหมดของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้คือ 916.12 คิวบิกเมตร น้ำหนักรวม สามารถบรรจุได้ในตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดคือ 120,000 กิโลกรัมและต้นทุนในการขนส่งต่ำสุด คือ USD 38,275

รายละเอียดที่แสดงในบรรทัดที่ 3 จะแสดงผลลัพธ์ที่ให้คำตอบโดยใช้กระบวนการวิธีฮิวริสติกส์แบบจัดแล้วจัดเลย โดยขนาดของกล่องสินค้าจะถูกนำมาพิจารณาด้วย คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่เกิดขึ้นได้จริงในการปฏิบัติงาน โดยจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ ใช้ในการบรรจุกล่องสินค้าคือ 15 ตู้คอนเทนเนอร์ ปริมาตรในตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดคือ 1,112.99 คิวบิกเมตร น้ำหนักรวมที่สามารถบรรจุได้ในตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดคือ 150,000 กิโลกรัมและต้นทุนในการขนส่งต่ำสุดคือ USD 47,500

ผลลัพธ์ที่ได้ในลำดับถัดไป จะให้ข้อมูลภาพรวมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละชนิดที่ต้องใช้ ผลรวมของปริมาตรการบรรจุตู้เป็นคิวบิกเมตร น้ำหนัก และต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นทั้งคำตอบส่วนที่เป็นขอบล่างและจากฮิวริสติกส์แบบจัดแล้วจัดเลย

2. PACKING OVERVIEW AT THE CONTAINER-TYPE LEVEL

container's type	name	unit cost	packing method	# of contn	volume/ contn	weight/ contn	cost
0	20 Dry	1200.00	Max (Limit)	0	31207524.68	100000.00	-
			Lower Bound	0	-	-	0.00
			Heuristic	0	-	-	0.00
	Utilization:		LoB/Max (%)	-	-	-	-
			Heu/Max (%)	-	-	-	-
1	40 Dry	2900.00	Max (Limit)	10	63079466.10	100000.00	-
			Lower Bound	0	-	-	0.00
			Heuristic	0	-	-	0.00
	Utilization:		LoB/Max (%)	-	-	-	-
			Heu/Max (%)	-	-	-	-
2	40 High	3075.00	Max (Limit)	20	71244891.06	100000.00	-
			Lower Bound	7	63868111.89	7365.68	21525.00
			Heuristic	10	54496800.00	6058.83	30750.00
	Utilization:		LoB/Max (%)	-	89.65	7.37	-
			Heu/Max (%)	-	76.49	6.06	-
3	45 High	3350.00	Max (Limit)	5	83481603.36	100000.00	-
			Lower Bound	5	83481603.36	9627.63	16750.00
			Heuristic	5	63903360.00	7821.93	16750.00
	Utilization:		LoB/Max (%)	-	100.00	9.63	-
			Heu/Max (%)	-	76.55	7.82	-
AVERAGE UTILIZATION (from Section 1):			LoB (%)	-	94.36	8.31	-
			Heu (%)	-	76.51	6.65	-

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ดังที่แสดงผลข้างต้นพบว่า จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ชนิด 20 Dry มีจำนวนอยู่ 0 ตู้หรือไม่มีตู้ให้เลือกใช้ ตู้คอนเทนเนอร์ชนิด 40 Dry มีจำนวนมากที่สุด 10 ตู้ที่สามารถเลือกนำมาใช้ในการบรรจุสินค้าได้ แต่จากการประมวลผลของโปรแกรมพบว่าจะไม่มีการเลือกตู้ชนิดนี้มาใช้ในการบรรจุสินค้า ตู้คอนเทนเนอร์ชนิด 40 High มีจำนวนมากสุดที่ 20 ตู้ที่สามารถนำมาใช้ในการบรรจุสินค้า จากการประมวลผลพบว่าจะมีการใช้ตู้คอนเทนเนอร์ชนิดนี้จำนวน 7 ตู้และ 10 ตู้สำหรับวิธีการขอบล่างและวิธีฮิวริสติกส์ตามลำดับ โดยรายละเอียดของปริมาตรรวมที่บรรจุ ตลอดจนน้ำหนักและต้นทุนในการขนส่งจะแสดงรายละเอียดดังที่ปรากฏในตอนบน ตู้คอนเทนเนอร์ชนิด 45 High มีจำนวนมากสุดที่ 5 ตู้และจำนวนตู้ที่นำมาใช้ในการบรรจุทั้งคำตอบในส่วนขอบล่างและวิธีฮิวริสติกส์คือ 5 ตู้ รายละเอียดอื่น ดังที่แสดงไว้ในตอนบน

สัดส่วนปริมาตรเฉลี่ยบรรจุจริงเปรียบเทียบกับความสามารถในการบรรจุของตู้คอนเทนเนอร์ และปริมาตรเฉลี่ยเป็นคิวบิกเมตรที่บรรจุได้จริงเป็นคิวบิกเมตรทั้งคำตอบที่เป็นขอบล่างและวิธีฮิวริสติกส์ดังแสดงไว้ด้านบน

อนึ่งคำตอบที่ใช้เป็นแนวทางในการบรรจุสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ และคำตอบที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือคำตอบที่ได้ จากวิธีการทางด้านฮิวริสติกส์มิใช่คำตอบจากขอบล่าง อย่างไรก็ตามคำตอบที่ได้จากขอบล่างจะใช้เป็นแนวทางในการคำนวณตลอดจนเป็นแนวทางสำหรับภาคปฏิบัติงานว่า คำตอบที่ได้ จะไม่มีทางดีกว่าขอบล่างที่คำนวณได้อย่างแน่นอน

ผลลัพธ์ในลำดับถัดไป จะให้ข้อมูลการบรรจุกล่องสินค้าในระดับตู้คอนเทนเนอร์ โดยคำตอบที่ได้จะแสดงผลลัพธ์เฉพาะกระบวนการวิธีทางด้านฮิวริสติกส์แบบจัดแล้วจัดเลยเท่านั้น

3. HEURISTIC PACKING AT THE CONTAINER LEVEL

pking order	contn's type	name	no.	matlab file (.m)	Packing results #boxes	boxVolum	%SpaceUtil	boxWeigh	LBal	WBal	HBal
0	3	45 High	0	c0	912	64012800.00	76.68	7569.00	0.00	0.05	0.16
1	3	45 High	1	c1	1340	64320000.00	77.05	8065.94	0.00	0.09	0.19
2	3	45 High	2	c2	1340	64320000.00	77.05	8298.81	0.00	0.10	0.19
3	3	45 High	3	c3	1263	63504000.00	76.07	8374.60	0.02	0.08	0.18
4	3	45 High	4	c4	660	63360000.00	75.90	6801.27	0.00	0.01	0.11
5	2	40 High	0	c5	580	55680000.00	78.15	6102.25	0.00	0.00	0.07
6	2	40 High	1	c6	580	55680000.00	78.15	6051.85	0.00	0.01	0.08
7	2	40 High	2	c7	580	55680000.00	78.15	5983.39	0.00	0.01	0.08
8	2	40 High	3	c8	580	55680000.00	78.15	6044.08	0.00	0.00	0.10
9	2	40 High	4	c9	580	55680000.00	78.15	6138.64	0.00	0.01	0.09
10	2	40 High	5	c10	580	55680000.00	78.15	6221.97	0.00	0.01	0.09
11	2	40 High	6	c11	580	55680000.00	78.15	6115.54	0.00	0.02	0.09
12	2	40 High	7	c12	580	55680000.00	78.15	6058.41	0.00	0.01	0.10
13	2	40 High	8	c13	580	55680000.00	78.15	6071.04	0.00	0.01	0.08
14	2	40 High	9	c14	1057	43848000.00	61.55	5801.11	0.02	0.00	0.12
				TOTAL:			Box Volume	864484800.00			
							Box Weight	99697.90			

คำตอบที่ได้จะให้รายละเอียดของจำนวนกล่อง ปริมาตรการบรรจุเป็นคิวบิกเมตร น้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์ รายละเอียดจุดศูนย์ถ่วงทั้งด้านยาว กว้าง สูง ตลอดจนสัดส่วนเป็นเปอร์เซนต์ของการบรรจุเทียบกับความสามารถในการบรรจุกล่องสินค้าในแต่ละตู้ นอกจากนี้ยังแสดงรายละเอียดของชื่อไฟล์ของตู้คอนเทนเนอร์ไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อสะดวกแก่ผู้ใช้ในกรณีต้องการดูรายละเอียดของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละตู้เพิ่มเติมในลำดับถัดไป ยกตัวอย่างเช่น ตู้คอนเทนเนอร์แรกจะถูกแสดงผลลัพธ์ภายใต้ชื่อ คอนเทนเนอร์ที่ 0 เป็นตู้คอนเทนเนอร์ชนิด 45 High และจะแสดงผลลัพธ์เป็นรูปภาพภายใต้ชื่อ C0 จำนวนสินค้าที่บรรจุทั้งหมดคือ 912 กล่อง ปริมาตรการบรรจุคือ 64.0128 คิวบิกเมตร สัดส่วนการบรรจุจริงเทียบกับความสามารถในการบรรจุของตู้คอนเทนเนอร์เป็นเปอร์เซน 76.68% น้ำหนักรวมของสินค้าที่บรรจุภายในตู้คือ 7,569 กิโลกรัม จุดศูนย์ถ่วงด้านยาวของตู้คอนเทนเนอร์หลังจากบรรจุกล่องสินค้าคือ 0.0 ซึ่งก็คือจุดกึ่งกลางพอดี ด้านกว้าง 0.05 และด้านสูง 0.16 และรายระเอียดในตู้คอนเทนเนอร์อื่นๆ ดังแสดงในตารางด้านบน

ในลำดับถัดไปโปรแกรมจะแสดงรายละเอียดการจัดกลุ่มของชนิดของกล่องสินค้า และชนิดย่อยของกล่องสินค้าก่อน ที่จะแสดงรายระเอียดของการบรรจุกล่องสินค้าที่จะบรรจุในแต่ละระนาบของตู้คอนเทนเนอร์ในลำดับถัดไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการนิยามให้ผู้ใช้งานได้มีความเข้าใจที่ตรงกันว่ากล่องสินค้าที่อ้างอิงนั้นคือกล้องสินค้ากล่องใด

การจัดกลุ่มของกล่องสินค้าจะเริ่มจากการจัดกลุ่มกล่องสินค้าที่มีขนาด ยาว กว้าง สูง ไว้ด้วยกันก่อน กล่องเหล่านี้ถือเป็นกล่องชนิดเดียวกัน หลังจากนั้นจึงทำการจัดแบ่งกลุ่มย่อยของกล่องสินค้า โดยดูจากกล่องสินค้า ที่มีน้ำหนักรวมแตกต่างกันโดยแม้ว่ากล่องสินค้าที่มีน้ำหนักรวม เท่ากันแต่มีจำนวนมากกว่า 1 บรรทัดโปรแกรมก็จะทำการจัดแยกและถือว่าเป็นชนิดย่อยคนละชนิด ในการจัดกลุ่มของชนิดของกล่องสินค้านั้น โปรแกรมจะแสดงความสามารถในการหมุนของกลุ่มไว้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. BOXES TO PACK

type	dimensions A	B	C	allow rotation (compressed) A B / C	A C / B	B A / C	B C / A	C A / B	C B / A	subtype info subtype	# of boxes	weight of each box
0	20	20	30	Y	Y	N	N	Y	N	0	196	3.35
										1	196	3.35
										2	102	4.50
1	20	30	40	Y	Y	Y	Y	Y	Y	0	30	2.16
										1	8	2.95
2	20	40	60	Y	Y	Y	Y	Y	Y	0	262	5.15
										1	36	10.84
										2	101	5.35
										3	84	4.21
										4	75	7.53
										5	80	9.64
										6	171	6.64
										7	25	7.00
										8	144	4.04
										9	20	10.14
										10	87	8.46
										11	84	7.58
										12	233	6.19
										13	19	6.82
										14	55	4.84
										15	44	7.35
										16	30	3.27
										17	19	6.82
										18	85	5.40
										19	174	8.00
										20	132	8.00
										21	26	6.96
										22	52	4.00
										23	249	4.81
										24	189	7.30
										25	49	6.16
										26	47	9.28
										27	48	6.29
										28	156	8.46
										29	23	9.60
										30	180	3.08
										31	64	8.38
										32	64	7.80
										33	120	7.10
										34	8	7.92
										35	64	8.38
										36	47	9.28

ผลลัพธ์การจัดกลุ่มชนิดของกล่องสินค้าพบว่า กล่องชนิดที่ 0 มีขนาดของกล่องด้านยาว 20 เซนติเมตร ด้านกว้าง 20 เซนติเมตรและด้านสูง 30 เซนติเมตร กล่องชนิดนี้มีความสามารถในการหมุนได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันกล่าวคือ แบบที่ 1 20*20*30 แบบที่ 2 20*30*20 และแบบที่ 3 30*20*20

นอกจากนี้โปรแกรมจะทำการจัดกลุ่มย่อยของกล่องสินค้าโดยคำนึงจากกล่องสินค้าที่มีขนาดกล่องเท่ากัน แต่มีน้ำหนักที่แตกต่าง จากตัวอย่างด้านบนพบว่ากล่องย่อยชนิดที่ 0 มีจำนวน196 กล่อง น้ำหนักต่อกล่องคือ 3.35 กิโลกรัม กล่องย่อยชนิดที่ 1 มีจำนวน 196

กล่อง มีน้ำหนักต่อกล่อง 3.35 กิโลกรัม กล่องย่อยชนิด 2 มีจำนวน 102 กล่อง มีน้ำหนักต่อกล่อง 4.5 กิโลกรัม เป็นต้น

ผลลัพธ์ในลำดับถัดไป จะให้ข้อมูลวิธีการบรรจุกล่องสินค้าในแต่ละตู้คอนเทนเนอร์ โดยจะแสดงรายละเอียดการบรรจุกล่องสินค้าแต่ละกล่องเข้าตู้ในแต่ละชั้น โดยจะเริ่มจากชั้นแรกที่เป็นชั้นด้านในสุดของตู้ก่อน หลังจากนั้นจึงทำการบรรจุกล่องสินค้าให้เต็มในชั้นแรก จากนั้นจึงทำการบรรจุกล่องสินค้าในชั้นถัดไป โดยโปรแกรมจะนับกล่อง ชั้นการบรรจุ หรือตู้แรกเป็นตัวเลข 0

ความสมดุลของการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ก็จะต้องถูกพิจารณาด้วย โดยในการพิจารณาเลือกกล่องสินค้าแต่กล่องเข้าตู้คอนเทนเนอร์นั้น โปรแกรมจะพยายามพิจารณาเลือกกล่องสินค้าชนิดเดียวกันไว้ใกล้กัน หากแต่เพื่อความสมดุลของตู้คอนเทนเนอร์หลังการบรรจุชนิดย่อยของกล่องสินค้าที่มีน้ำหนักต่างกันจะถูกพิจารณาเลือกมาบรรจุด้วยกัน ทั้งนี้ เพื่อให้มั่นใจว่าตู้คอนเทนเนอร์จะมีความสมดุลหลังการบรรจุ อนึ่งการแสดงผลในระดับการบรรจุในแต่ละตู้นี้จะแสดงผลใน 2 รูปแบบด้วยกัน กล่าวคือ จะแสดงผลเป็นรูปแบบการบรรจุในลักษณะของการบรรยายรายละเอียดเป็นตัวหนังสือ และการแสดงผลเป็นรูปภาพอีกด้วย

```
5. CONTAINER LOADING STRATEGIEY (HEURISTIC PACKING)

5.0 PACKING ORDER 0 (CONTAINER TYPE 3/45 High)

Picture of this container is available at: c0.m
Pictures of the step-by-stop packing are available at: y0_*.m
```

	box's							position of the box's		
	pking				after rotation			reference corner		
layer	order	type	subtyp	rot	length	width	height	L-axis	W-axis	H-axis
0	0	2	12	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	0.00
0	1	2	28	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	0.00
0	2	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	0.00
0	3	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	0.00
0	4	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	0.00
0	5	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	60.00
0	6	2	38	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	60.00
0	7	2	8	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	60.00
0	8	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	60.00
0	9	2	39	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	60.00
0	10	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	120.00
0	11	2	30	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	120.00
0	12	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	120.00
0	13	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	120.00
0	14	2	19	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	120.00
0	15	2	23	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	180.00
0	16	2	44	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	180.00
0	17	2	43	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	180.00
0	18	2	24	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	180.00
0	19	2	6	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	180.00

1	0	2	24	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	0.00
1	1	2	39	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	0.00
1	2	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	0.00
1	3	2	43	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	0.00
1	4	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	0.00
1	5	2	12	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	60.00
1	6	2	38	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	60.00
1	7	2	20	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	60.00
1	8	2	44	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	60.00
1	9	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	60.00
1	10	2	19	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	120.00
1	11	2	6	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	120.00
1	12	2	30	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	120.00
1	13	2	23	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	120.00
1	14	2	28	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	120.00
1	15	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	180.00
1	16	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	180.00
1	17	2	33	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	180.00
1	18	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	180.00
1	19	2	8	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	180.00
2	0	2	43	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	0.00
2	1	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	0.00
2	2	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	0.00
2	3	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	0.00
2	4	2	23	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	0.00
2	5	2	20	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	60.00
2	6	2	30	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	60.00
2	7	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	60.00
2	8	2	28	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	60.00
2	9	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	60.00
2	10	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	120.00
2	11	2	38	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	120.00
2	12	2	24	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	120.00
2	13	2	19	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	120.00
2	14	2	44	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	120.00
2	15	2	39	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	14.30	180.00
2	16	2	8	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	54.30	180.00
2	17	2	0	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	94.30	180.00
2	18	2	6	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	134.30	180.00
2	19	2	12	ABC	20.00	40.00	60.00	0.00	174.30	180.00

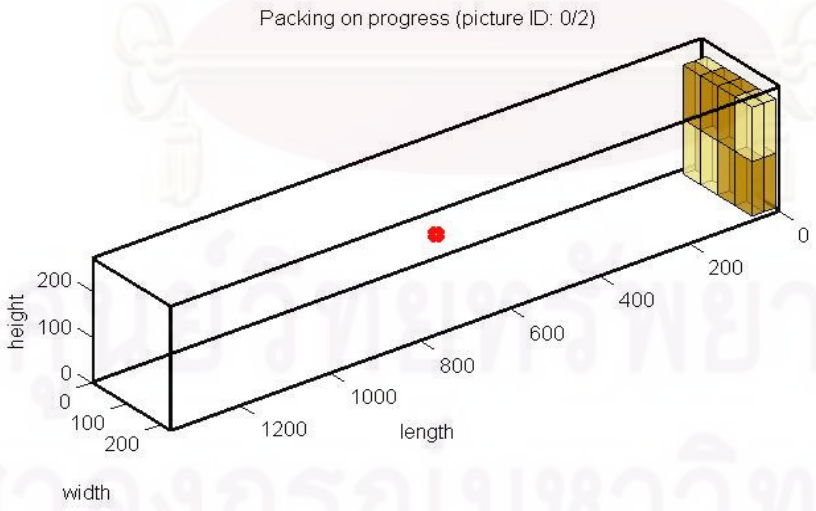
จากตัวอย่างผลลัพธ์ที่นำมาแสดงพบว่า การบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ตู้แรก โปรแกรมแสดงไว้ในลำดับที่ 0 เป็นตู้ขนาด 45 High Cube แสดงผลเป็นรูปภาพภายใต้ชื่อ c0.m และภาพการบรรจุในชั้นจะแสดงผลภายใต้ชื่อ y0_*.m

ลำดับถัดไปโปรแกรมจะแสดงรายละเอียดการบรรจุกล่องสินค้าแต่กล่องเข้าตู้คอนเทนเนอร์ในชั้นแรก ซึ่งก็คือการบรรจุกล่องสินค้าในชั้นที่ 0 นั่นเอง รายละเอียดที่ให้ในขั้นตอนนี้จะแสดงรายละเอียดของกล่องที่ถูกเลือกนำมาบรรจุ การหมุนของกล่อง ว่าควรเป็นไปในลักษณะใด และตำแหน่งของการจัดวางกล่องสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ควรจะเป็นแบบไหน โดยการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้จะเริ่มจากการบรรจุกล่องสินค้าเข้าไปที่มุมด้านในของตู้ก่อน

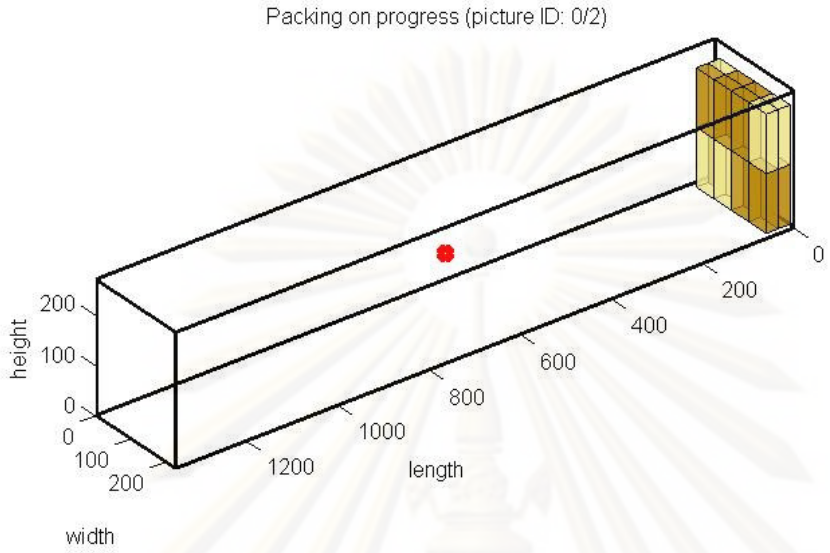
จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การบรรจุกล่องสินค้าในชั้นที่ 0 กล่องที่ 0 หรือกล่องแรกที่บรรจุคือกล่องชนิดที่ 2 ชนิดย่อยที่ 12 โดยหลังการหมุนแล้วพบว่ากล่องมีด้านยาว 20 เซนติเมตร

มีด้านกว้าง 40 เซนติเมตรและมีด้านสูง 60 เซนติเมตร ตำแหน่งหลังการบรรจุจะกล่องสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์คือ ด้านยาวที่ตำแหน่ง 0 เซนติเมตรจากด้านยาว ตำแหน่งในด้านกว้างคือห่างจากมุมมา 14.3 เซนติเมตรและด้านสูงในตำแหน่งที่ 0 เซนติเมตรจากพื้น กล่องสินค้าถัดไปที่บรรจุเข้าตู้คอนเทนเนอร์ในลำดับที่ 1 คือกล่องชนิดที่ 2 ชนิดย่อยที่ 28 โดยหลังการหมุนแล้วพบว่ากล่องมีด้านยาว 20 เซนติเมตร มีด้านกว้าง 40 เซนติเมตรและมีด้านสูง 60 เซนติเมตร ตำแหน่งหลังการบรรจุกล่องสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์คือ ด้านยาวที่ตำแหน่ง 0 เซนติเมตรจากด้านยาว ตำแหน่งในด้านกว้างคือห่างจากมุมมา 54.3 เซนติเมตรและด้านสูงในตำแหน่งที่ 0 เซนติเมตรจากพื้น กล่องสินค้าถัดไปที่ถูกบรรจุเข้าตู้คอน ในลำดับที่ 2 คือกล่องชนิดที่ 2 ชนิดย่อยที่ 0 โดยหลังการหมุนแล้วพบว่ากล่องมีด้านยาว 20 เซนติเมตร มีด้านกว้าง 40 เซนติเมตรและมีด้านสูง 60 เซนติเมตร ตำแหน่งหลังการบรรจุกล่องสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์คือ ด้านยาวที่ตำแหน่ง 0 เซนติเมตรจากด้านยาว ตำแหน่งในด้านกว้างคือห่างจากมุมมา 94.3 เซนติเมตรและด้านสูงในตำแหน่งที่ 0 เซนติเมตรจากพื้นตู้ ข้อมูงที่ได้จากการประมวลผลจะให้รายละเอียดการบรรจุกล่องสินค้าในแต่ละชั้นการบรรจุจนเต็มตู้ แล้วจึงจะเริ่มให้รายละเอียดการบรรจุกล่องสินค้าในตู้ต่อไปเป็นลำดับถัดไป

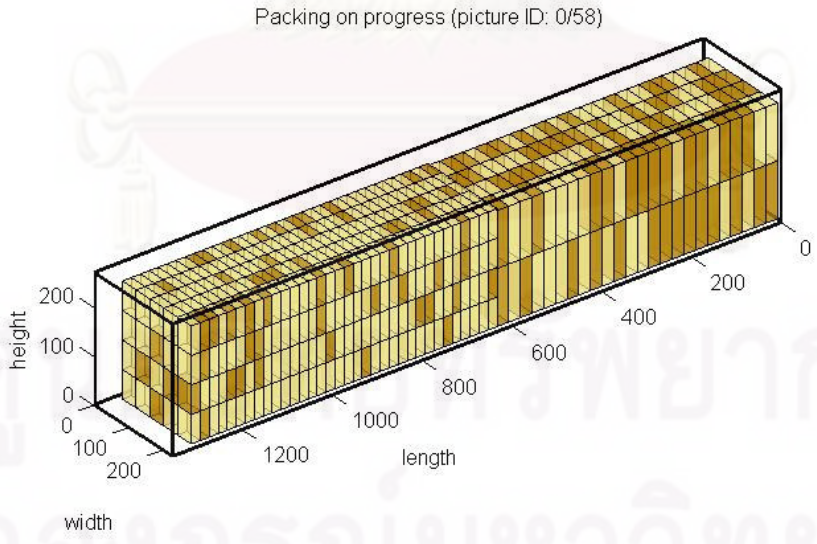
นอกจากจากแสดงผลลัพธ์เป็นรายละเอียดการบรรจุกล่องสินค้าในแต่ละตู้ดังที่แสดงไว้ด้าน บนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะแสดงในรูปแบบของรูปภาพ เพื่อให้ง่ายแก่ความเข้าใจ อีกด้วย



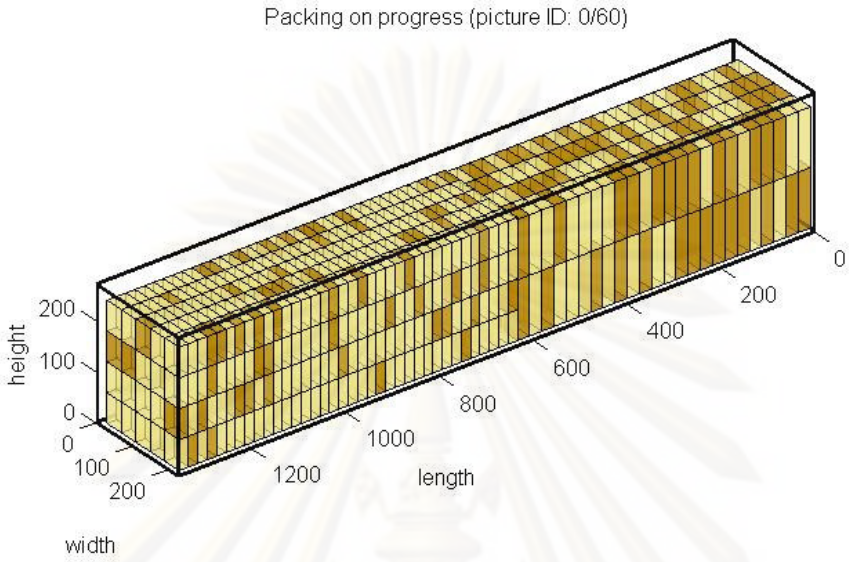
รูปที่ 20 รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์ที่ 0



รูปที่ 21 รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์ที่ 1



รูปที่ 22 รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์สุดท้ายที่ยังไม่ได้ปรับสมดุล



รูปที่ 23 รูปแสดงการบรรจุกล่องเลเยอร์สุดท้ายที่ปรับสมดุลแล้ว

3. ผลการเปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่น ๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

จากการเปรียบเทียบการบรรจุกล่องสินค้าที่ดำเนินการโดยพนักงานของบริษัทดัมโก้ โลจิสติกส์(ไทยแลนด์) จำกัด กับวิธีการที่ผู้วิจัยพัฒนา จำนวน 24 สัปดาห์ ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการบรรจุกล่องสินค้าโดยพนักงานดัมโก้ กับ โดยโปรแกรม

สัปดาห์ที่	จำนวนตู้ที่ใช้จากการคำนวณด้วยมือ					จำนวนตู้ที่ใช้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม					ผลต่าง
	20D	40D	40HC	45HC	รวมค่าใช้จ่าย($)	20D	40D	40HC	45HC	รวมค่าใช้จ่าย($)	
1	0	1	7	0	27,700.00	0	0	2	5	25,500.00	(2,200.00)
2	0	1	9	3	45,800.00	0	1	2	9	43,500.00	(2,300.00)
3	0	3	7	0	34,100.00	0	1	3	5	32,200.00	(1,900.00)
4	0	0	6	3	32,100.00	1	0	0	8	31,300.00	(800.00)
5	0	0	10	1	38,700.00	0	1	0	9	36,500.00	(2,200.00)
6	0	4	6	0	33,800.00	0	1	0	8	32,800.00	(1,000.00)

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการบรรจุกล่องสินค้าโดยพนักงานดัมโก้ กับ โดยโปรแกรม (ต่อ)

สัปดาห์ที่	จำนวนตู้ที่ใช้จากการคำนวณด้วยมือ					จำนวนตู้ที่ใช้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม					ผลต่าง
	20D	40D	40HC	45HC	รวมค่าใช้จ่าย($)	20D	40D	40HC	45HC	รวมค่าใช้จ่าย($)	
7	0	0	12	0	42,000.00	1	0	0	11	42,400.00	400.00
8	0	1	10	0	38,200.00	0	0	0	10	37,000.00	(1,200.00)
9	0	0	10	2	42,400.00	1	0	1	10	42,200.00	(200.00)
10	1	0	7	3	37,300.00	0	1	0	9	36,500.00	(800.00)
11	0	0	6	1	24,700.00	0	0	3	4	25,300.00	600.00
12	0	0	10	0	35,000.00	1	0	0	9	35,000.00	-
13	0	0	8	1	31,700.00	1	0	0	8	31,300.00	(400.00)
14	0	2	5	0	23,900.00	1	0	0	6	23,900.00	-
15	0	0	8	1	31,700.00	0	0	0	8	29,600.00	(2,100.00)
16	1	0	10	0	36,700.00	1	0	0	9	35,000.00	(1,700.00)
17	0	1	4	0	17,200.00	1	0	0	4	16,500.00	(700.00)
18	0	0	5	1	21,200.00	1	0	0	5	20,200.00	(1,000.00)
19	0	1	4	2	24,600.00	0	0	3	4	25,300.00	700.00
20	0	0	7	0	24,500.00	1	0	0	6	23,900.00	(600.00)
21	0	2	8	1	38,100.00	1	1	0	9	38,200.00	100.00
22	0	2	6	0	27,400.00	0	0	0	7	25,900.00	(1,500.00)
23	0	1	10	0	38,200.00	0	0	1	9	36,800.00	(1,400.00)
24	0	0	6	3	32,100.00	0	1	0	8	32,800.00	700.00
รวม					779,100.00					759,600.00	(19,500.00)

จากตารางที่ 2 พบว่าต้นทุนโดยรวม 24 สัปดาห์ที่ดำเนินการโดยโปรแกรมจากงานวิจัยนี้ต่ำกว่า ต้นทุนที่เกิดจากการปฏิบัติจริงของพนักงาน เป็นจำนวนเงิน $ 195,700 คิดเป็นร้อยละ 2.50

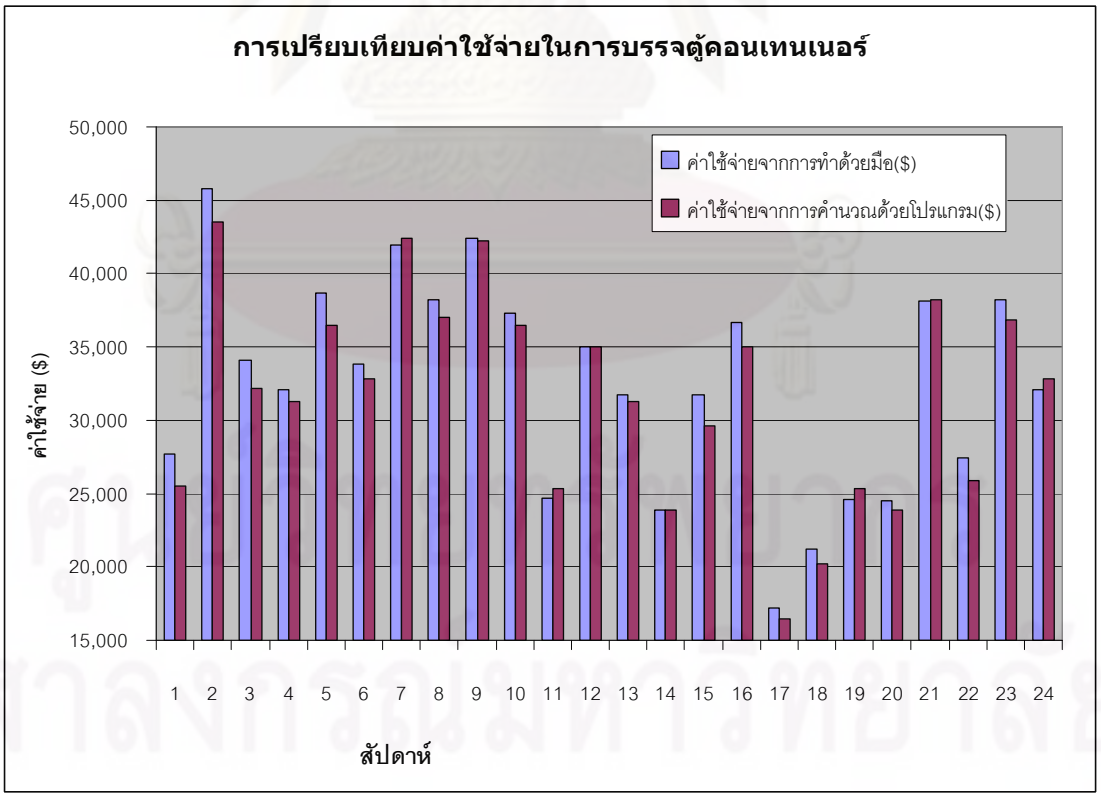
เมื่อแยกพิจารณาเป็นรายสัปดาห์พบว่า มีจำนวน 17 สัปดาห์ที่ค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการโดยโปรแกรมจากงานวิจัยนี้ต่ำกว่า ต้นทุนที่เกิดจากการปฏิบัติจริงของพนักงาน คิดเป็นร้อยละ 70.83

มีเพียง 5 สัปดาห์เท่านั้นที่ค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการโดยโปรแกรมสูงกว่า ต้นทุนที่เกิดจากการปฏิบัติจริงของพนักงาน และ 2 สัปดาห์ ที่ค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการโดยโปรแกรมเท่ากับ ต้นทุนที่เกิดจากการปฏิบัติจริงของพนักงาน คิดเป็นร้อยละ 20.83 และ 8.33 ตามลำดับ

ราคาค่าขนส่งสินค้าต่อตู้เป็นดังนี้

ตู้ขนาด 20D ราคาค่าขนส่ง $1,700 ตู้ขนาด 40D ราคาค่าขนส่ง $3,200

ตู้ขนาด 40HC ราคาค่าขนส่ง $3,500 ตู้ขนาด 45HC ราคาค่าขนส่ง $3,700



รูปที่ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์

ตารางที่ 3 ปริมาตรเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือ

สัปดาห์	ปริมาตรเฉลี่ยต่อตู้ทำด้วยมือ				เปอร์เซ็นต์ต่อตู้				เปอร์เซ็นต์รวม
	20D	40D	40HC	45HC	20D	40D	40HC	45HC	
1	0	56.6	66.6	0	0%	90%	94%	0%	93%
	0	1	7	0					
2	0	56.7	66.2	74.2	0%	90%	93%	89%	92%
	0	1	9	3					
3	0	55.4	66.7	0.0	0%	88%	94%	0%	92%
	0	3	7	0					
4	0	0	66.0	76.9	0%	0%	93%	92%	92%
	0	0	6	3					
5	0	0	66.6	78.01	0%	0%	93%	93%	93%
	0	0	10	1					
6	0	51.9	66.6	0	0%	82%	94%	0%	89%
	0	4	6	0					
7	0	0	67.0	0	0%	0%	94%	0%	94%
	0	0	12	0					
8	0	44.7	66.9	0	0%	71%	94%	0%	92%
	0	1	10	0					
9	0	0	66.3	76.1	0%	0%	93%	91%	93%
	0	0	10	2					
10	15	0	66.4	75.6	48%	0%	93%	91%	91%
	1	0	7	3					
11	0	0	65.9	78.2	0%	0%	93%	94%	93%
	0	0	6	1					
12	0	0	67.2	0	0%	0%	94%	0%	94%
	0	0	10	0					

ตารางที่ 3 ปริมาตรเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือ (ต่อ)

สัปดาห์	ปริมาตรเฉลี่ยต่อตู้ทำด้วยมือ				เปอร์เซ็นต์ต่อตู้				เปอร์เซ็นต์รวม
	20D	40D	40HC	45HC	20D	40D	40HC	45HC	
13	0	0	66.6	75.5	0%	0%	93%	90%	93%
	0	0	8	1					
14	0	57.5	67.6	0	0%	91%	95%	0%	94%
	0	2	5	0					
15	0	0	66.6	74.06	0%	0%	93%	89%	93%
	0	0	8	1					
16	15.16	0	66.4	0	49%	0%	93%	0%	91%
	1	0	10	0					
17	0	57.3	66.6	0	0%	91%	93%	0%	93%
	0	1	4	0					
18	0	0	66.7	76.2	0%	0%	94%	91%	93%
	0	0	5	1					
19	0	57.1	67.8	78.0	0%	91%	95%	93%	94%
	0	1	4	2					
20	0	0	68.2	0	0%	0%	96%	0%	96%
	0	0	7	0					
21	0	58.2	66.9	74.1	0%	92%	94%	89%	93%
	0	2	8	1					
22	0	58.0	69.2	0	0%	92%	97%	0%	96%
	0	2	6	0					
23	0	55.5	67.2	0	0%	88%	94%	0%	94%
	0	1	10	0					
24	0	0	68.4	76.2	0%	0%	96%	91%	94%
	0	0	6	3					

จากตารางที่ 3 พบว่า เปอร์เซ็นต์รวมของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมืออยู่ระหว่าง 89%-96% ส่วนใหญ่ทำได้มากกว่าหรือเท่ากับ 90% (23 สัปดาห์) มีเพียงสัปดาห์เดียวคือสัปดาห์ที่ 6 ที่ทำได้ต่ำกว่า 90%

ตารางที่ 4 ปริมาตรเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยโปรแกรม

สัปดาห์	ปริมาตรเฉลี่ยต่อตู้ที่คำนวณด้วยโปรแกรม				เปอร์เซ็นต์ต่อตู้				เปอร์เซ็นต์รวม
	20D	40D	40HC	45HC	20D	40D	40HC	45HC	
1	0	53.5	0	76.6	0%	85%	0%	92%	91%
	0	1	0	6					
2	0	39.5	65.4	77.1	0%	63%	92%	92%	90%
	0	1	2	9					
3	0	52.8	66.5	76.9	0%	84%	93%	92%	92%
	0	1	3	5					
4	14.5	0	0	76.3	46%	0%	0%	91%	89%
	1	0	0	8					
5	0	51.7	0	76.8	0%	82%	0%	92%	91%
	0	1	0	9					
6	0	36.1	0	71.5	0%	57%	0%	86%	83%
	0	1	0	8					
7	11.1	0	0	72.1	36%	0%	0%	86%	85%
	1	0	0	11					
8	0	0	0	71.4	0%	0%	0%	85%	85%
	0	0	0	10					
9	23.3	0	65.9	72.6	75%	0%	93%	87%	87%
	1	0	1	10					
10	0	49.5	0	72.7	0%	79%	0%	87%	86%
	0	1	0	9					

ตารางที่ 4 ปริมาตรเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยโปรแกรม (ต่อ)

สัปดาห์	ปริมาตรเฉลี่ยต่อตู้ที่คำนวณด้วยโปรแกรม				เปอร์เซ็นต์ต่อตู้				เปอร์เซ็นต์รวม
	20D	40D	40HC	45HC	20D	40D	40HC	45HC	
11	0	0	61.4	72.3	0%	0%	86%	87%	86%
	0	0	3	4					
12	20.8	0	0	72.8	67%	0%	0%	87%	86%
	1	0	0	9					
13	27.1	0	0	71.7	87%	0%	0%	86%	86%
	1	0	0	8					
14	26.2	0	0	70	84%	0%	0%	84%	84%
	1	0	0	6					
15	0	0	0	75.5	0%	0%	0%	90%	90%
	0	0	0	8					
16	8.8	0	0	74.2	28%	0%	0%	89%	86%
	1	0	0	9					
17	27.3	0	0	73.6	87%	0%	0%	88%	88%
	1	0	0	4					
18	26.3	0	0	76.3	84%	0%	0%	91%	91%
	1	0	0	5					
19	0	0	62.1	73.7	0%	0%	87%	88%	88%
	0	0	3	4					
20	23.7	0	0	74.8	76%	0%	0%	90%	89%
	1	0	0	6					
21	19.7	56.2	0	72.1	63%	89%	0%	86%	86%
	1	1	0	9					
22	0	0	0	75.3	0%	0%	0%	90%	90%
	0	0	0	7					

ตารางที่ 4 ปริมาตรเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยโปรแกรม (ต่อ)

สัปดาห์	ปริมาตรเฉลี่ยต่อตู้ที่คำนวณด้วยโปรแกรม				เปอร์เซ็นต์ต่อตู้				เปอร์เซ็นต์รวม
	20D	40D	40HC	45HC	20D	40D	40HC	45HC	
23	0	0	63.1	74.1	0%	0%	89%	89%	89%
	0	0	1	9					
24	0	36.2	0	75.3	0%	57%	0%	90%	87%
	0	1	0	8					

จากตารางที่ 4 พบว่า เปอร์เซ็นต์รวมของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำด้วยโปรแกรมอยู่ระหว่าง 83%-92% มีเพียง 6 สัปดาห์ที่ทำได้มากกว่าหรือเท่ากับ 90% ที่เหลือนอกจากนั้นอีก 18 สัปดาห์ ทำได้ต่ำกว่า 90%

หมายเหตุ ตารางที่ 3 และ 4 ในแต่ละสัปดาห์จะนำเสนอข้อมูลเป็น 2 แถว แถวแรกเป็นจำนวนคิวบิกเมตรที่บรรจุได้ แถวที่ 2 เป็นจำนวนตู้ที่ใช้ ความจุตู้ขนาดต่าง ๆ เป็นดังนี้

ตู้ขนาด 20D ความจุ 31.21 ลบ,ม, ตู้ขนาด 40D ความจุ 63.08 ลบ,ม,
ตู้ขนาด 40HC ความจุ 71.24 ลบ,ม, ตู้ขนาด 45HC ความจุ 83.48 ลบ,ม,

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบร้อยละเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือและโปรแกรม

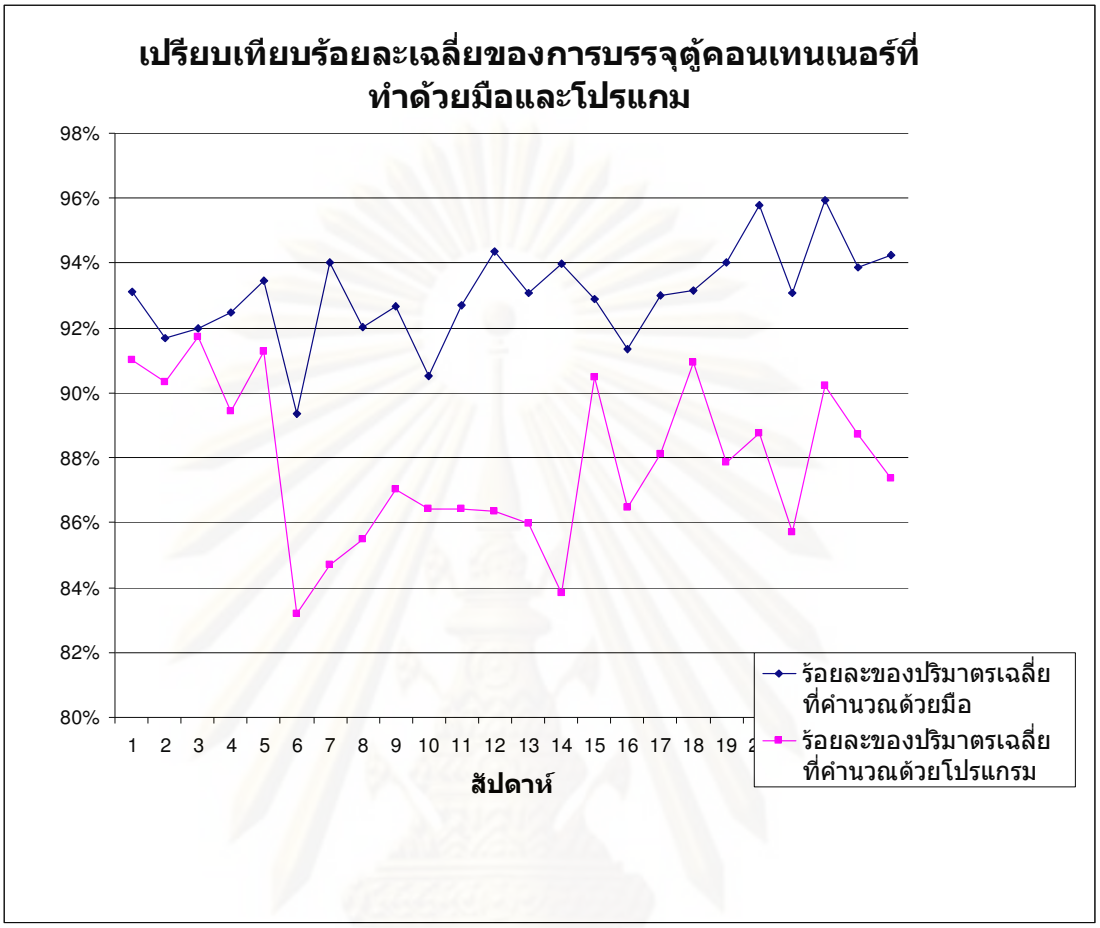
สัปดาห์	ร้อยละของปริมาตรเฉลี่ยที่คำนวณด้วยมือ	ร้อยละของปริมาตรเฉลี่ยที่คำนวณด้วยโปรแกรม
1	93%	91%
2	92%	90%
3	*92%*	*92%*
4	92%	89%
5	93%	91%
6	89%	83%
7	94%	85%
8	92%	85%
9	93%	87%
10	91%	86%

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบร้อยละเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือและโปรแกรม (ต่อ)

สัปดาห์	ร้อยละของปริมาตรเฉลี่ยที่คำนวณด้วยมือ	ร้อยละของปริมาตรเฉลี่ยที่คำนวณด้วยโปรแกรม
12	94%	86%
13	93%	86%
14	94%	84%
15	93%	90%
16	91%	86%
17	93%	88%
18	93%	91%
19	94%	88%
20	96%	89%
21	93%	86%
22	96%	90%
23	94%	89%
24	94%	87%

ตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบ Utilization ระหว่างการปฏิบัติงานด้วยมือกับด้วยโปรแกรม พบว่าการปฏิบัติงานด้วยมือมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าการปฏิบัติด้วยโปรแกรมจำนวน 23 สัปดาห์ มีเพียงสัปดาห์เดียวที่เท่ากันคือสัปดาห์ที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบร้อยละเฉลี่ยของการบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ด้วยมือและโปรแกรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์ หรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ให้มีราคาต่ำ มีผลสรุปการวิจัยดังนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาวิธีทางคอมพิวเตอร์(Algorithm) สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์ให้มีราคาต่ำ โดยคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1.1 ขีดจำกัดน้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์ไม่เกิน

1.2 ศูนย์ถ่วงของตู้คอนเทนเนอร์ หลังการบรรจุกล่องสินค้ามีความสมดุล

2. พัฒนา Software เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้

3. เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. ชนิดของตู้คอนเทนเนอร์อ้างอิงจากชนิดของตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการบรรจุสินค้าที่เป็นกล่องที่มีใช้อยู่จริงในธุรกิจการส่งออก โดยตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีด้วยกันทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ตู้ 20 Dry , 40 Dry, 40 High, 45 High

2. กล่องสินค้าที่บรรจุจะต้องถูกวางในแนวระนาบเท่านั้น โดยฐานของกล่องที่ถูกวางซ้อนด้านบนจะต้องไม่เกินขนาดของกล่องสินค้าที่วางอยู่ด้านล่าง

3. กล่องสินค้าทั้งหมดที่มีอยู่จะต้องถูกบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมด งานวิจัยนี้ไม่อนุญาตให้กล่องสินค้าเหลืออยู่

4. ข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณา เช่นขนาดและจำนวนของกล่องสินค้าที่ใช้ในการคำนวณจะต้องมีความแม่นยำ ไม่คลาดเคลื่อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้รูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าที่ใช้งานได้จริง และทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบและวิธีการในปัจจุบันที่ทำด้วยมือ

2. เป็นการสร้างพื้นฐานสำหรับงานวิจัยระดับสูง โดยเฉพาะกรณีที่ข้อมูลกล่องสินค้าและตู้คอนเทนเนอร์ มีความผิดพลาด อาทิเช่น จำนวนตู้มีไม่พอต่อความต้องการ หรือกล่องสินค้าบวม

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์โดยให้มีราคาต่ำ จะใช้วิธี ฮิวริสติคส์(Heuristics) ที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์โดยวิธีฮิวริสติคส์(Heuristics) แบบต่าง ๆ

2. พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์โดยควบคุมราคาต้นทุน

3. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้ในข้อ 2

4. เปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่นๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

การศึกษากระบวนวิธีสำหรับการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์แบบหลายตู้พร้อมกันเพื่อควบคุมราคาต้นทุนนั้น สามารถสรุปการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์โดยควบคุมราคาต้นทุน

1. ตู้ที่จะถูกเลือกเพื่อนำมาบรรจุสินค้าก่อน จะพิจารณาจากตู้ที่มีต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยเป็นคิวบิกเมตรที่ต่ำที่สุดก่อน หลัง จากนั้น จึงพิจารณาตู้ที่มีต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยเป็นคิวบิกเมตรที่สูงขึ้นเป็นลำดับถัดไป

2. จำนวนตู้ที่สามารถใช้ได้ จะต้องไม่เกินจำนวนของตู้ในแต่ละชนิดที่มีอยู่ในขณะนั้น

3. น้ำหนักสูงสุดที่แต่ละตู้จะรับได้ จะขึ้นอยู่กับความสามารถ ในการรับน้ำหนักของตู้ในแต่ละชนิด หรือข้อจำกัดอันว่าด้วยน้ำหนักบรรทุกสินค้าในแต่ละประเทศที่ตู้สินค้าจะถูกส่งออกหรือ นำเข้า โดยยึดจากน้ำหนักที่น้อยที่สุดเป็นหลัก

4. จุดศูนย์ถ่วงในตู้คอนเทนเนอร์ในด้านกว้าง ยาว และสูง ให้เป็นจุดกึ่งกลางในแต่ละด้านนั้น ๆ โดยให้แทนด้วยตำแหน่งเหล่านั้นด้วยเลข 0 และจุดศูนย์ถ่วงในแต่ละด้านจะต้องไม่เกิน 1

5. การบรรจุสินค้าจะพิจารณาการหมุนของกล่องด้วย โดยกล่องสามารถหมุนได้สูงสุด 6 ด้านด้วยกัน

6. การจัดเรียงสินค้าจะทำโดยจัดกล่องสินค้าเข้าไปที่มุมด้านในสุดของตู้ก่อน หลังจากนั้นจะทำการจัดเรียงกล่องอื่น ๆ ในแนวระนาบเดียวกันจนเต็มตู้จากขวาไปซ้าย หลังจากจัดเรียงในชั้นแรกเต็มแล้วจึงเริ่มการจัดเรียงในชั้นที่ 2 โดยการเริ่มที่มุมของตู้ และทำการจัดเรียงจากขวาไปซ้ายให้เต็มในชั้นที่ 2 จึงเริ่มการจัดเรียงในชั้นที่ 3 และชั้นอื่นๆ จนถึงเพดานของตู้ จึงเป็นอันเสร็จการจัดเรียงในระนาบที่ 1 เมื่อมองจากประตูของตู้ หลังจากนั้นจึงเริ่มการจัดเรียงในระนาบถัดไป จนเต็มตู้

7. เมื่อตู้เต็มแล้ว โปรแกรมจะสลับระนาบ เพื่อทำให้จุดศูนย์ถ่วงของตู้อยู่กึ่งกลาง

8. การพิจารณาขอบล่างหรือการบรรจุกล่องสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์โดยให้มีต้นทุนต่ำสุด จะtพิจารณาโดย สมมุติให้กล่องสินค้าสามารถป่น และย่อยเป็นผงได้ หลังจากนั้นจึงทำการบรรจุตามกระบวนการวิธีที่กล่าวมาข้างต้น

9. การพิจารณาคำตอบจะใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบจัดแล้ว จัดเลยโดยจะอนุญาตให้ตู้ที่บรรจุตู้สุดท้ายสามารถใช้พื้นที่ในตู้ได้ไม่เต็มจำนวนที่สามารถบรรจุได้

2. ผลการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ตามรูปแบบที่พัฒนาได้ในข้อ 1

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ที่พัฒนาขึ้น จะประมวลผลโดยรับข้อมูลพารามิเตอร์ผ่านไฟล์ Input.txt โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือข้อมูลป้อนเข้า (Input) และข้อมูลออก (Output)

2.1 ข้อมูลเข้า (Input) คือข้อมูลที่ต้องมีการป้อนเข้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผล ข้อมูลเข้าจะประกอบไปด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1.1 จำนวนตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชนิดที่สามารถนำมาใช้ในการบรรจุสินค้า ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชนิด และราคาค่าขนส่งของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละชนิด

2.1.2 จำนวนกล่องสินค้าพร้อมรายละเอียดกล่องคือ ขนาดยาว กว้าง และสูงของกล่อง , น้ำหนักรวมของกล่องสินค้า และ จำนวนด้านที่หมุนได้ของกล่อง

2.2 ข้อมูลออก (Output) โปรแกรมจะให้ผลลัพธ์จากการประมวลผลคือ จำนวนตู้คอนเนอร์แต่ละชนิดที่ใช้ในการบรรจุสินค้า จำนวนกล่อง น้ำหนัก และปริมาตรรวมในแแต่ละตู้คอนเทนเนอร์ ตำแหน่งของกล่องในตู้คอนเทนเนอร์ พร้อมรูปภาพแสดงตำแหน่งการบรรจุกล่องสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ อย่างไรก็ตามการแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลจะมีการให้รายละเอียดเป็นภาพรวมของชนิด จำนวนตู้ ราคาต้นทุนในการขนส่งรวม ตลอดจนจำนวนคิวบิกเมตร จำนวนกล่องและน้ำหนักรวมก่อน แล้วจึงค่อย ๆ ให้รายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในเชิงลึกจนถึงระดับรายละเอียดของสินค้าในแต่ละชั้น ต้องทำการบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละตู้ในลำดับถัดไป

3. ผลการเปรียบเทียบวิธีการบรรจุกล่องสินค้าที่เสนอนี้ กับวิธีการบรรจุกล่องสินค้าแบบอื่น ๆ โดยใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรม

จากการเปรียบเทียบต้นทุนในด้านค่าขนส่งพบว่าต้นทุนที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมจะให้ต้นทุนที่ดีกว่าการจัดด้วยมือ 17 ครั้ง ให้ต้นทุนเท่ากับการจัดด้วยมือ 2 ครั้งและให้ต้นทุนที่แย่กว่าการจัดด้วยมือจำนวน 5 ครั้ง คิดเป็นจำนวนเงินค่าขนส่งสินค้าที่ประหยัดได้จำนวน $19,500 หรือประมาณ 643,500 บาท จากการทดลองเปรียบเทียบกับการจัดด้วยมือเป็นเวลา 24 สัปดาห์หรือ 6 เดือน นอกจากนี้ยังพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถประมวลผลได้ในระยะเวลาสั้นเพียง 30 วินาที ถึง 1 นาที หากเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยอาศัยแต่เพียงความชำนาญของพนักงานผู้ปฏิบัติงานจะพบว่า จะมีการใช้เวลาราว 1-3 ชั่วโมงในการวางแผนการจัดกล่องสินค้าเข้าตู้ ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการวางแผนจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ โดยขึ้นอยู่กับความชำนาญของแต่ละบุคคล นอกจากนั้นข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม ยังคำนึงความสมดุลของตู้ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงในด้านความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการบรรจุตู้สินค้าโดยมิได้คำนึงถึงปัจจัยในด้านนี้ ยิ่งไปกว่านั้น เนื่องจากการประมวลผลที่ได้มาจะแสดงรายละเอียดการบรรจุกล่องสินค้าแต่ละกล่องเข้าในแต่ละตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งเป็นผลให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานได้เลย ซึ่งถือว่าเป็นการช่วยลดความเสี่ยง ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นโดยมิต้องอาศัยความชำนาญของบุคคลดังเช่นในอดีตที่ผ่านมา นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยประหยัดต้นทุนในการขนส่งให้ต่ำลงอีกด้วย

อภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรมจะช่วยยกระดับขีดความสามารถในด้านการแข่งขันทางด้านโลจิสติกส์ของผู้ส่งออก และผู้ประกอบกิจการทางด้านการโลจิสติกส์ให้ดีขึ้น เนื่องจากมีการใช้เครื่องมือ และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการวางแผนการปฏิบัติงาน หากเปรียบเทียบกับการปฏิบัติงานในปัจจุบัน พบว่าการวางแผนและการปฏิบัติงานมักอาศัยความสามารถและความชำนาญของบุคลากรที่มีอยู่เป็นหลักแทนที่จะใช้เครื่องมืออื่นๆ เข้ามาช่วย ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานลดลงหากต้องมีการจัดการกับสินค้าชนิดใหม่ ๆ ที่พนักงานยังไม่มีความคุ้นเคย บางครั้งเกิดผลกระทบกับการปฏิบัติงานทั้งในด้านความล่าช้า และก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้น เนื่อง จากพนักงานขาดความชำนาญ

อนึ่งสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าที่คำนวณได้จากโปรแกรม ให้ต้นทุนในการขนส่งที่ต่ำกว่าการคำนวณโดยพนักงานปฏิบัติการ เนื่องจากโปรแกรมจะเลือกตู้คอนเทนเนอร์ที่ให้ต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วย (ต้นทุนค่าขนส่งต่อคิวบิกเมตร) ที่ถูกที่สุดมาใช้ก่อน หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ เลือกตู้ที่ให้ต้นทุนต่อหน่วยที่แพงขึ้นเป็นลำดับถัดไป จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณด้วยมือพบว่า ตู้คอนเทนเนอร์ชนิด 45 HQ จะถูกเลือกนำมาใช้ก่อนและมีสัดส่วนในการใช้มากที่สุด ในขณะที่การคำนวณด้วยมือจะเลือกใช้ตู้ 40 HQ ก่อนหลังจากนั้นจึงจะเลือกใช้ตู้ชนิดอื่นๆ เป็นลำดับถัดไป ซึ่งเป็นผลให้ต้นทุนต่อหน่วยของตู้ที่ถูกเลือกใช้ก่อนมีราคาต่อหน่วยที่สูงกว่า ซึ่งเป็นผลให้ต้นทุนโดยรวมของการบรรจุสินค้าด้วยมือสูงกว่าการบรรจุสินค้าที่ประมวลผลโดยโปรแกรม

อย่างไรก็ตามจากตัวอย่างการเปรียบเทียบการคำนวณด้วยโปรแกรมและการทำด้วยมือ พบว่า ในบางสัปดาห์ต้นทุนโดยรวมที่ทำด้วยมือให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าที่ต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในเวลาที่ปฏิบัติงานจริงกล่องที่ถูกบรรจุและซ้อนทับจะมีโอกาสยุบตัวลง ซึ่งเป็นผลให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถบรรจุกล่องสินค้าได้มากกว่าโปรแกรม เนื่องจากโปรแกรมจะทำการประมวลผลและคำนวณปริมาตรการบรรจุ โดยยึดถือจากขนาดความกว้าง ยาว และสูงของกล่องที่ระบุในข้อมูลนำเข้า (Input) เป็นสำคัญ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ จะไม่ถูกนำมาพิจารณาด้วย

ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำผลจากโปรแกรมไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การฝึกอบรมและการทำความเข้าใจโปรแกรม รายละเอียดของข้อมูลนำเข้าและส่งออก ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการปฏิบัติงานจริง

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเกิดประโยชน์สูงสุด การฝึกอบรมและทำความเข้าใจกับผู้ปฏิบัติงาน ถึงวิธีการใช้โปรแกรม ข้อมูลนำเข้าและส่งออกถือเป็นหัวใจสำคัญที่ไม่อาจละเลย เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้โปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล อันจะก่อให้เกิดการลดต้นทุนในการขนส่งสินค้า ช่วยลดระยะเวลาในการวางแผนการบรรจุกล่องสินค้า และลดการพึ่งพาความชำนาญของพนักผู้ปฏิบัติงานลง

นอกจากนี้เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป การกำหนดและให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกและให้น้ำหนักชนิดของตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องการจะใช้ในแต่ละครั้งได้โดยอิสระ ถือเป็นข้อเสนอแนะ ที่จะทำให้เกิดความคล่องตัว และสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้ใช้งานได้มากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

รักชนก ตะเพียนทอง. การออกแบบขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์ในการจัดเรียงบรรจุภัณฑ์ลงตู้คอนเทนเนอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา, 2459.

ดรีมซอฟต์ ออฟติไมเซชั่น, บริษัท. โปรแกรมคำนวณการจัดเรียงสินค้าแบบ 3 มิติ. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.cargooptimizer.com/OSC/index.php?language=th [2553, เมษายน 8]

ภาษาอังกฤษ

Bischoff, E. E. and Ratcliff, M.S.W. Issues in the development of approaches to container loading. Omeg. 23, 4 (Aug. 1995) : 377–390.

Bischoff, E. E. and Marriott, M. D. A comparative evaluation of heuristics for container loading. European Journal of Operational Research. 44, 2 (Jan. 1990) : 267–276.

Bischoff, E. Three-dimensional packing of items with limited load bearing strength. European Journal of Operational Research. 168, 3 (Feb. 2006) : 952–966.

Bortfeldt, A. and Gehring, H. A hybrid genetic algorithm for the container loading problem. European Journal of Operational Research. 131, 1 (May 2001) : 143–161.

Brooks, R. L., Smith, C. A. B., Stone, A. H. and Tutte, W. The dissection of rectangles into squares. Duke Mathematical Journal. 7, (1940) : 312–340.

Chen, C. S., Lee,S. M. and Shen, Q. S. An analytical model for the container loading problem. European Journal of Operational Research. 80, 1 (Jan. 1995) : 68–76.

Christofides, N. and Whitlock, C. An algorithm for two-dimensional cutting problems. Operations Research. 25, 1, (Jan.-Feb. 1977) : 30–44.

Davies, A. P. and Bischoff, E. E. Weight distribution considerations in container loading. European Journal of Operational Research. 114, 3 (May 1999) : 509–527.

Dowsland, K. A. and Dowsland, W. B. Packing problems. *European Journal of* Operational Research. 52, 1, (Jan. 1992) : 2–14.

Dyckhoff, H., Scheithauer,G. and Terno, J. Cutting and packing in *Annotated Bibliographies in Combinatorial Optimization*. In Dell'Amico, M. Maffioli, F. and Martello, S. (ed.), 1em plus 0.5em minus 0.4emChichester. pp. 393–412. Wiley : 1997.

Dyckhoff, H. A. typology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research. 44, 2 (Jan. 1990) : 145–159.

Eley, M. Solving container loading problems by block arrangement. European Journal of Operational Research. 141, 2 (Sep. 2002) : 393–409.

George, J. A. A method for solving container packing for a single size of box. The Journal of the Operational Research Society. 43, 4 (Apr. 1992) : 307–312.

Gilmore, P. C. and Gomory, R. E. A linear programming approach to the cutting stock problem. Operations Research. 9, 6 (Nov. - Dec. 1961) : 849–859.

Gilmore, P. C. and Gomory, R. E. A linear programming approach to the cutting stock problem-Part II. Operations Research. 11, 6 (Nov. - Dec. 1963) : 863–888.

Gilmore, P. C. and Gomory, R. E. Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. Operations Research. 13, 1 (Jan. - Feb. 1965) : 94–120.

Gilmore, P. C. and Gomory, R. E. The theory and computation of knapsack functions. Operations Research. 14, 6 (Nov. - Dec. 1966) : 1045–1074.

Glover, F. Tabu search–Part I. ORSA Journal on Computing. 1, 3 (Summer 1989) : 190–206.

Herz, J. C. Recursive computational procedure for two dimensional stock cutting. IBM Journal of Research and Development. 16, 5 (1972) : 462–469.

Kantorovich, L. V. Mathematical methods of organizing and planning production. Management Science. 6, 4 (July 1960) : 366–422.

Morabito, R. and Arenalest, M. An AND/OR-graph approach to the container loading problem. International Transactions in Operational Research. 1, 1 (Jan. 1994) : 59–73.

Pisinger, D. Heuristics for the container loading problem. European Journal of Operational Research. 141, 2 (Sep. 2002) : 382–392.

Scheithauer, G. Lp-based bounds for the container and multi-container loading problem. International Transactions in Operational Research. 6, 2 (Mar. 1999) : 199–213.

Sweeney, P. E. and Paternoster, E. R. Cutting and packing problems: A categorized, application-orientated research bibliography. The Journal of the Operational Research Society. 43, 7 (July 1992) : 691–706.

Terno, J., Scheithauer, G., Sommerweiß, U. and Riehme, J. An efficient approach for the multi-pallet loading problem. European Journal of Operational Research. 123, 2 (June 2002) : 372–381.

Wäscher, G., Haußner, H. and Schumann, H. An improved typology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research. 183, 3 (Dec. 2007) : 1109–1130.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล : นางสาวปิยธิดา สุวรรณสันติสุข

เกิดเมื่อ : 4 กันยายน 2520

สถานที่เกิด : 27/29 ถนนอินใจมี ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

สถานที่อยู่ปัจจุบัน : 89/29 หมู่บ้านนันทวัน สาทร-ราชพฤกษ์ แขวงบางแวก เขตภาษีเจริญ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10160

ตำแน่งหน้าที่ : ผู้จัดการฝ่ายส่งออก บริษัดัมโก้โลจิสติกส์ (ไทยแลนด์) จำกัด

สถานที่ทำงาน : บริษัทดัมโก้โลจิสติกส์ (ไทยแลนด์) จำกัด อาคารเอ็มไพร์ ถนนสาทรใต้ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10100

ประวัติการศึกษา

2533 : ประถมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนอนุบาลอุตรดิตถ์ จ. อุตรดิตถ์

2539 : มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสตรีมหาพฤฒาราม กรุงเทพมหานคร

2543 : ปริญญาตรี บัญชีบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

2553 : ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์(สหสาขาวิชา) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย