

Received: September 27, 2020; Revised: November 2, 2020; Accepted: November 11, 2020

การแก้ปัญหาการบรรจุสินค้าโดยใช้แบบจำลองอบเหนียว

A simulated annealing algorithm for packing problem

เพ็ญภักดิ์ ศิริมาก¹ ธวัชชัย บุญทัน^{2*} อัครพงศ์ วงศ์พัฒน์² พงษ์พันธ์ บุญสรรค์¹ และสัณชัย ยอดมณี³

Penpark Sirimark¹, Thawatchai Boontan^{2*}, Akkharaphong Wongphat²,

Pongpan Boonsan¹ and Sanchai Yotmanee³

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

*Corresponding Author E-mail Address : tavatchaibt@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากโดยใช้วิธีการแบบจำลองอบเหนียว (Simulate Annealing: SA) ร่วมกับการจัดวาง 2 วิธีคือ การจัดวางแบบทดสอบจุดตามลำดับแกน (Axis Order Test) และการจัดวางแบบจุดมุม (Corner Point Placing) เนื่องจากการจัดวางสินค้ามีข้อจำกัดในด้านเวลา และจำนวนตู้ขนส่ง ดังนั้นในงานวิจัยเรื่องนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะลดช่องว่างในตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ขนส่งสินค้า พร้อมทั้งลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการขนส่ง และนำรูปแบบวิธีการจัดวางทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน ผลปรากฏว่ารูปแบบการจัดวางแบบจุดมุมร่วมกับแบบจำลองอบเหนียว SA-CPP ได้ผลดีกว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและใช้ตู้คอนเทนเนอร์ในการบรรจุสินค้าน้อยที่สุด

คำสำคัญ: แบบจำลองอบเหนียว การจัดวางแบบทดสอบจุดตามลำดับแกน การจัดวางแบบจุดมุม

Abstract

In this study, we present the method for packing problem into rectangular container by Simulate Annealing (SA) combine with 2 placing methods, the Axis Order Test: AOT and Corner Point Placing: CPP. Since there is the limit of space, cost and time in the shipments, the purposed of this research is to manage the problem for packing using SA-AOT and SA-CPP. The computational performance of both models compared. The results from SA-CPP provide the reduction of costs in shipments with the use minimum number of containers.

Keywords: Simulate annealing, Axes order test, Corner point placing

บทนำ

ในปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจของบริษัทขนส่งสินค้าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคมีช่องทางในการซื้อสินค้ามากกว่าในอดีต การสร้างความประทับใจให้แก่ผู้บริโภคจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งระบบการบริหารจัดการขนส่งสินค้าที่มีประสิทธิภาพนั้นอาจยังไม่เพียงพอ ทำให้การจัดการด้านการบรรจุกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ก่อนการขนส่งจึงมีความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ ของกระบวนการกระจายสินค้า Jens et al. (2010) ได้ศึกษาถึงระเบียบวิธีฮิวริสติกส์สำหรับการบรรจุเฟอร์นิเจอร์ลงในตู้คอนเทนเนอร์ โดยผลที่ได้จากการใช้วิธีนี้มีความแม่นยำในการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์อยู่ที่ 91.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเป็นตัวช่วยในการขนส่งเฟอร์นิเจอร์ไปให้ลูกค้าได้ทันเวลา และในต่อมา ธัญธรณ์ (2561) ได้ศึกษาถึงวิธีการจัดเรียงสินค้าลงตู้สินค้าโดยใช้วิธีฮิวริสติกส์ โดยผลที่ได้จากระเบียบวิธีนี้ทำให้สามารถจัดเรียงสินค้าได้ถูกต้องแม่นยำ และการประมวลผลการจัดเรียงไว้นานกว่าการจัดของพนักงาน โดยปัญหาที่พบบ่อยในการบรรจุสินค้า คือ ภายหลังจากการวางกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ หากพนักงานวางกล่องสินค้าในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมกับขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ จะส่งผลให้เกิดพื้นที่ว่างภายในตู้ ทำให้ต้องใช้จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่งสินค้าเยอะขึ้น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการขนส่งมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อต้องการนำวิธีการทางคอมพิวเตอร์เรื่องระเบียบแบบจำลองการอบเหี่ยว มาใช้เป็นตัวช่วยในการจัดเรียงกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ เพื่ออำนวยความสะดวกต่อศูนย์กระจายสินค้า รวมถึงเป็นการลดเวลาในการขนส่ง ทำให้สามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า นอกจากนี้ยังเป็นการลดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์และยังสามารถใช้พื้นที่ภายในตู้คอนเทนเนอร์ได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. รูปแบบวิธีการจัดวางกล่องสินค้า

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบการจัดวางกล่องสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ 2 วิธี คือ

1.1 การจัดวางแบบทดสอบจุดตัดตามลำดับแกน (Axis Order Test: AOT)

กำหนดให้ A_i คือ กล่องสำหรับบรรจุลงตู้ลำดับที่ i

(X, Y, Z) คือ ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์ทรงฉาก

K คือ จำนวนของกล่องทั้งหมด

วิธีการจัดวางแบบ AOT มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วางกล่องที่ A_1 ที่พิกัดเริ่มต้น $(0,0,0)$

2. ก่อนวางกล่องที่ A_i ต้องตรวจสอบก่อนว่าจุดที่จะบรรจุกับขนาดของกล่อง A_i นั้นมีพื้นที่ที่สามารถวางลง

ในตู้คอนเทนเนอร์ได้หรือไม่ ที่จุด $(0,0,0)$ ถ้าสามารถวางได้ให้ข้ามไปทำข้อ 3 ถ้าไม่สามารถวางได้ให้ทำข้อ 2.1

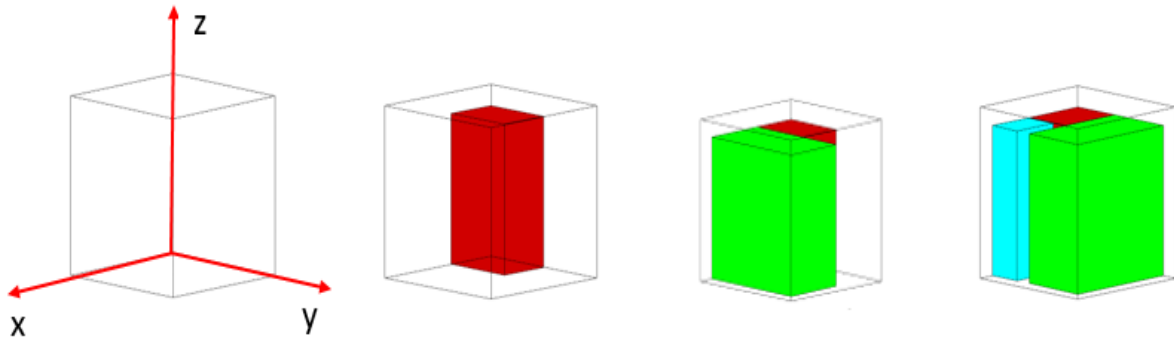
2.1 เพิ่มพิกัดตามแนวแกน x ทีละ 1 ค่า จนกว่าจะสามารถวาง A_i ได้ ถ้า $x > X, y \leq Y, z \leq Z$ ให้

ทำข้อที่ 2.2 ถ้า $x > X, y > Y, z \leq Z$ ให้ทำข้อ 2.3 ถ้า $x > X, y > Y, z > Z$ ให้ทำข้อ 3

2.2 เพิ่มพิกัดตามแนวแกน y ทีละ 1 ค่า โดยกำหนดให้ค่า $x=0$ แล้วกลับไปทำข้อ 2.1

2.3 เพิ่มพิกัดตามแนวแกน z ทีละ 1 ค่า โดยกำหนดให้ค่า $x=0$ และ $y=0$ แล้วกลับไปทำข้อ 2.3 วางกล่องที่

A_{i+1} และทำซ้ำข้อ 2 จนกว่าจะครบกล่องที่ K แล้วหยุดทำซ้ำ



รูปที่ 1 รูปตัวอย่างการจัดวางแบบทดสอบจุดตัดตามแกน (Axis Order Test: AOT)

1.2 การจัดวางแบบจุดมุม (Corner Point Placing: CPP)

De Almeida and Figueiredo (2010) ได้เสนอวิธีการวางแบบจุดมุมโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วางกล่องลำดับที่ 1 ขนาด $(x \times y \times z)$ ที่จุดพิกัดเริ่มต้น $(0,0,0)$

2. เมื่อวางกล่องแล้วจะเกิดจุดพิกัดที่เกิดจากการวางทั้งหมด 3 จุด คือ

$$(0+x_1,0,0), (0,0+y_1,0), (0,0,0+z_1)$$

3. นำจุดที่เกิดจากข้อ 2 มาเป็นพิกัดสำหรับวางกล่องถัดไป

4. ตรวจสอบจุดพิกัดที่เกิดจากการวาง (X_t, Y_t, Z_t) เพื่อวางกล่องลำดับถัดไป โดยที่ (X_t, Y_t, Z_t) คือ พิกัดที่เกิดขึ้นจากการวางกล่อง

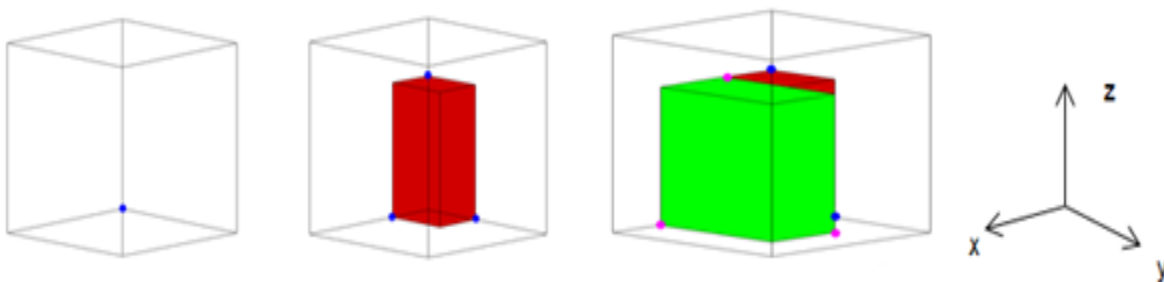
4.1 ถ้ากล่องใหม่ขนาด $(x_i \times y_i \times z_i)$ สามารถวางได้ ให้เพิ่มจุดพิกัดที่ได้จากการวางกล่องเพิ่มขึ้นอีก 3 จุด คือ $(X_t + x_i, Y_t, Z_t), (X_t, Y_t + y_i, Z_t), (X_t, Y_t, Z_t + z_i)$ และลบจุดพิกัดที่ใช้วางกล่องออกไป

4.2 ถ้ากล่องไม่สามารถวางได้ในจุดพิกัดนั้น ให้เลือกจุดพิกัดถัดไปมาทำการวาง

4.3 ถ้าจุดพิกัดที่มีทั้งหมดไม่สามารถวางกล่องได้ ให้ใช้กล่องลำดับถัดไปมาทดสอบในขั้นตอนที่ 4 อีกครั้งจน

ครบตามลำดับของกล่อง

5. สิ้นสุดขั้นตอน



รูปที่ 2 รูปตัวอย่างการจัดวางแบบจุดมุม (Corner Point Placing : CPP)

2. ระเบียบวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method)

ระเบียบวิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการจัดเรียงโดยวิธีฮิวริสติกส์สำหรับการจัดเรียงสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์มีด้วยกันหลัก ๆ 4 แบบคือ การจัดแบบจัดแล้วจัดเลย การจัดแบบวิธีการ Tabu Search อัลกอริทึมแบบพันธุกรรม

การจัดแบบอื่น ๆ โดยใช้หลักการ Dynamic Programming ซึ่งก็คือการจัดแบบจำลองอบเหนียว (ธัญธรรณ, 2561) โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาแบบจำลองอบเหนียว ซึ่งมีรายละเอียดและวิธีการในหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 แบบจำลองอบเหนียว (Simulate Annealing)

การจำลองแบบอบเหนียว (Simulate Annealing) เป็นวิธีในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นการค้นหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำซ้ำ (Iteration) จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Hanan et al., 2017) โดยจำลองพฤติกรรมของโลหะที่ได้รับความร้อนจนหลอมละลายเป็นของเหลวและได้ผลเฉลยอย่างช้า ๆ จนกระทั่งโลหะเย็นตัวและอะตอมจะเกิดการเรียงตัวจนเป็นระเบียบจนเป็นที่น่าพอใจ (Jens et al., 2010) โดยมีอัลกอริทึมของการทำงานดังต่อไปนี้

Simulate Annealing Algorithm

1. เลือกค่าเริ่มต้น x_0 ที่เหมาะสม
2. เลือกอุณหภูมิ T_0 ค่าคงที่ของ Boltzmann k และตัวคูณลด (Reduction Factor)
3. While หากค่าตอบยังไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม do
 - for จำนวนรอบของการคำนวณค่าตอบใหม่
 - เลือกค่าตอบใหม่ $x_0 + \Delta x$
 - if $f(x_0 + \Delta x) > f(x_0)$ then
 - $f_{new} = f(x_0 + \Delta x); x_0 = x_0 + \Delta x$
 - else
 - $\Delta f = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)$
 - สุ่มค่า $r(0,1)$
 - if $r > e^{(-\Delta f / kT)}$ then
 - $f_{new} = f(x_0 + \Delta x); x_0 = x_0 + \Delta x$
 - else
 - $f_{new} = f(x_0)$
 - end if
 - end if
 - $f = f_{new}$
 - end if
 - end for
 - end while

รูปที่ 3 รูปอัลกอริทึมของแบบจำลองอบเหนียว

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดสอบการจัดเรียงกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์โดยใช้ระเบียบวิธีวิวิธวิธี (SA-CPP) และการจัดวางแบบทดสอบจุดตัดตามลำดับแกน (SA-AOT) มีทั้งสิ้น 2 ปัญหาด้วยกันคือ ปัญหาของกล่องสินค้าที่นำมาบรรจุมีขนาดแตกต่างกันทั้งหมด (ปัญหาที่ 1) และปัญหาของกล่องที่มีขนาดแตกต่างกัน 6 ขนาด (ปัญหาที่ 2) โดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ปัญหาที่ 1 ตู้คอนเทนเนอร์มีขนาด 7x7x7 เมตร และมีจำนวนกล่องย่อยทั้งหมด 30 กล่องโดยที่ขนาดของกล่องสินค้าแตกต่างกันทั้ง 30 กล่อง โดยแสดงขนาดของกล่องดังตารางที่ 1

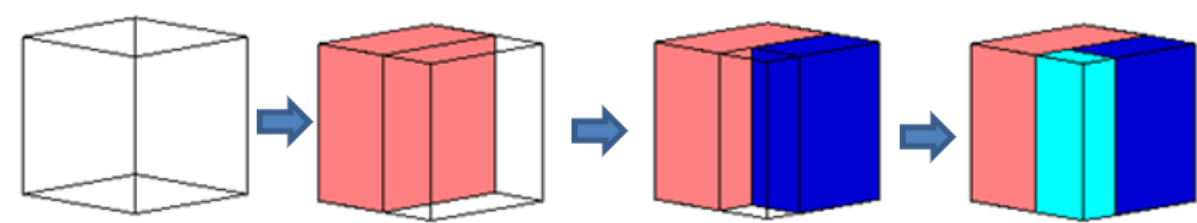
ตารางที่ 1 ตารางขนาดของกล่องย่อยทั้งหมดโดยที่ X คือความกว้าง, Y คือความยาว และ Z คือความสูง (เมตร)

กล่อง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
X	7	4	4	2	7	5	3	5	3	4	5	1	6	2	3
Y	7	5	7	3	2	6	1	6	3	3	3	1	4	3	1
Z	5	2	7	7	5	1	6	7	3	6	7	2	2	1	1
กล่อง	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
X	6	2	5	7	7	3	1	4	4	1	2	4	7	3	7
Y	7	4	6	4	1	4	7	4	7	3	6	3	4	1	6
Z	6	5	3	5	7	7	7	3	6	7	1	4	7	5	4

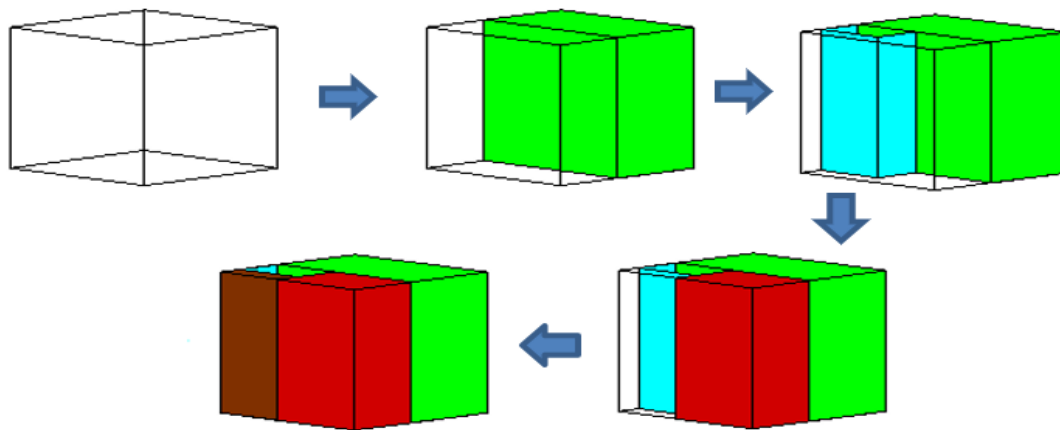
ตารางที่ 2 ตารางผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีแบบจำลองแบบอบเหนียวร่วมกับการจัดเรียงแบบการจัดวางแบบจุดมุม และการจัดวางแบบทดสอบจุดตัดตามลำดับแกน

วิธี	ปริมาตร	ลำดับการจัดเรียงกล่อง	เวลา(s)
SA-AOT	343	28, 11, 5, 9, 24, 8, 4, 12, 7, 3, 22, 16, 20, 2, 25, 19, 10, 27, 13, 15, 6, 30, 23, 29, 26, 17, 1, 18, 21, 14,	400.412
SA-CPP	343	3, 4, 21, 10, 6, 9, 18, 11, 19, 23, 29, 13, 30, 20, 27, 28, 2, 24, 16, 15, 17, 22, 5, 1, 25, 7, 12, 26, 14, 8,	37.332

หมายเหตุ: สีแดง คือกล่องที่สามารถบรรจุลงไปได้



รูปที่ 4 รูปการจัดวางแบบ SA-AOT



รูปที่ 5 รูปการจัดวางแบบ SA-CPP

ปัญหาที่ 2 ตู้คอนเทนเนอร์มีขนาด $7 \times 7 \times 7$ เมตร และมีจำนวนกล่องย่อยทั้งหมด 30 กล่องโดยที่ขนาดของกล่องสินค้ามีขนาดแตกต่างกัน 6 ขนาด คือ $3 \times 3 \times 1$, $1 \times 3 \times 1$, $2 \times 6 \times 2$, $3 \times 2 \times 4$, $3 \times 2 \times 2$ และ $4 \times 2 \times 2$ จำนวน 30 กล่อง โดยแสดงขนาดของกล่องดังตารางที่ 3

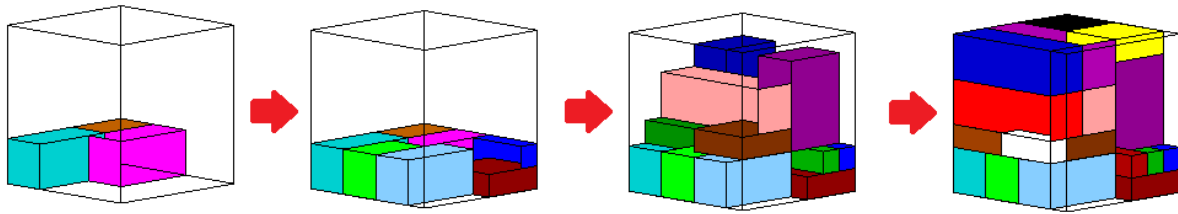
ตารางที่ 3 ตารางขนาดของกล่องย่อยทั้งหมดโดยที่ X คือความกว้าง, Y คือความยาว และ Z คือความสูง (เมตร)

กล่อง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
X	3	1	3	3	2	4	3	1	3	3	2	4	3	1	3
Y	3	3	2	2	6	2	3	3	2	2	6	2	3	3	2
Z	1	1	2	4	2	2	1	1	2	4	2	2	1	1	2
กล่อง	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
X	3	2	4	3	1	3	3	2	4	3	1	3	3	2	4
Y	2	6	2	3	3	2	2	6	2	3	3	2	2	6	2
Z	4	2	2	1	1	2	4	2	2	1	1	2	4	2	2

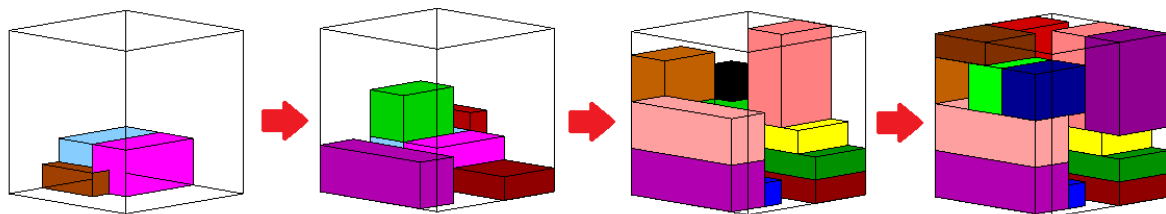
ตารางที่ 4 ตารางผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธีแบบจำลองแบบอบเหี่ยวร่วมกับการจัดเรียงแบบการจัดวางแบบจุดมุม และการจัดวางแบบทดสอบจุดตัดตามลำดับแกน

วิธี	ปริมาตร	ลำดับการจัดเรียงกล่อง												เวลา(s)
SA-AOT	300	27.	18.	6.	3.	19.	12.	2.	10.	13.	9.	29.	14.	682.57
		22.	4.	25.	5.	16.	23.	24.	20.	28.	1.	7.	26.	
		11.	17.	15.	8.	30.								
SA-CPP	292	12.	6.	26.	20.	19.	23.	15.	2.	7.	29.	13.	1.	67.234
		28.	27.	5.	22.	21.	3.	16.	8.	10.	25.	24.	11.	
		18.	9.	17.	4.	30.	14.							

หมายเหตุ: สีแดง คือกล่องที่สามารถบรรจุลงไปได้



รูปที่ 6 รูปการจัดวางแบบ SA-AOT



รูปที่ 7 รูปการจัดวางแบบ SA-CPP

การอภิปรายผล

จากงานวิจัยนี้เราได้ศึกษาและนำเสนอรูปแบบการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ โดยได้ประยุกต์ใช้วิธีแบบจำลองอบเหนียว (Simulate Annealing) โดยวิธีดังกล่าวได้นำแนวคิดมาจาก Rao and Lyengar (1994) โดยนำมาประยุกต์ใช้ต่อในเรื่องของการบรรจุกล่องสินค้าเพื่อนำเสนอให้ผู้ประกอบการขนส่ง ผู้นำเสนอได้นำเสนอปัญหาการบรรจุสินค้าลงในตู้คอนเทนเนอร์ โดยใช้วิธีแบบจำลองอบเหนียวร่วมกับรูปแบบการจัดวางแบบทดสอบจุดตัดตามแกน SA-AOT และแบบจำลองอบเหนียวร่วมกับรูปแบบการจัดวางแบบจุดมุม SA-CPP โดยนำเสนอปัญหาการบรรจุ 2 ตัวอย่างด้วยกันก็คือ ตู้คอนเทนเนอร์มีขนาด $7 \times 7 \times 7$ เมตร³ บรรจุกล่องสินค้าที่มีขนาดกล่องแตกต่างกันทั้งหมด จำนวน 30 กล่อง และตู้คอนเทนเนอร์มีขนาด $7 \times 7 \times 7$ เมตร³ บรรจุกล่องสินค้าที่มีขนาดแตกต่างกันทั้งสิ้น 6 ขนาด จำนวน 30 กล่องเช่นเดียวกันจากการทดสอบพบว่าวิธีแบบ SA-CPP ใช้เวลาในการบรรจุน้อยกว่าวิธี SA-AOT เนื่องจากวิธีการจัดวางแบบ AOT จะมีอัลกอริทึมการจัดวางที่ซับซ้อน จึงทำให้วิธีการแบบ SA-CPP เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการจัดเรียงในด้านอุตสาหกรรมขนส่งสินค้า

บทสรุป

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดวางแบบ SA-AOT และ SA-CPP ทั้ง 2 แบบให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในด้านของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล การนำวิธีการจัดวางแบบ SA-AOT สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ไม่มีความเร่งด่วนทางด้านเวลาและใช้ในการประมวลผลที่มีแม่นยำระดับสูง ส่วนวิธีการจัดวางแบบ SA-CPP สามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการผลที่รวดเร็วและใช้ในการประมวลผลที่มีแม่นยำระดับปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ และมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน

เอกสารอ้างอิง

- ธัญญธรณ์ ทองรีว. (2561). วิธีการทางฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเรียงสินค้าลงตู้สินค้า. วิทยานิพนธ์หลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- De A.A. and Figueiredo M.B. (2010). A particular approach for the three-dimensional packing problem with additional constraints. Computers and Operations Research. 37(11): 1968-1976.
- Hanan M.G., Bryan G.A. and Walid A.K. (2017). Three-dimensional container loading: A simulated annealing approach. International Journal of Applied Engineering Research. 12(7): 1290-1304.
- Jens E., Claudio G., Stefano L. and David P. (2010). Heuristics for container loading of furniture. 200: 881-892.
- Rao R.L. and Lyengar S.S. (1994). Bin-packing by simulated annealing. International Journal of Applied Engineering Research. 27(5): 71-82.