

การแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่องเชิงพลวัต โดยใช้เมตาฮิวริสติก

METAHEURISTICS FOR THE DISCRETE DYNAMIC BERTH ALLOCATION PROBLEM

ธนภัทร มณีแสง

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail : idul_nazgul@hotmail.com

ขวัญนิธิ คำเมือง

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ (Berth Allocation Problem) เป็นการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือซึ่งจัดว่าเป็นกระบวนการที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการทำงานของท่าเรือ และหากมีการจัดการการเทียบท่าที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมากได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาดังกล่าว โดยพิจารณาว่าเวลาในการขนถ่ายสินค้าของเรือแต่ละลำขึ้นอยู่กับจำนวนเครนที่ถูกมอบหมายให้ทำงานบนเรือลำนั้น และมีเป้าหมายที่จะหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด อันได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการรอคอยเทียบท่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนถ่าย ค่าปรับจากความล่าช้า และ ค่าตอบแทนที่ได้รับจากการขนถ่ายเร็วกว่ากำหนด วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics) ได้แก่ การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) และการค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Search) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาคำตอบ และมีการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีดังกล่าว

คำหลัก : การจัดสรรท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่อง วิธีค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน เมตาฮิวริสติก

ABSTRACT

The aim of Berth Allocation Problem (BAP) is to optimally assign arrival vessels to quay area in both temporal and spatial aspects. Efficiency of container terminal operation depends largely on berth allocation process. Additionally, if the allocation is not properly planned it could lead to high operating cost. This paper studied BAP with the objective of minimizing operating costs; namely handling cost, waiting cost, lateness cost and earliness benefit. To reflect more realistic situation, we consider the case where handling time of each ship is corresponded to the number of quay crane assigned to it. Metaheuristics, namely Local Search and Variable Neighborhood Search were proposed to solve the problem. Experiments were conducted to evaluate the performance of such approaches.

KEYWORDS : Discrete Dynamic Berth Allocation, Variable Neighborhood Search, Metaheuristics

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ในโลกของธุรกิจได้มีการแข่งขันที่สูงมาก เนื่องจากคู่แข่งทั้งในประเทศและต่างประเทศมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องปรับตัวและพัฒนาคุณภาพสินค้าของตนเองอย่างต่อเนื่อง แต่ก็ต้องคำนึงถึงวิธีการที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด เพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการขนส่งจึงมีผลอย่างมากต่อต้นทุน ดังนั้นจึงต้องมีการประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มากที่สุด เช่น การขนส่งแต่ละครั้งต้องสามารถขนส่งสินค้าได้คราวละจำนวนมาก เพื่อที่จะลดต้นทุนต่อหน่วยลง การขนส่งทางทะเลเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากจัดว่าเป็นประเภทการขนส่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยที่เชื้อเพลิง 1 ลิตรสามารถขนส่งสินค้าได้มากกว่าวิธีการขนส่งรูปแบบอื่น

ปัญหาการจัดสรรท่าเรือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงในกรณีที่มีเรือและท่าเรือจำนวนมากจะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในระยะเวลาอันสั้น ถ้าหากใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์กับปัญหาดังกล่าว อาจจะต้องใช้เวลาในการหาคำตอบ นักวิจัยส่วนใหญ่จึงหันไปใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณ โดยมีรูปแบบในการหาคำตอบแบบสุ่มซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์มาก แต่คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่อาจจะใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดและในบางครั้งก็สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เช่นกัน วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics) เป็นสาขาหนึ่งของวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และความซับซ้อนสูง มีกระบวนการค้นหาคำตอบที่อยู่ใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบันและใช้พัฒนาคำตอบให้ดีขึ้นโดยอาศัยย่านคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood) รวมถึงความสามารถในการค้นหาคำตอบโดยการหลีกเลี่ยงไม่ให้คำตอบไปติดอยู่ที่คำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใกล้เคียง (Local Optimum)

2. ทบทวนวรรณกรรม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือ ลักษณะของปัญหาคือ เมื่อมีเรือขนส่งสินค้าเข้ามาเทียบท่าในท่าเรือ ท่าเรือจะต้องมีการจัดสรรพื้นที่ว่าง

ให้กับเรือและกำหนดลำดับการเทียบท่าให้กับเรือ Bierwirth and Mesel (1) ได้ทำการแบ่งลักษณะของปัญหาการดำเนินการในท่าเรือ ซึ่งมีการแบ่งคุณสมบัติตามเงื่อนไข ข้อจำกัดและรูปแบบในการพิจารณา ซึ่งสามารถแบ่งคุณสมบัติของพื้นที่ออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ แบบผังไม่ต่อเนื่อง (Discrete Layout) ซึ่งท่าเรือจะถูกแบ่งเป็นส่วนๆ เงื่อนไขของท่าเรือลักษณะนี้คือเรือหนึ่งลำสามารถเทียบท่าได้เพียงท่าเดียวเท่านั้น แบบผังต่อเนื่อง (Continuous Layout) ท่าเรือไม่มีการแบ่งท่าเทียบเรือเป็นส่วนเรือสามารถจอดได้ทุกที่ภายในขอบเขตของท่าเรือ แบบผังผสม (Hybrid layout) มีความคล้ายคลึงกับแบบผังไม่ต่อเนื่อง โดยจะมีการกำหนดตำแหน่งของท่าเทียบเรือเป็นส่วนๆ ชัดเจน แต่ถ้าหากมีเรือขนาดใหญ่กว่าท่าเทียบเรือเข้ามา ท่าเรือจะอนุญาตให้เรือลำดังกล่าวสามารถจอดได้มากกว่าหนึ่งท่าเทียบเรือ ขณะที่เรือขนาดเล็กก็สามารถร่วมแชร์พื้นที่กับเรือขนาดใหญ่ได้เช่นกัน Imci, et al. (2) ได้ทำการศึกษาท่าเรือที่มีลักษณะของแบบผังไม่ต่อเนื่องโดยที่รูปแบบของเวลาการมาถึงเป็นแบบสถิติ มีการกำหนดเงื่อนไขของปัญหาให้ ณ เวลาเริ่มต้นของการดำเนินงาน เรือทุกลำจะจอดรอเตรียมพร้อมอยู่ที่ท่าเรืออยู่แล้วสามารถดำเนินงานได้ทันทีและได้มีการศึกษาว่าในการใช้กฎ การจัดลำดับแบบมาก่อนทำก่อน (First Come First Served FCFS) อาจส่งผลให้เรือไม่พอใจในการให้บริการเนื่องจากความล่าช้า จึงได้เสนอประยุกต์ใช้การจัดลำดับแบบฮังการี (Hungarian Method) เพื่อใช้ในการหาผลลัพธ์ วัตถุประสงค์เพื่อลดการรอคอยและเวลาการขนถ่ายของเรือ จากการทดลองพบว่าวิธีการจัดลำดับแบบฮังการีมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้กฎ FCFS ข้อเสียคือสถานการณ์ของงานวิจัยชิ้นนี้ ไม่คล้ายกับสถานการณ์จริง เพราะในความเป็นจริงเรือมักจะมาถึงท่าเรือไม่พร้อมกัน นักวิจัยส่วนใหญ่จึงกำหนดเงื่อนไขให้เรือแต่ละลำมาถึงท่าเรือไม่พร้อมกัน ดังนั้นเรือจึงจำเป็นต้องเดินทางมาถึงท่าเรือก่อนถึงจะดำเนินงานได้ Imci, et al. (3) ได้ศึกษาในท่าเรือกับวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการรอคอยและเวลาในการดำเนินงาน โดยได้ทำการสร้างแบบจำลองการวางแผนทางคณิตศาสตร์ที่มีรูปแบบของเวลาการมาถึงแบบสถิติขึ้นมาก่อน จากนั้นได้มีการอธิบายว่าถ้าหากมีเรือเพิ่มเข้ามาในปัญหารูปแบบสถิติ อาจทำให้ประสิทธิภาพของแผนการจัดสรรท่าเรือแย่ลง จึงมีการเพิ่มเงื่อนไขว่าเรือทุกลำมีเวลามาถึงที่แน่นอน ไม่สามารถเข้าเทียบท่าก่อนเวลาการมาถึงได้

วิธีการลากรองจ์รีแล็กซ์เซชัน (Lagrangian Relaxation) ถูกประยุกต์ใช้กับปัญหาดังกล่าวและจากการทดลองพบว่าสามารถใช้เวลาเพียงไม่นานก็สามารถแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือขนาดกลางได้ ในปัญหาที่มีลักษณะเดียวกัน Hansen and Oğuz (4) ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการณจำนวนเต็มผสม (Mix Integer Programming MIP) ผลทดลองพบว่าสามารถแก้ได้เพียงปัญหาขนาดกลางเท่านั้น หากมีการเพิ่มขนาดของปัญหาเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะมากกว่าเวลาที่กำหนด ในงานวิจัยดังกล่าวได้มีการพิจารณาค่าใช้จ่ายร่วมกับการแก้ปัญหาที่คล้ายกัน แต่มีการเพิ่มเติมตัววัดประสิทธิภาพในวัตถุประสงค์ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายเนื่องจากเวลาการรอคอย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนถ่ายสินค้า ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเทียบท่าคลาดเคลื่อนกับตำแหน่งที่ต้องการ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความล่าช้าและสุดท้ายที่ได้รับจากการขนถ่ายเสร็จสิ้นก่อนกำหนดเวลา โดยใช้ MIP ในการหาผลลัพธ์ ภายในเวลาที่กำหนดสามารถแก้ปัญหาได้เพียงปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่มากขึ้น ได้มีการใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาซึ่งประกอบไปด้วย Variable Neighborhood Search (VNS) Heuristic Multi Start (MS) Genetic Search Algorithm (GA) และ Memetic Algorithm (MA) และได้นำผลลัพธ์ของวิธีการเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับ พบว่าวิธี VNS สามารถแก้ปัญหาได้ดีกว่าวิธี MS GA และ MA

3. ลักษณะของปัญหา

ในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการพัฒนามาจากปัญหาการจัดสรรท่าเรือของ Hansen and Oğuz (4) โดยเพิ่มการพิจารณาจำนวนครanesที่จะกำหนดให้เรือแต่ละลำ ลักษณะแบบผังไม่ต่อเนื่องเรือทุกลำมีเวลามาถึงที่แน่นอนและไม่สามารถเข้าเทียบท่าก่อนเวลาการมาถึงได้ วัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการดำเนินการในท่าเรือที่ ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากเวลาการรอคอย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนถ่ายสินค้า ค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากในกรณีที่เรือออกเดินทางล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนดและค่าตอบแทนที่ได้รับเนื่องจากเรือออกเดินทางเร็วกว่าเวลาที่กำหนด

สัญลักษณ์ของตัวแปรและพารามิเตอร์

กำหนดให้

- S_i = เวลาที่เรือ i เริ่มต้นขนถ่ายสินค้า
- a_i = เวลาการมาถึงของเรือ i
- BB_i = ท่าเทียบเรือที่เรือ i ต้องการจอด จะเป็นตำแหน่งที่ใช้เวลาในการขนถ่ายน้อยที่สุด
- B_i = ท่าเทียบเรือที่เรือ i ถูกกำหนดให้ไปเทียบท่า
- H_i = เวลาในการขนถ่ายของเรือ i โดยใช้เครน 1 เครน และจอดในท่าเทียบเรือที่ต้องการ
- RH_i = เวลาการขนถ่ายจริงของเรือ i
- NC_i = จำนวนครanesที่ท่าเรือจัดสรรให้เรือ i

เวลาการขนถ่ายของเรือแต่ละลำจะถูกกำหนดไว้แล้ว แต่ในการดำเนินการจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาการขนถ่าย ดังสมการที่ 1

$$RH_i = \frac{H_i + H_i \times (0.2 \times |BB_i - B_i|)}{NC_i} \quad (1)$$

- DD_i = กำหนดเวลาที่เรือจะต้องเดินทางออกจากท่า
- CH = ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายสินค้า (บาท/ชั่วโมง)
- CW = ค่าใช้จ่ายในการรอคอยการขนถ่าย (บาท/ชั่วโมง)
- CL = ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการไม่สามารถขนถ่ายเสร็จสิ้นภายในกำหนดเวลา (บาท/ชั่วโมง)
- BE = ค่าตอบแทนที่ได้รับจากการขนถ่ายเสร็จสิ้นก่อนกำหนดเวลา (บาท/ชั่วโมง)

จากสัญลักษณ์ข้างต้นสามารถเขียนวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ต่ำที่สุดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Total\ Cost = & CH(RH_i) + CW(S_i - A_i) \\ & + CL(Max(S_i + RH_i - DD_i, 0)) \\ & - BE(Max(DD_i - S_i - RH_i, 0)) \end{aligned} \quad (2)$$

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ท่าเทียบเรือ 1 ท่าสามารถให้บริการเรือได้เพียง 1 ลำเท่านั้น ณ เวลาใดๆ
2. ไม่มีการพิจารณาเงื่อนไขในเรื่องข้อจำกัดทางธรรมชาติที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่และข้อจำกัดด้านเทคนิคของเรือ เช่น เรือสามารถเทียบท่าได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงความลึกของน้ำ
3. เมื่อท่าเรือให้บริการเรือลำปัจจุบันเสร็จสิ้น ท่าเรือ

สามารถให้บริการเรือลำถัดไปได้ทันทีโดยไม่มีภาระหยุดชะงักของท่าเรือ

4. เรือทุกลำไม่จำเป็นต้องเดินทางมาถึงท่าเรือพร้อมกัน และท่าเรือจะสามารถให้บริการเรือได้ก็ต่อเมื่อ เรือลำนั้นเดินทางมาถึงท่าเรือแล้วเท่านั้น

5. ไม่มีภาระพิจารณาเงื่อนไขจากปัญหาพื้นที่เก็บตู้คอนเทนเนอร์และพื้นที่ขายฝั่ง

6. เวลาในการขนถ่ายของเรือจะขึ้นอยู่กับจำนวนของคอนและตำแหน่งในการเทียบท่า

7. ถ้าหากคอนกำลังให้บริการกับเรือลำปัจจุบันอยู่ เนื่องจากการขนถ่ายยังไม่เสร็จสิ้น คอนตัวนั้นไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปให้บริการเรือลำอื่นได้และคอนตัวอื่นก็ไม่สามารถเข้ามาให้บริการเรือลำดังกล่าวได้เช่นกัน

8. คอนทุกตัวมีประสิทธิภาพในการขนถ่ายเท่ากัน

9. ณ เวลานั้นๆ ท่าเรือไม่สามารถใช้คอนรวมกันเกินกว่าจำนวนคอนทั้งหมดที่มีอยู่ได้

เวลาการขนถ่าย

จากการกำหนดสัญลักษณ์ เวลาในการขนถ่ายที่แท้จริงของเรือ (RH_i) จะขึ้นอยู่กับสองปัจจัยได้แก่

1. เรือแต่ละลำจะถูกกำหนดไว้ว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของการเทียบท่า (BB_i) แต่หากท่าที่เรือเทียบท่าจริง (B_i) มีระยะห่างเป็นจำนวนท่าเทียบเรือที่ห่างจาก BB_i จะเสียเวลาในการขนถ่ายเพิ่มขึ้นอีก 20% ของเวลาขนถ่ายที่น้อยที่สุด (H_i) ต่อหนึ่งท่าเทียบเรือที่ห่างออกไป โดยถ้ามีการเทียบท่าห่างไปจาก

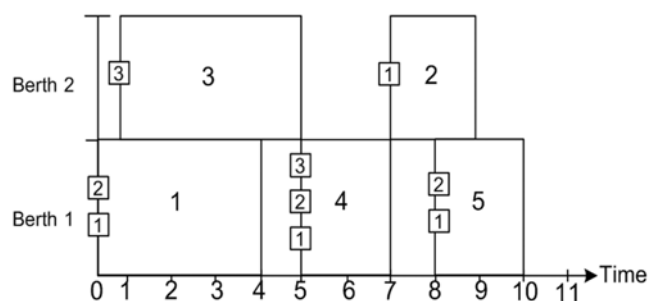
2. ขึ้นอยู่กับจำนวนของคอนที่กำหนดให้เรือ ดังแสดงในสมการ (1)

ตัวอย่างของปัญหา

ตารางที่ 1 ตัวอย่างโจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือ

NO.	a_i	S_i	NC_i	DD_i	Cost			
					CH	CW	CL	BE
1	0	4	2	6	150	250	350	250
2	3	2	1	7	120	300	300	150
3	1	4	1	6	300	250	400	230
4	2	2	3	4	250	200	350	150
5	8	2	2	12	200	150	320	200

ตาราง 1 แสดงข้อมูลสำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือ ซึ่งในท่าเรือมีท่าเรือจำนวน 2 ท่าเรือ เรือจำนวน 5 ลำและคอนจำนวน 3 คอนลำดับในการเทียบท่าจะใช้กฎ FCFS หลังจากท่าเรือมาถึงท่าเรือแล้วสามารถเข้าเทียบท่าได้ทันทีเมื่อท่าเรือว่าง ลักษณะของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบง่ายโดยทั่วไปนิยมแสดงผลของปัญหา การจัดสรรท่าเรือนิยมแสดงผลโดยใช้กราฟ ซึ่งให้แกน x แสดงเวลาและแกน y แสดงจำนวนท่าเรือ เรือหมายเลข 1 จอดรอเทียบท่าในท่าเรืออยู่แล้ว ในขณะที่นั้นท่าเรือทั้ง 2 ท่าเรือว่างอยู่ เรือสามารถเทียบท่าในท่าเรือใดก็ได้ทางท่าเรือได้กำหนดคอนให้กับเรือหมายเลข 1 เป็นจำนวน 2 คอนจากคอนทั้งหมด 3 คอน ทำให้เหลือคอนจำนวน 1 คอนสำหรับเรือในลำดับถัดไป เรือหมายเลข 3 มาถึงท่าเรือในช่วงเวลาที่ 1 ตรวจสอบแล้วพบว่าท่าเรือที่ 2 ว่าง จากนั้นตรวจสอบคอนพบว่าในขณะนั้นมีคอนเพียงพอสำหรับเรือหมายเลข 3 ดังนั้นเรือหมายเลข 3 สามารถเทียบท่าได้ทันที เรือหมายเลข 4 มาถึงท่าเรือในช่วงเวลาที่ 2 แต่ไม่สามารถเทียบท่าได้เนื่องจากท่าเรือไม่ว่างและจำนวนคอนที่เหลือมีไม่เพียงพอ จึงต้องเทียบท่าในช่วงเวลาที่ 5 ส่งผลให้ออกจากท่าเรือช้ากว่าที่กำหนด นอกจากต้องจ่ายคนขนถ่ายปกติแล้ว กรณีดังกล่าวทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากเวลาการรอคอยและค่าปรับเนื่องจากเรือเดินทางออกจากท่าเรือช้ากว่าเวลาที่กำหนด ทำตามขั้นตอนจนกว่าจะครบทุกลำและได้แผนการจัดสรรท่าเรือและจัดสรรคอนให้กับเรือทุกลำดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างการจัดสรรท่าเรือ

4. วิธีการหาคำตอบ

ปัญหาการจัดสรรท่าเรือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงสำหรับปัญหาในงานวิจัยขึ้นนี้มีการพัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดย บัทมา บัรรอด และอรุณโรจน์ เริงเขา (5) แต่ในเวลาที่กำหนดไว้สามารถหาคำตอบได้เพียงในปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้สำหรับหาคำตอบที่ดีที่สุดแต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบปรับปรุงคำตอบตั้งแต่ครั้งแรก แบบปรับปรุงคำตอบที่ดีที่สุดโดยทั้งสองวิธีจะมีการใช้โครงสร้างย่านคำตอบใกล้เคียง 3 รูปแบบและมีการใช้วิธีค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผันอีก 3 รูปแบบ ได้แก่ เบสิควาเรียเอเบิลเนเบอร์ฮูดเซทิเดสเซนต์ (Basic Variable Neighborhood Descent VND) เบสิควาเรียเอเบิลเนเบอร์ฮูดเซทิเดสเซนต์มัลติสตาร์ท (Basic Variable Neighborhood Descent Multi Start MSVND) รีดิวาเรียเอเบิลเนเบอร์ฮูดเซทิเดสเซนต์ (Reduce Variable Neighborhood Search RVNS)

การสร้างตัวแทนคำตอบ

1. ตัวแทนคำตอบของการจัดสรรท่าเรือให้กับเรือเริ่มจากการกำหนดหมายเลขตามจำนวนเรือและเก็บไว้ในตัวแทนของคำตอบดังรูปที่ 2 ตัวแทนของคำตอบจะเป็นตัวกำหนดลำดับการเทียบท่าของแต่ละท่าเรือ ตัวอย่างเช่น เรือหมายเลข 2 เข้าเทียบท่าเป็นลำดับที่ 1 ในท่าเรือที่ 1 เรือหมายเลข 3 และ 1 เข้าเทียบท่าเป็นลำดับถัดไปตามลำดับ หมายเลขศูนย์จะทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งระหว่างท่าเรือ ดังนั้นในท่าเรือที่ 2 เรือหมายเลข 6 จะได้ขนถ่ายเป็นเรือลำแรกและตามด้วยเรือหมายเลข 4 5 และ 7 ตามลำดับ

2. ตัวแทนคำตอบของการจัดสรรจำนวนครนให้กับเรือเริ่มจากการกำหนดจำนวนของครนเพื่อจัดสรรให้กับเรือแต่ละลำ เช่น เรือหมายเลข 2 ได้รับการจัดสรรให้ใช้ครน 2 ตัวในการขนถ่ายในขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงตัวแทนคำตอบของครน

Representation

Berth	2	3	1	0	6	4	5	7
Cranes	3	2	3	1	2	1	1	

รูปที่ 2 ตัวอย่างการจัดสรรท่าเรือ

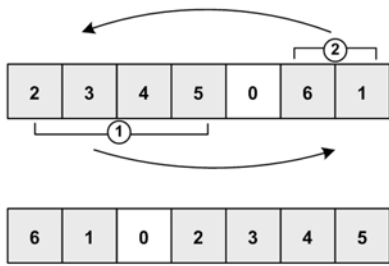
การปรับปรุงคำตอบย่านคำตอบใกล้เคียง

เมื่อได้ตัวแทนคำตอบเริ่มต้นจากการสุ่ม ลำดับถัดไปจะเป็นการปรับปรุงคำตอบโดยอาศัยโครงสร้างย่านคำตอบใกล้เคียง 3 รูปแบบดังนี้

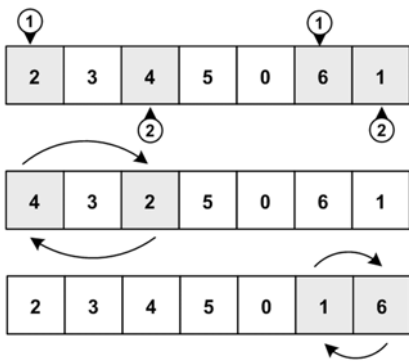
1. NH_1 สลับลำดับการขนถ่ายของเรือทุกลำระหว่างท่าเรือให้ SB_k เป็นเซตลำดับของเรือที่ถูกกำหนดให้เทียบท่าที่ท่าเทียบเรือ k ($k=1, \dots, m$) ทำการสลับที่ระหว่าง SB_k กับ SB_l โดยที่ $l \neq k \forall k, l$ ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 3 การค้นหาคำตอบในพื้นที่คำตอบใกล้เคียงคือการนำลำดับการทำงานของเรือทั้งหมดในท่าเรือที่ 1 สลับกับลำดับการทำงานของเรือทั้งหมดในท่าเรือที่ 2

2. NH_2 สลับลำดับการขนถ่ายภายในท่าเรือกำหนดให้ $a, b \in SB_k$ โดยที่ $a \neq b$ ทำการสลับตำแหน่งระหว่าง a กับ $b \forall a, b, k$ ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 4 ทำการสุ่มลำดับการเทียบท่าภายในท่าเรือที่ 1 ขึ้นมา 2 ตำแหน่ง จากนั้นทำการสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่สุ่มมาได้ ดังนั้นถ้าหากท่าเรือทั้ง 2 ท่าเรือ ก็จะได้คำตอบในพื้นที่คำตอบใกล้เคียง 2 คำตอบ

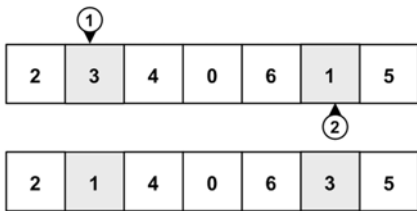
3. NH_3 สลับลำดับการขนถ่ายระหว่างท่าเรือกำหนดให้ $c \in SB_k$ และ $d \in SB_l$ โดย $k \neq l$ ทำการสลับตำแหน่งระหว่าง c และ $d \forall c, d, k, l$ เช่น ในรูปที่ 5 สุ่มลำดับการเทียบท่าภายในท่าเรือที่ 1 และท่าเรือที่ 2 ขึ้นมาท่าเรือละ 1 ตำแหน่ง จากนั้นทำการสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่สุ่มมาได้



รูปที่ 3 ตัวอย่างการค้นหาคำตอบในโครงสร้างพื้นที่คำตอบ
ใกล้เคียงที่ 1



รูปที่ 4 ตัวอย่างการค้นหาคำตอบในโครงสร้างพื้นที่คำตอบ
ใกล้เคียงที่ 2



รูปที่ 5 ตัวอย่างการค้นหาคำตอบในโครงสร้างพื้นที่คำตอบ
ใกล้เคียงที่ 3

เมตาสวิรสติคที่นำมาใช้ในการหาคำตอบ

ในหัวข้อนี้กำหนดให้ $NH_k(x)$ แทนพื้นที่คำตอบ
ใกล้เคียงของคำตอบ x และให้ $TC(x)$ แทนค่าใช้จ่ายรวมที่ได้
จากคำตอบ x

1. วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบปรับปรุงคำตอบที่ดีที่สุด
แบบมัลติสตาร์ท (Local Search Best improvement Multi
Start MSLCB) เป็นวิธีการที่ต้องค้นหาคำตอบทั้งหมดในพื้นที่

คำตอบใกล้เคียง แล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียว
เพื่อมาแทนค่าคำตอบเดิมทำซ้ำจนกว่าค่าคำตอบจะไปติดที่ค่า
คำตอบที่ดีที่สุดของย่านคำตอบใกล้เคียง แล้วจึงทำการสุ่มหา
คำตอบใหม่ ทำเช่นนี้จนกระทั่งถึงเงื่อนไขในการหยุดหาคำตอบ

2. วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบปรับปรุงคำตอบตั้งแต่
ครั้งแรก (Local Search First Improvement LCF) เป็นวิธีการ
ค้นหาโดยไม่ตรวจสอบว่าตำแหน่งไหนให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด
ในโครงสร้างของพื้นที่คำตอบใกล้เคียง แต่จะสุ่มคำตอบมาเพียง
ตำแหน่งเดียว แล้วตรวจสอบว่าตำแหน่งนี้ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า
ตำแหน่งเดิมหรือไม่ ถ้าหากไม่ดีกว่าตำแหน่งเดิมก็ทำการสุ่มหา
ตำแหน่งของค่าคำตอบใหม่

สำหรับวิธี MSLCB และ FCB นั้นจะทำทีละโครงสร้าง
ย่านคำตอบใกล้เคียงจนครบทั้งสามโครงสร้างดังนั้นจะมีวิธีการหา
คำตอบเป็น MSLCB -NH1 MSLCB -NH2 MSLCB -NH3 FCB-
NH1 FCB-NH2 และ FCB-NH3

3. เบสิควารีเอเบิลเนเบอร์ฮูดเซิร์ช (VND) เป็นวิธี
ที่พัฒนามาจาก LCB เพื่อแก้ปัญหากรณีที่ค่าคำตอบมักจะไป
ติดค่าคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใกล้เคียง โดยอาศัย ฟังก์ชัน
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นที่คำตอบใกล้เคียงมีเป้าหมายเพื่อ
หลีกเลี่ยง ไม่ให้คำตอบไปติดค่าคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใกล้เคียง
เดิม โดยมีวิธีการหาคำตอบดังนี้

- ขั้นที่ 1 กำหนดคำตอบเริ่มต้น x กำหนดให้ $k=1$
- ขั้นที่ 2 หาคำตอบที่ดีที่สุด x' จาก $NH_k(x)$ ถ้า
 $TC(x') < TC(x)$ ให้ $x \leftarrow x'$ และกำหนดให้ $k=1$ แต่ถ้า
 $TC(x') \geq TC(x)$ กำหนดให้ $k=k+1$
- ขั้นที่ 3 ถ้า $k < 3$ ให้ย้อนกลับไปทำขั้นที่ 2 แต่ถ้า
 $k=3$ หยุดการคำนวณ

4. ริตวิซวารีเอเบิลเนเบอร์ฮูดเซิร์ช (RVND)
มีวัตถุประสงค์ เดียวกันกับ VND คือเพื่อแก้ปัญหากรณีที่ค่า
คำตอบมักจะไปติดค่าคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใกล้เคียง แต่จะ
แตกต่างจาก VND คือการหาค่าคำตอบจะไม่ค้นหาทุกตำแหน่ง
เพียงแต่ทำการสุ่มคำตอบใหม่เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบ
เดิมหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือวิธีการ RVNS พัฒนามาจาก FCB
โดยการเพิ่มฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพื้นที่คำตอบใกล้เคียง
วิธีการหาคำตอบแตกต่างจากวิธี VND ในขั้นที่ 2 คือการหาค่า
 x' โดยการสุ่มคำตอบหนึ่งคำตอบจาก $NH_k(x)$

5. วารีโอเบิ้ลเนเบอร์ฮูดเซทิทีเซนต์มัลติสตาทส์ (MSVND) จากวิธีการทำงานของ VND จะเห็นได้ว่าการหยุดการทำงานจะเกิดขึ้นเมื่อไม่สามารถหาคำตอบที่ดีขึ้นจากทุกพื้นที่คำตอบใกล้เคียงทำให้ไม่สามารถปรับปรุงคำตอบได้อีก วิธีการ MSVND เป็นการพัฒนาจาก VND โดยหากไม่สามารถปรับปรุงคำตอบได้อีกแล้ว จะมีการสุ่มหาคำตอบเริ่มต้นใหม่จนกระทั่งถึงเงื่อนไขการหยุดการทำงาน วิธีการทำงานของ MSVND สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดคำตอบเริ่มต้น x กำหนดให้ $k = 1$

ขั้นที่ 2 หาคำตอบที่ดีที่สุด x' จาก $NH_k(x)$ ถ้า $TC(x') < TC(x)$ ให้ $x \leftarrow x'$ และกำหนดให้ $k = 1$ แต่ถ้า $TC(x') \geq TC(x)$ กำหนดให้ $k = k + 1$

ขั้นที่ 3 ถ้า $k < 3$ ให้ย้อนกลับไปทำขั้นที่ 2 แต่ถ้า $k = 3$ ให้สุ่มค่า x ใหม่แล้วย้อนกลับไปทำขั้นที่ 2 จนกระทั่งถึงเงื่อนไขการหยุดการทำงาน

ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้นำขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบโดยวิธีการเมตาฮิวริสติกไปเขียนชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Python 3.2.2 และทดสอบการค้นหาค่าผลลัพธ์ด้วยคอมพิวเตอร์รุ่น Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU E6550 @ 2.33 GHz Ram 1 GB. ซึ่งได้แบ่งปัญหาเป็น 3 ขนาดประกอบด้วยขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ แต่ละขนาดแบ่งออกเป็น 3 ข้อ โดยที่ขนาดใหญ่ที่สุดมีท่าเรือจำนวน 7 ท่าเรือและเรือจำนวน 10 ลำ แต่ละข้อได้ทำการทดลองค้นหาค่าผลลัพธ์จำนวน 10 ครั้ง จากนั้นบันทึกค่าใช้จ่ายที่ต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ย ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 3 และ 4 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขการหยุดการทำงานเป็นจำนวนคำตอบที่พิจารณาครบ 1000 คำตอบ

ตารางที่ 2 ผลการทดลองปัญหาการจัดสรรท่าเรือขนาดเล็ก

	ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1			ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2			ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3		
	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max
MSLCBNH1	8,672	11,064	14,292	14,943	21,380	26,769	25,140	32,641	42,945
MSLCBNH2	6,904	9,719	12,296	17,691	20,148	25,362	24,586	33,048	44,028
MSLCBNH3	7,792	9,396	12,052	14,886	20,504	27,767	28,071	31,590	38,562
LCFNH1	8,768	13,324	21,074	25,163	31,046	39,449	28,424	47,057	55,955
LCFNH2	9,672	14,264	18,724	25,613	31,451	39,222	31,178	48,673	75,194
LCFNH3	7,788	10,845	14,313	16,900	22,982	29,076	22,758	30,196	39,525
RVND	9,210	10,313	12,586	17,390	20,278	24,524	27,343	32,836	41,021
VND	7,930	9,892	11,928	22,788	28,121	40,787	32,612	39,934	53,552
MSVND	7,412	9,251	10,320	15,273	19,508	24,456	26,814	31,303	35,896

ตารางที่ 3 ผลการทดลองปัญหาการจัดสรรท่าเรือขนาดกลาง

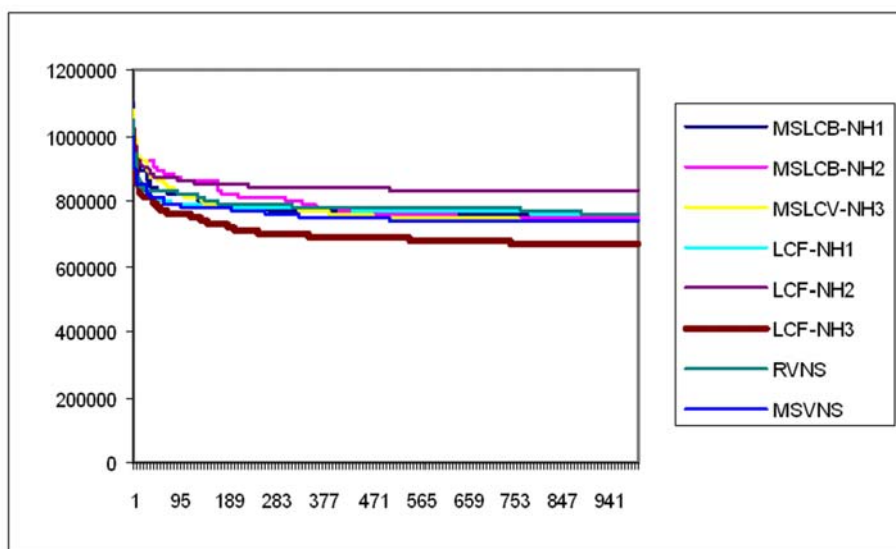
	ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1			ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2			ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 3		
	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max
MSLCBNH1	74,334	81,411	89,595	99,026	109,587	122,916	208,923	240,289	253,251
MSLCBNH2	68,336	87,585	112,280	101,057	113,340	133,492	220,384	248,107	274,776
MSLCBNH3	73,636	84,650	96,978	103,162	112,577	122,591	211,166	239,115	262,425
LCFNH1	80,635	101,544	124,262	114,214	131,759	160,643	229,529	281,700	323,493
LCFNH2	85,729	118,043	143,016	114,433	140,939	170,220	210,745	279,401	371,231
LCFNH3	69,603	73,664	82,943	87,277	101,353	109,476	171,185	211,963	242,174
RVND	78,178	86,986	100,405	103,933	110,790	119,977	196,625	242,762	295,278
VND	77,478	92,450	115,647	89,252	118,211	165,516	242,409	266,114	290,474
MSVND	68,330	81,845	86,514	89,432	99,357	111,125	214,537	228,203	238,691

ตารางที่ 4 ผลการทดลองปัญหาการจัดสรรท่าเรือขนาดใหญ่

	ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1			ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2			ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 3		
	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max
MSLCBNH1	455,343	474,827	516,064	654,702	743,530	798,782	720,506	750,638	793,187
MSLCBNH2	479,225	526,164	586,210	774,438	809,804	864,186	695,714	753,012	800,485
MSLCBNH3	426,202	477,924	510,186	663,069	743,820	800,359	660,138	736,295	788,421
LCFNH1	486,376	564,189	783,253	749,016	799,352	847,073	717,326	760,314	826,095
LCFNH2	529,180	587,486	694,530	672,869	822,475	932,286	730,504	826,310	960,348
LCFNH3	380,373	448,138	510,748	606,557	678,918	724,506	557,157	664,554	744,470
RVND	472,952	492,993	534,752	709,584	745,758	789,732	692,001	755,617	821,464
VND	430,864	499,331	550,970	640,745	755,514	919,754	614,869	721,999	899,922
MSVND	435,436	466,459	484,898	632,355	708,839	762,924	654,961	694,611	752,048

การทดลองเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีเมตาฮิวริสติก ที่ประกอบไปด้วย 5 วิธีได้แก่ MSLCB LCF VND MSVND และ RVND โดยภาพรวมแล้ววิธีที่สามารถหาค่าใช้จ่ายในการจัดสรรท่าเรือเฉลี่ยได้ต่ำที่สุดคือ LCF-NH3 แต่เป็นที่น่าสังเกตคือ ในปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 2 และขนาดกลางข้อที่ 2 MSVND สามารถหาคำตอบที่ดีกว่า LCF-NH3

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายการดำเนินการในท่าเรือและรอบการคำนวณ ได้แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบแนวโน้มการปรับปรุงคำตอบที่ดีที่สุดของเมตาฮิวริสติก พบว่าวิธีที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วคือวิธีการ LCF-NH1 และ LCF-NH2 แต่ผลลัพธ์ที่ได้โดยภาพรวมแยกว่าวิธีการอื่น เนื่องจากรูปแบบย่านคำตอบใกล้เคียงของ LCF-NH1 และ LCF-NH2 ให้ความหลากหลายของคำตอบได้น้อยต่างจาก วิธีการ LCF-NH3 ที่มีแนวโน้มในการหาคำตอบที่ดีกว่าเพราะรูปแบบย่านคำตอบ



รูปที่ 6 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายการดำเนินการในท่าเรือและรอบการคำนวณ

ใกล้เคียงที่ใช้ สามารถให้คำตอบที่หลากหลายกว่า ส่วนวิธีการ VND MSVND และ RVND ถึงจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ยานคำตอบใกล้เคียงแต่โดยภาพรวมได้คำตอบที่ได้แก่กว่าวิธีการ LCF-NH3 เนื่องจากต้องไปเสียเวลาในการหาคำตอบในยานคำตอบ ใกล้เคียงที่ไม่ดีทำให้โอกาสในการปรับปรุงไปในคำตอบที่ดีจึง ลดลงเพราะเงื่อนไขในการหาผลลัพธ์เปรียบเทียบกับที่ 1000 คำตอบ

สรุปผล

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นเกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสรร ท่าเทียบเรือฝั่งแบบไม่ต่อเนื่องและจัดสรรจำนวนเครนให้กับเรือ วัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ พัฒนารูปวิธีการหาคำตอบทั้งหมด 5 วิธีเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการหาคำตอบ จากการทดลองพบว่า LCF-NH3 และ MSVND สามารถให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการอื่นและจากการทดลองพอที่จะ กล่าวได้ว่าการจัดสรรท่าเรือโดยใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกสามารถ ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการดำเนินการในท่าเรือได้เป็นอย่างดี

เนื่องจากคำตอบเริ่มต้นที่ได้มาจากการสุ่มคำตอบเริ่มต้น จึงไม่ใช่คำตอบที่ดี ในเงื่อนไขการค้นหาผลลัพธ์ 1000 คำตอบ นั้นอาจจะยังไม่สามารถค้นหาที่ดีที่สุดได้ อีกทั้งโครงสร้างยาน คำตอบใกล้เคียงเป็นการสุ่มธรรมชาติไม่ได้มีใช้ประโยชน์จากโจทย์ รวมถึงในขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ ไม่มีการปรับปรุงตัวแทน

คำตอบในส่วนของ การจัดสรรเครน ดังนั้นการปรับปรุงอาจนำ ข้อบกพร่องดังกล่าวไปพัฒนาในการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพ มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- บัทมา บัรรอดและอรุณโรจน์ เขิงเขา. 2555. การจัดสรร ท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้แบบจำลอง การโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- Bierwirth, C. and F. Meisel. 2010. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 202(3), 615-627.
- Hansen, P., C. Oğuz, et al. 2008. Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation. *European Journal of Operational Research*, 191(3), 636-649.
- Hansen, P., Mladenović, N. and Moreno Pérez, JA., Variable neighbourhood search: Methods and applications, *Annals of Operations Research*. 175 (1) : 367- 407

Imai, A., E. Nishimura, et al. 2001. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(4), 401-417.

Imai, A., K. I. Nagaiwa, et al. 1997. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. *Journal of Advanced Transportation*, 31(1), 75-94.



>> **ธนภัทร มะณีแสง**

สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ปี พ.ศ. 2552 ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยนเรศวร