



การเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต แป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยวิธีอาณานิคมมด

Location selection and vehicle routing for tapioca starch production industries in north-eastern of Thailand by using ant colony optimization.

ฐิติวรดา คำแหง* และสมบัติ สินธุชาวน์

Thitiworada Khumhan* and Sombat Sindhuchood

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190

Received June 2012

Accepted February 2013

บทคัดย่อ

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานเป็นปัญหาสำคัญและเป็นปัญหาแรกที่นักลงทุนต้องทำการตัดสินใจ รวมทั้งปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง คำตอบของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานจะมีผลต่อการจัดเส้นทางขนส่ง ซึ่งผลที่ได้จากการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานและจัดเส้นทางขนส่งนี้จะส่งผลในระยะยาวกับโรงงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีฮิวริสติกที่เรียกว่าวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ที่เลียนแบบพฤติกรรมของการหาอาหารของมด สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมพร้อมทั้งจัดเส้นทางขนส่งสินค้าและรวบรวมวัตถุดิบ ขั้นตอนของวิธีอาณานิคมมดแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งซึ่งก็คือตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และส่วนที่สองเป็นการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง โดยคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งนี้จะสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง สำหรับการปรับปรุงคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งนั้นจะประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบ (Local Search) 3 วิธี ได้แก่ การย้ายตำแหน่ง การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง และการสลับสองตำแหน่ง ผู้วิจัยได้ทำการหาตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังสำหรับสองกรณีคือการผลิตที่ร้อยละ 100 และ 50 ของกำลังการผลิต และมีการกำหนดระยะทางในการขนส่งของรถบรรทุกไม่เกิน 800 กิโลเมตรต่อวัน โดยตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานที่เหมาะสมคือ ต.เมือง อ.กันทรลักษ์ จ.ศรีสะเกษ สำหรับการผลิตร้อยละ 100 ของกำลังการผลิต และ ต.สีวิเชียร อ.น้ำยืน จ.อุบลราชธานี สำหรับการผลิตร้อยละ 50 ของกำลังการผลิต ซึ่งมีระยะทางรวมในการขนส่ง 28,214.7 และ 10,740.1 กิโลเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเลือกสถานที่ตั้ง การจัดเส้นทางขนส่ง แป้งมันสำปะหลัง วิธีอาณานิคมมด

*Corresponding author. Tel.: +66-8-4280-8055

Email address: thitiworada_99@hotmail.com

Abstract

Location selection problem is a major problem and the first issue that investors need to make decisions, including the vehicle routing problem. The answer to the Location selection problem will affect the vehicle routing. The solution to the location routing problem will have long term effect on the plant. Therefore, in this research, we develop a heuristic called Ant Colony Optimization (ACO) that simulates a food seeking behaviors of ants to solve for a suitable location of a tapioca starch plant and also to construct a vehicle route for delivering products and collecting raw material. The procedure of ACO can be divided into 2 parts. The first part is to find the solution of the location problem (LP), the location of the tapioca starch plant and the second part is to solve the vehicle routing problem (VRP) whose solution is related to the location of the tapioca starch plant. To improve the solution of VRP, three local search methods that are One Move, Exchange and 2-Opt Move are applied. We find the location of the tapioca starch plant for two cases: the production runs with 100% and 50% of the production capacity, and the travel distance of each vehicle is limited to 800 kilometers per day. The best location of the plant is in Tambon Muang, Ampur Kantharalak, Sisaket Province for the production runs with 100% of the production capacity and Tambon Siwichain, Ampur Nam Yuen, Ubonratchathani Province for the production runs with 50% of the production capacity and the total travel distance for a fleet of vehicles is 28,214.7 and 10,740.1 kilometers respectively.

Keywords : Location selection, Vehicle routing, Tapioca starch, Ant colony optimization

1. บทนำ

ประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังมากเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากประเทศไนจีเรียและประเทศบราซิล สำหรับประเทศไทยมันสำปะหลังนับเป็นพืชเศรษฐกิจเชิงพาณิชย์ที่สำคัญ มีปริมาณการผลิตมากกว่า 20 ล้านตัน ในแต่ละปีคิดเป็นประมาณร้อยละ 12 ของปริมาณผลิตรวมทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 8 ล้านไร่ ใน 45 จังหวัด เนื้อที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมีการกระจายอยู่ทั่วประเทศ (ยกเว้นภาคใต้) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเนื้อที่เพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมากที่สุดรองลงมาได้แก่ภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ

จากข้อมูลเบื้องต้นทั้งด้านพื้นที่การเพาะปลูกและความต้องการของผู้บริโภคที่แสดงผ่านปริมาณการนำเข้า

แป้งมันสำปะหลังของ 10 ประเทศผู้นำเข้าแป้งมันสำปะหลังจากไทยแสดงดังตารางที่ 1 ประเทศไทยยังสามารถเพิ่มจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังได้อีก ทั้งนี้อาจต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ เช่น แหล่งวัตถุดิบ คุณภาพวัตถุดิบ การขนส่งหรือแม้กระทั่งทำเลที่ตั้งโรงงาน ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยสำคัญ จึงจำเป็นที่ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาปัจจัยเหล่านั้น เพื่อเป็นการส่งเสริมการลงทุนในประเทศ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวกับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานแป้งมัน เพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจให้กับนักลงทุน ในการตัดสินใจลงทุนในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังของประเทศไทย

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าของแป้งมันสำปะหลังที่ประเทศต่างๆ นำเข้าจากประเทศไทยในปี 2552

No	Native Starch	Quantity (ton)	Value (Million Baht)	Modified Starch	Quantity (ton)	Value (Million Baht)
1	CHINA	500,943	4,613	JAPAN	249,894	4,245
2	TAIWAN	313,365	2,756	CHINA	108,940	1,998
3	INDONESIA	241,668	2,280	INDONESIA	67,054	1,226
4	MALAYSIA	188,351	1,674	KOREA.R	42,802	824
5	JAPAN	123,214	1,152	TAIWAN	28,620	487
6	PHILIPPINES	70,027	657	USA	20,710	570
7	SINGAPORE	50,644	468	MALAYSIA	18,727	399
8	BANGLADESH	37,275	317	SOUTH AFRICA	15,982	236
9	KOREA.R	36,893	342	NETHERLANDS	15,759	429
10	USA	31,715	375	INDIA	15,238	228
	OTHERS	204,005	2,017	OTHERS	114,851	2,201
	<u>ALL COUNTRIES</u>	<u>1,798,100</u>	<u>16,651</u>	<u>ALL COUNTRIES</u>	<u>698,577</u>	<u>12,843</u>

ที่มา : Thai Tapioca Starch Association [1]

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางทางขนส่ง (Location Routing Problem: LRP) เป็นปัญหาที่มีจุดประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้ง แต่ในขณะเดียวกันก็มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางทางขนส่งไปด้วยรูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางทางขนส่งจะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโดยในกรณีนี้ให้ลูกค้าทุกรายเชื่อมต่อกับโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้า ปัญหานี้ก็จะกลายเป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบมาตรฐาน แต่ในขณะเดียวกันถ้ากำหนดที่ตั้งของโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าตั้งแต่เริ่มต้น ปัญหานี้ก็จะมีรูปแบบเป็นปัญหาการจัดเส้นทางทางขนส่ง จากงานวิจัยของ Balakrishnan [2] กล่าวว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางทางขนส่ง การที่จะค้นหาคำตอบจากปัญหานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพควรแก้ปัญหาไปพร้อมๆ กัน โดยไม่ต้องแยกปัญหาออกจากกัน เนื่องจากว่าปัญหานี้มีความสัมพันธ์ต่อกันและมีผลโดยตรงต่อคำตอบสุดท้าย ต่อมา Laporte [3] ได้พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด เช่น วิธีการ

แผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ (Decision Tree) วิธี Branch and Bound algorithm วิธี Gomory Cut และวิธี Graph Transformation และในบทความดังกล่าวยังแยกระดับความสำคัญของปัญหาออกเป็น 2 ปัญหา คือ ปัญหาหลัก (Master Problem) และปัญหารอง (Sub Problem) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งถูกจัดอยู่ในปัญหาหลักโดยใช้วิธี Tree Search Algorithm หลังจากได้คำตอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะแก้ปัญหารองต่อ นั่นคือปัญหาการจัดเส้นทางทางขนส่งโดยใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธี Branch and Bound คำตอบที่ได้จากวิธีการนี้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) แต่วิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในด้านขนาดของปัญหาซึ่งขนาดของปัญหาเป็นปัญหามิติเล็กลูกค้าไม่เกิน 40 ราย Nagy and Salhi [4] นำเสนอวิธีการทางฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของขนาดปัญหา โดยวิธีฮิวริสติกที่นำมาใช้เป็นวิธีการประมาณการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า “Cluster-Based” ในการจัดสรรลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าและขั้นตอนต่อนั้นจะเป็นการสร้าง

เส้นทางด้วยวิธี Clarke and Wright Saving Heuristic อีก 3 ปีต่อมา Tuzun and Burke [5] ได้นำเสนอวิธีทาบูเซิร์ช (Tabu Search) แบบสองเฟสเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งที่มีขนาดของปัญหา 200 ลูกค้ายโดยเปรียบเทียบคำตอบที่ได้และเวลาที่ให้กับวิธีวิวิธวิธีแบบ Saving ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าวิธี Tabu Search ที่ออกแบบมาได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี Saving แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า Wu et al [6] ได้ทำการทดลองใช้วิธีผสมผสานระหว่างวิธีทาบูเซิร์ช (Tabu Search) กับวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) Jitimar [7] นำเสนอวิธีการของ Ant Colony Optimization (ACO) ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเคลื่อนย้ายจากมูลสุกรกับเขตชุมชนการแก้ปัญหาได้มีการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาคือ ปัญหาสถานที่ตั้งโรงงานและปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขนส่ง และใช้วิธี ACO เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตชีวภาพและใช้ระยะทางการขนส่งที่เหมาะสม Sodsoon and Sindhuchao [8] เสนอเทคนิคการแก้ปัญหาด้วย Max-Min ant System กับปัญหาศูนย์กระจายสินค้าที่มีหลายแห่งโดยสินค้าที่ไปส่งเป็นสินค้าชนิดเดียวและทุกช่วงเวลาคงที่ จากนั้นทำการหาเส้นทางขนส่งที่สั้นที่สุดจากพาหนะทุกคัน ขั้นตอนในการแก้ปัญหาแบ่งออกเป็นสองระยะคือ ระยะที่หนึ่งใช้ Max-Min ant System เป็นวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น จำนวนของมดเท่ากับจำนวนศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งมดแต่ละตัวเข้าประจำที่ศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่ง แล้วทำการหมุนเวียนให้มดแต่ละตัวทำการเลือกโหนดลูกค้าในบัญชี (Candidate List) เพื่อสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งและกำหนดลูกค้าให้ศูนย์กระจายสินค้าไปพร้อมๆ กัน ระยะที่สองคือ ทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี 2-opt พบว่าคำตอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์

ที่น่าพอใจและใช้เวลาอย่างเหมาะสมในการคำนวณหาผลเฉลย

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าวิธีอาณานิคมมดเป็นวิธีที่สามารถหาคำตอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจและใช้เวลาอย่างเหมาะสมในการคำนวณหาผลเฉลย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาและพัฒนาวิธีอาณานิคมมด เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง (Location Routing Problem: LRP) สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีเพียงพอภายในเวลาที่เหมาะสม เพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจลงทุนสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการลงทุนในภาคอุตสาหกรรมแป้งมัน ซึ่งเป็นการสนับสนุนการลงทุนภายในประเทศอันจะนำไปสู่ความก้าวหน้าของวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมของประเทศในอนาคต

2. วิธีการการวิจัย

วิธีการการวิจัยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

(1) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เช่น ข้อมูลความสามารถในการส่งห้วงมันให้กับโรงงานแป้งมันของลานมัน ความต้องการของลูกค้า ความจุของรถบรรทุก กำลังการผลิตของโรงแป้งมัน ระยะทางระหว่างลานมันแต่ละแห่ง และระยะทางระหว่างลานมันกับลูกค้า เป็นต้น

(2) สร้างสมการทางคณิตศาสตร์

(3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง

(4) ผลการวิจัยและอภิปราย

(5) สรุปผลการวิจัย

2.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ข้อมูลกรณีศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย

(1) ข้อมูลแหล่งวัตถุดิบได้แก่ ที่ตั้งลานมันสำหรับในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่จดทะเบียนโรงงานกับกรมอุตสาหกรรมจังหวัดมีจำนวน 504 โรงงาน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณทางคณะผู้วิจัยได้ใช้ตำบลเป็นจุดอ้างอิง จึงทำการรวมโรงงานที่ตั้งอยู่ในตำบลเดียวกัน ไว้ในจุดอ้างอิงเดียวกัน โดยทำการรวมเงินทุนหมุนเวียนต่อปีของโรงงานเหล่านั้นไว้ในจุดอ้างอิงด้วยเช่นกัน เมื่อทำการรวมโรงงานตามเกณฑ์ดังกล่าวแล้วทำให้มีตำแหน่งของแหล่งวัตถุดิบจำนวน 261 แห่ง สำหรับความสามารถในการป้อนวัตถุดิบให้กับโรงงานแป้งมันสำปะหลังของแหล่งวัตถุดิบแต่ละแห่งคำนวณจากสมการที่ (1)

$$A = \frac{B}{365 \times C} \quad (1)$$

โดยที่

A คือ ความสามารถในการป้อนวัตถุดิบ (ตันต่อวัน)

B คือ เงินทุนหมุนเวียน (บาทต่อปี)

C คือ ราคาหัวมันสด (บาทต่อตัน)

(2) ข้อมูลลูกค้าได้แก่ ที่ตั้งของโรงงานที่ใช้แป้งมันสำปะหลังดิบเป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าที่จดทะเบียนโรงงานกับกรมอุตสาหกรรมจังหวัดมีจำนวน 29 โรงงาน เพื่อให้เป็นหน่วยเดียวกันกับแหล่งวัตถุดิบ จึงทำการรวมโรงงานที่ตั้งอยู่ในจังหวัด อำเภอบึง และ ตำบลเดียวกัน ไว้ในจุดอ้างอิงเดียวกัน เมื่อทำการรวมแล้วทำให้มีตำแหน่งของลูกค้าจำนวน 22 แห่ง

(3) ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้ากับแหล่งวัตถุดิบทั้งหมด ความต้องการของลูกค้า และความสามารถในการป้อนวัตถุดิบของลานมัน

(4) ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถบรรทุกไม่เกิน 15 ตันต่อคัน

(5) ข้อมูลโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่จะทำการหาตำแหน่งที่ตั้ง มีกำลังการผลิตไม่เกิน 300 ตันต่อวัน หรือ ใช้วัตถุดิบ (หัวมันสด) ไม่เกิน 900 ตันต่อวัน (หัวมันสด 3 ตัน สามารถใช้ผลิตแป้งมันสำปะหลัง 1 ตัน)

2.2 สร้างสมการทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้เป็นแบบจำลองของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยที่ทราบตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง กลุ่มลูกค้าที่จะทำการส่งสินค้า และกลุ่มลานมันที่จะไปรับวัตถุดิบ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการหาคำตอบด้วยอัลกอริทึมที่ออกแบบสำหรับรูปแบบการขนส่งนั้น กำหนดให้รถขนส่งแต่ละคันบรรทุกแป้งมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังเดินทางไปส่งแป้งมันสำปะหลังให้กับลูกค้าที่ได้รับมอบหมายให้ครบทุกรายก่อน แล้วจึงสามารถเดินทางไปรวบรวมหัวมันสดที่ลานมันต่างๆ จากนั้นจึงเดินทางกลับมายังโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ดัชนี (Indices)

i, j = ใช้แทนลำดับของโหนด โดยที่โรงงานจะมี

$i, j = 1$ โหนดลูกค้า $i, j \in M$

และโหนดลานมันสำปะหลัง $i, j \in N$

k = ใช้แทนลำดับของรถเที่ยวที่ $k = 1, 2, \dots, K$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

W = จำนวนโหนดทั้งหมด

M = เซตของโหนดลูกค้าที่ถูกเลือก
(Demand Node)

N = เซตของโหนดลานมันสำปะหลังที่ถูกเลือก
(Supply Node)

S = เซตของโหนดทั้งหมด ($S = 1 \cup M \cup N$)

R_{ij} = ระยะทางระหว่างโหนดที่ i ไปยังโหนดที่ j

H_i = ปริมาณหัวมันที่โหนดลานมัน i ที่สามารถส่งให้กับโรงงานได้

D_i = ความต้องการแป้งมันสำหรับหลังของโหนดลูกค้า i

Q = ความจุของรถบรรทุก

$M \cap N = \emptyset$

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าโหนด } i \text{ เชื่อมกับโหนด } j \text{ บนเส้นทางของรถเที่ยวที่ } k \\ 0, & \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min} = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \sum_{k=1}^K R_{ij} X_{ijk} \quad (2)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i \in S} \sum_{k=1}^K X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in M \cup N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{k=1}^K X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in M \cup N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} X_{i1k} \leq 1 \quad \forall k=1,2,\dots,K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in S} X_{1jk} \leq 1 \quad \forall k=1,2,\dots,K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in S} X_{ijk} - \sum_{i \in S} X_{jik} = 0 \quad \forall j \in S, k=1,2,\dots,K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in M} D_i \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq Q \quad \forall k=1,2,\dots,K \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} H_i \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq Q \quad \forall k=1,2,\dots,K \quad (9)$$

$$X_{ijk} = 0 \quad \forall i \in N, j \in M, k=1,2,\dots,K \quad (10)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in N} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall k=1,2,\dots,K \quad (11)$$

$$X_{iik} = 0 \quad \forall i \in S, k=1,2,\dots,K \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & (W-3)X_{jik} \\ & + (W-1)X_{ijk} + U_i \\ & \leq U_j + (W-2) \end{aligned} \quad \forall i, j \in M \cup N; i \neq j, \quad k=1,2,\dots,K \quad (13)$$

$$X_{ijk} = \{0,1\} \quad \forall i \in S, j \in S, k=1,2,\dots,K \quad (14)$$

สมการที่ (2) เป็นสมการวัตถุประสงค์โดยมีเป้าหมายเพื่อหาระยะทางรวมที่รถขนส่งทุกคันวิ่งไปส่งสินค้าและรับวัตถุดิบให้มีค่าน้อยที่สุด สมการที่ (3) และ (4) เป็นสมการเงื่อนไขกำหนดให้ลูกค้าและลานมันแต่ละโหนดสามารถรับบริการจากรถขนส่งได้เพียง 1 คันเท่านั้น สมการที่ (5) และ (6) เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดว่า หากรถขนส่งมีการเดินทางในแต่ละเที่ยวขนส่ง รถจะต้องเดินทางออกจากโรงงานและต้องเดินทางกลับสู่โรงงาน สมการที่ (7) บังคับว่าหากรถขนส่งเดินทางเข้าโหนด จะต้องเดินทางออกจากโหนดนั้น สมการที่ (8) บังคับให้ปริมาณสินค้าที่ไปส่งให้ลูกค้าโดยรถแต่ละคันจะต้องไม่เกินความจุของรถขนส่ง สมการที่ (9) กำหนดให้ปริมาณหัวมันที่ปรับโดยรถขนส่งแต่ละคันจะต้องไม่เกินความจุของรถขนส่ง สมการที่ (10) และ (11) บังคับให้รถขนส่งต้องเดินทางไปส่งสินค้าให้ลูกค้าก่อนแล้วจึงเดินทางไปรับวัตถุดิบจากลานมัน สมการที่ (12) เป็นสมการเงื่อนไข บังคับให้ไม่สามารถเชื่อมเส้นทางที่เป็นโหนดเดียวกันได้ สมการที่ (13) สมการป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour Elimination Constraint) และสมการที่ (14) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

2.3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่ง

วิธีฮานานิคมมดที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยทั่วไปแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับธรรมชาติของมด จะถือว่ามดเพียงชนิดเดียวเท่านั้นคือ มดงานซึ่งทำหน้าที่ในการออกหาอาหารเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยมดงานเริ่มเดินทางจากสถานที่ตั้งของรังที่มดอาศัยอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาการจัดเส้นทางแล้ว อาจกล่าวได้ว่า รังของมดก็คือโรงงานที่รถเริ่มออกเดินทางไปส่งสินค้า ซึ่งทราบตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานแล้ว แต่วิธีฮานานิคมมดที่ใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง พร้อมทั้งจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยแล้ว จะมีความพิเศษกว่าคือมี

มต 2 ชนิด ซึ่งจะมีมตงานเหมือนกับปัญหาการจัดเส้นทาง แต่จะต่างกันที่มีราชีนิมตเพิ่มเข้ามาเพราะว่าปัญหา LRP นั้น ยังไม่ทราบตำแหน่งที่ตั้งโรงงาน กล่าวคือยังไม่ทราบที่ตั้งของรังมตนั่นเอง ดังนั้นจึงมีราชีนิมตเพิ่มเข้ามาเพื่อทำหน้าที่ในการเลือกสถานที่ตั้งของรังมต ซึ่งราชีนิมตจะทำการเลือกสถานที่ตั้งรังที่อยู่ใกล้กับแหล่งอาหารมากที่สุด โดยอาศัยข้อมูลจากการเดินทางไปหาอาหารของมตงานเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งของรัง ผู้วิจัยพัฒนาวิธีระบบอาณานิคมมตเพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

(1) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์ที่ต้องตั้งค่าไว้ก่อนการเริ่มกระบวนการมีอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง ตัวแปรแต่ละตัวจะขึ้นต้นด้วย L และส่วนของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ตัวแปรแต่ละตัวจะขึ้นต้นด้วย R ดังต่อไปนี้

จำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำ L - Iteration เท่ากับ 3 รอบ R - Iteration เท่ากับ 2 รอบ จำนวนประชากรมตของราชีนิมต L - Population เท่ากับ 5 ตัว และมตงาน R - Population เท่ากับ 4 ตัว กำหนดค่าฟีโรโมน $L\tau_i$ เริ่มต้นที่ 1 เท่ากันหมดและ $R\tau_i$ เริ่มต้นที่ 1 เช่นกันยกเว้น การเชื่อมเมืองเดียวกัน เช่น เมือง 1-1 จะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่สามารถดำเนินการเชื่อมได้, อัตราการระเหยของค่าฟีโรโมน $L\rho$ และ $R\rho$ เท่ากับ 0.02 ค่าพารามิเตอร์ $L\alpha$ เท่ากับ 5 และ $R\alpha$ เท่ากับ 1 และค่าพารามิเตอร์ $L\beta$ และ $R\beta$ เท่ากับ 5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นการกำหนดขึ้นมาเพื่อการทดลองเท่านั้น และเนื่องจากปัญหาของกรณีศึกษาเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ผู้วิจัยจึงทำการกำหนดจำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำจำนวนน้อยรอบเพื่อให้ได้คำตอบในระยะเวลาที่เหมาะสม

(2) การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นด้วยวิธีระบบอาณานิคมมตของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง

ราชีนิมตกำลังเลือกที่จะสร้างรังที่ตำแหน่งใด กำหนดให้ตำแหน่งที่ราชีนิมตจะเลือกเพื่อสร้างรังแทนด้วย i

$$Lp(i) = \frac{[L\tau(i)]^{L\alpha} [L\eta(i)]^{L\beta}}{\sum_{i \in I} [L\tau(i)]^{L\alpha} [L\eta(i)]^{L\beta}} \quad (15)$$

$$Lcumpop(i) = \sum_{j=1}^i Lp(j) \quad (16)$$

โดยที่

$$L\eta(i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^{M+N} D_{ij}} \text{ คือ ส่วนกลับของระยะทางรวมของ}$$

ทุกจุดมายังจุด i

D_{ij} คือ ระยะทางจากแหล่งวัตถุดิบ i ไปยังแหล่งวัตถุดิบและลูกค้า j

I คือ เซตของแหล่งวัตถุดิบ

$Lp(i)$ คือ ความน่าจะเป็นในการเลือกแหล่งวัตถุดิบ i เปิดเป็นโรงงาน

$Lcumpop(i)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของการเลือกแหล่งวัตถุดิบ i เปิดเป็นโรงงาน

จากสมการที่ (15) เป็นสมการหาความน่าจะเป็นในการที่แหล่งวัตถุดิบแต่ละแห่งจะถูกเลือกเพื่อเปิดเป็นโรงงาน ซึ่งผลรวมของความน่าจะเป็นในการเลือกสถานที่ตั้งรวมทุกจุดแล้วเท่ากับ 1 เมื่อได้ความน่าจะเป็นแล้วจะใช้หลักการของวงกลมรูเล็ตต์วีล (Roulette Wheel) มาใช้ในการสุ่มหาแหล่งวัตถุดิบที่จะใช้เปิดเป็นโรงงาน โดยหาความน่าจะเป็นสะสมดังสมการที่ (16) ความน่าจะเป็นสะสมของเมือง i หาได้จากผลรวมของความน่าจะเป็นของเมืองในลำดับแรกของคู่แข่งจนถึงเมือง i จากนั้นสุ่มตัวเลขมาหนึ่งตัวอยู่ระหว่าง 0-1 หากตัวเลขสุ่มตกอยู่ในช่วงใดจะเลือกเมืองนั้นเปิดเป็นโรงงาน

(3) การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นด้วยวิธีระบบอาณานิคมมดของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

หลังจากที่ได้ตำแหน่งที่ตั้งของรังมดแล้วก็ถึงหน้าที่ของมดงานที่จะต้องออกหาอาหาร โดยสร้างคำตอบจากพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ กำหนดให้มดงานอยู่ที่เมือง i และกำลังจะเลือกที่จะเดินทางไปเมืองใด และกำหนดให้เมืองที่มดงานเลือกไปแทนด้วย j

$$Rp(i, j) = \frac{[R\tau(i, j)]^{R\alpha} [R\eta(i, j)]^{R\beta}}{\sum_{j \in J} [R\tau(i, j)]^{R\alpha} [R\eta(i, j)]^{R\beta}} \quad (17)$$

$$Rcumpop(i, j) = \sum_{k=1}^j Rp(i, k) \quad (18)$$

โดยที่

$R\eta(i, j) = \frac{1}{D(i, j)}$ คือ ส่วนกลับของระยะทาง

$D(i, j)$ คือ ระยะทางระหว่างเมือง i ไปเมือง j

J คือ เซตของเมืองที่ยังไม่ถูกเลือกเข้าไปอยู่ในเส้นทางใดๆ

$Rp(i, j)$ คือ ความน่าจะเป็นในการเลือกเมือง j เมื่อมดงานอยู่ที่เมือง i

$Rcumpop(i, j)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของการเลือกเมือง j เมื่อมดงานอยู่ที่เมือง i

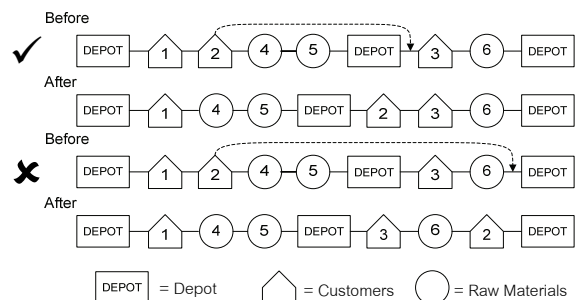
ในการที่มดงานจะเลือกไปเมืองใดนั้นจะใช้หลักการคล้ายคลึงกับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงาน แต่จะใช้สมการที่ (17) และ (18) ในการหาความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมแทน ในงานวิจัยนี้รถขนส่งแต่ละคันจะเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าจนสินค้าที่บรรทุกไปในรถนั้นหมดก่อนจึงจะเดินทางไปรับวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบ กรณีที่ส่งสินค้าหมดแล้วรถขนส่งสามารถเดินทางเที่ยวเปล่าออกไปรับวัตถุดิบได้ เมื่อวัตถุดิบเต็มรถบรรทุกแล้วจึงจะกลับมายังโรงงาน และเริ่มเดินทางออกจากโรงงานใหม่อีกครั้ง จนกว่าจะเกินกำลังการผลิตของโรงงานแล้วจึงจะหยุดการเดินทาง การที่เดินทางไปส่งสินค้าก่อนแล้วจึงเดินทางไปรับวัตถุดิบนั้นเป็นการลดการเดินทางกลับโรงงานด้วยรถเที่ยวเปล่า จึงเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายหรือลดระยะทางอีกวิธีหนึ่ง

(4) การปรับปรุงคุณภาพคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ผลเฉลยที่ได้จากมดงานทุกตัวจะผ่านการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) ทั้งสิ้น 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่

(ก) การย้ายตำแหน่ง (One Move: OM)

การย้ายตำแหน่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการย้ายลูกค้าและการย้ายแหล่งวัตถุดิบ ซึ่งการย้ายในสองส่วนนี้จะทำการย้ายในลักษณะที่เหมือนกันคือ เป็นการย้ายลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบหนึ่งราย จากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง โดยไม่มีการย้ายแบบสลับในเส้นทางเดิมที่ลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบรายนั้นอยู่ และการย้ายจะต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข กล่าวคือ เมื่อทำการย้ายแล้ว เส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นจะต้องเดินทางไปส่งของให้ลูกค้าก่อนแล้วจึงเดินทางไปรับวัตถุดิบตามเดิม จะต้องไม่มีการไปรับไปส่งสลับไปมาระหว่างลูกค้าและแหล่งวัตถุดิบ และเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องมีความต้องการสินค้า/วัตถุดิบที่ต้องรับขึ้นรถไม่เกินความจุของรถบรรทุกแสดงดังรูปที่ 1

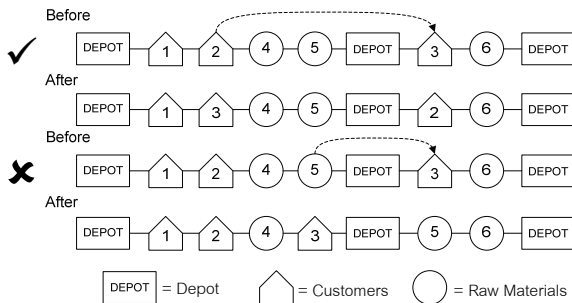


รูปที่ 1 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายตำแหน่ง

(ข) การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Exchange: Ex)

การสลับเปลี่ยนตำแหน่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การสลับลูกค้าและการสลับแหล่งวัตถุดิบ การสลับเปลี่ยนลูกค้าเป็นการสลับระหว่างลูกค้ารายหนึ่งจากเส้นทางหนึ่งกับลูกค้าอีกรายหนึ่งในอีกเส้นทางหนึ่ง และเช่นเดียวกัน

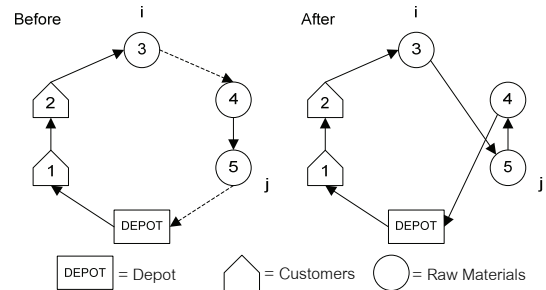
การสลับเปลี่ยนแหล่งวัตถุดิบก็เป็นการสลับระหว่างแหล่งวัตถุดิบรายหนึ่งจากเส้นทางหนึ่งกับแหล่งวัตถุดิบอีกรายหนึ่งในอีกเส้นทางหนึ่ง โดยจะไม่มี การสลับระหว่างลูกค้ากับแหล่งวัตถุดิบ การสลับจะต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง

(ค) การสลับสองตำแหน่ง (Two-opt Move: 2-Opt)

วิธี 2-opt คล้ายกับวิธี One move และ Exchange คือ วิธี 2-opt แบ่งออกเป็น 2 ส่วน และวิธี 2-opt จะต้องไม่ทำให้เส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นมีการไปรับไปส่งสลับไปมาระหว่างลูกค้าและแหล่งวัตถุดิบ แต่ต่างกับการย้ายแบบ 2-opt เป็นการสลับลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบภายในเส้นทางเดิมที่ลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบรายนั้นอยู่เท่านั้น วิธี 2-opt เริ่มจากการเลือกเส้นเชื่อม 2 เส้นที่ไม่อยู่ติดกัน จากนั้นทำการสลับเส้นทางเชื่อมทั้ง 2 เส้นทางนั้น โดยลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบที่อยู่จุดเริ่มต้นของเส้นเชื่อมแรกจะสลับไปเชื่อมกับลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบที่อยู่จุดเริ่มต้นของเส้นเชื่อมที่สอง ซึ่งจะทำให้ลำดับของลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบสองจุดที่ถูกเลือกนั้นถูกเรียงกลับในทิศตรงกันข้าม และขั้นตอนสุดท้ายลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบที่อยู่จุดปลายของเส้นเชื่อมแรกจะถูกเชื่อมกับลูกค้า/แหล่งวัตถุดิบที่อยู่จุดปลายของเส้นเชื่อมที่สองแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการสลับสองตำแหน่ง

(5) การปรับปรุงค่าฟิโรโมนของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง จะมีการปรับฟิโรโมนในทูลรอบของการกระทำซ้ำ โดยในแต่ละรอบมดงานตัวที่สร้างเส้นทางที่ดีที่สุด หมายถึงมดงานตัวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแล้วให้เส้นทางที่สั้นที่สุดเท่านั้นจึงจะสามารถปล่อยฟิโรโมนได้ เพื่อสร้างความเด่นชัดให้กับเส้นทางนั้น

$$R\tau(i, j) = (1 - R\rho) (R\tau(i, j)) \quad (19)$$

$$R\tau(i, j) = (1 - R\rho) (R\tau(i, j)) + Rg \quad (20)$$

โดยที่

$R\tau(i, j)$ คือ ฟิโรโมนในการเดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j

$R\rho$ คือ อัตราการระเหยของค่าฟิโรโมนที่ใช้ในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

Rg คือ ส่วนกลับของระยะทางรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุดในรอบนั้นๆ ของมดงาน

ในทูลรอบของการกระทำซ้ำฟิโรโมนของทุกๆ เส้นเชื่อมจะมีการระเหยหรือเจือจางลงด้วยอัตรา $R\rho$ และมดงานตัวที่สร้างเส้นทางที่ดีที่สุดในแต่ละรอบจะเป็นตัวเพิ่มฟิโรโมนให้กับเส้นทางที่สั้นที่สุดนั้น กล่าวคือค่าฟิโรโมนจะถูกปรับตามสมการที่ (19) หากมดงานตัวที่สร้างเส้นทางที่ดีที่สุดไม่ได้เดินทางผ่านเส้นเชื่อมนั้น ฟิโรโมนก็จะระเหยไปอย่างเดียว แต่ถ้ามดงานตัวที่สร้างเส้นทางที่ดี

ที่สุดเดินทางผ่านเส้นเชื่อมนั้นค่าฟิโรโมนจะถูกปรับตามสมการ (20) คือมีการระเหยและก็มีกาเพิ่มฟิโรโมน โดยการบวกค่าส่วนกลับระยะทางรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุดในรอบนั้นๆ เข้าไปด้วย คำตอบที่ดีเพียงพอของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะนี้ เป็นคำตอบที่ได้จากการกระทำซ้ำขั้นตอนที่ 3,4 และ 5 ตามเงื่อนไขที่กำหนด

(6) การปรับปรุงค่าฟิโรโมนของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง

ในแต่ละรอบการกระทำซ้ำของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง ค่าระยะทางรวมจากการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งคือค่าฟังก์ชันสำหรับประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness function) ในการค้นหาคำตอบของราชินีมดแต่ละตัว

$$L\tau(i) = (1 - L\rho) (L\tau(i)) \quad (21)$$

$$L\tau(i) = (1 - L\rho) (L\tau(i)) + Lg \quad (22)$$

โดยที่

$L\tau(i)$ คือ ฟิโรโมนของแหล่งวัตถุดิบ i ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง

$L\rho$ คือ อัตราการระเหยของค่าฟิโรโมนที่ใช้ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง

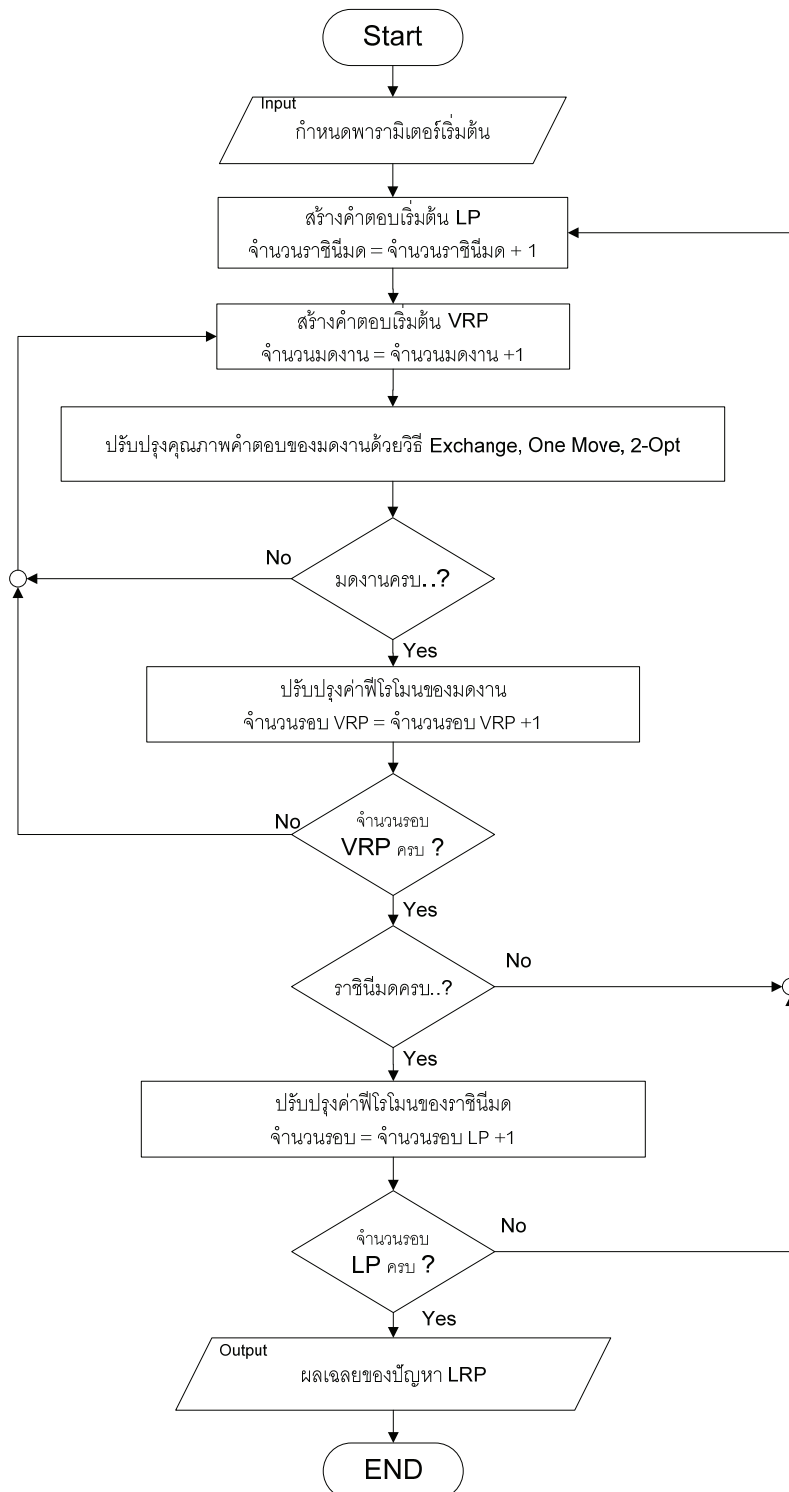
Lg คือ ส่วนกลับของระยะทางรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุดในรอบนั้นๆ ของราชินีมด

ในแต่ละรอบการกระทำซ้ำ ราชินีมดตัวที่ให้ค่า Fitness function ต่ำสุดจะเป็นตัวที่ปล่อยฟิโรโมนหมายความว่าถ้าราชินีมดตัวที่ให้ค่า Fitness function ต่ำสุด ไม่ได้เลือกเมืองนั้นในการทำรังหรือไม่ได้เลือกแหล่งวัตถุดิบนั้นเพื่อเปิดเป็นโรงงาน จะทำการปรับค่าฟิโรโมนตามสมการที่ (21) เพื่อให้ฟิโรโมนระเหยไป แต่หากราชินีมดตัวที่ให้ค่า Fitness function ต่ำสุด เลือกเมืองนั้นในการทำรังหรือเลือกแหล่งวัตถุดิบนั้นเพื่อเปิดเป็นโรงงาน จะทำการปรับค่าฟิโรโมนตามสมการที่ (22) โดยจะมีการทำให้ฟิโรโมนระเหยพร้อมทั้งเพิ่มฟิโรโมนด้วย

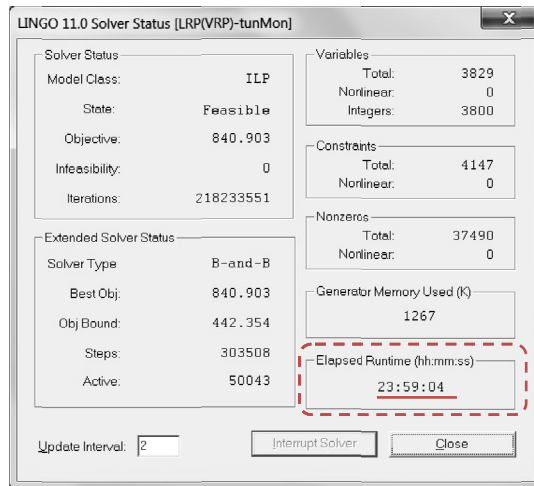
การบวกค่าส่วนกลับของค่า Fitness function ต่ำสุดในแต่ละรอบนั้นเข้าไป เพื่อสร้างความโดดเด่นให้กับเมืองนั้น คำตอบที่ดีเพียงพอจากอัลกอริทึมนี้ เป็นคำตอบที่ได้จากการทำงานของกลไกทั้ง 6 ขั้นตอน และกระทำซ้ำตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ รูปแบบการทำงานของอัลกอริทึมแสดงดังรูปที่ 4 ในส่วนท้ายของบทความ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผู้วิจัยได้นำวิธีอาณานิคมมดไปใช้ในการหาคำตอบตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยการเขียนชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev C++ และประมวลผลโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์ Inter® Core(TM)² Duo CPU E8400 @3.00GHz Ram 2.00 GB. ซึ่งการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งในแต่ละกรณี ทดลองเป็นจำนวน 5 ครั้ง โดยเลือกคำตอบที่มีระยะทางสั้นที่สุดสำหรับกรณีโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ใช้กำลังการผลิต 100% และ 50% นั้นการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม Lingo จะมีจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเป็นจำนวนมาก ซึ่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอโปรแกรม Lingo จึงไม่สามารถที่จะประมวลผลได้ ผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดลองกับกรณีที่โรงงานแป้งมันสำปะหลังทำการผลิต 10 เปอร์เซ็นต์ของกำลังการผลิตและจำกัดระยะทางสูงสุด เพื่อที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมที่พัฒนานี้ไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งโรงงานแป้งกลุ่มลูกค้าและกลุ่มลานมัน ที่ได้จากอัลกอริทึมที่ออกแบบ มาประมวลผลเพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางขนส่งด้วยโปรแกรม Lingo และกำหนดให้โปรแกรมประมวลผลใช้เวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงหยุดการทำงานของโปรแกรม Lingo ดังรูปที่ 5 เพื่อใช้คำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo ณ เวลานั้นมาเทียบกับคำตอบที่ได้จากการประมวลผลด้วยอัลกอริทึม คำตอบทุกกรณีแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 4 Flow Chart ของวิธี貪婪หาคำตอบสำหรับปัญหา LRP



รูปที่ 5 ระยะเวลาและผลที่ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo

ตารางที่ 2 ผลการทดลองจากอัลกอริทึมและผลของโปรแกรม Lingo ทุกกรณี

กรณีที่	ขนาดการผลิตของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	
		ACO	Lingo
1	โรงงานแป้งมันสำปะหลังทำการผลิตร้อยละ 100	28,214.7	-
2	โรงงานแป้งมันสำปะหลังทำการผลิตร้อยละ 50	10,740.1	-
3	โรงงานแป้งมันสำปะหลังทำการผลิตร้อยละ 10	730.853	840.903

จากตารางที่ 2 ผลการทดลองในกรณีที่โรงงานแป้งมันสำปะหลังทำการผลิตร้อยละ 100 และ 50 ของกำลังการผลิต และมีการกำหนดระยะทางในการขนส่งของรถบรรทุกไม่เกิน 800 กิโลเมตรต่อวัน ผลที่ได้จากการทดลองคือ กรณีที่โรงงานทำการผลิตร้อยละ 100 ของกำลังการผลิต ตำแหน่งที่เหมาะสมในการตั้งโรงงานคือ ต.เมือง อ.กันทรลักษ์ จ.ศรีสะเกษ โดยมีระยะทางรวมในการขนส่ง 28,214.7 กิโลเมตร และกรณีที่โรงงานทำการผลิตร้อยละ 50 ของกำลังการผลิต ตำแหน่งที่เหมาะสมในการตั้งโรงงานคือ ต.สิริเขียร อ.น้ำยืน จ.อุบลราชธานี โดยมีระยะทางรวมในการขนส่ง 10,740.1 กิโลเมตร

ส่วนการทดลองในกรณีที่โรงงานแป้งมันสำปะหลังทำการผลิตร้อยละ 10 ของกำลังการผลิตจะเห็นว่าวิธี Exact Method ประมวลผลด้วยโปรแกรม Lingo ที่แก้ปัญหาเฉพาะการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem) ใช้เวลาประมวลผลค่อนข้างนานเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ ซึ่งอัลกอริทึมที่ออกแบบนั้น สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง (Location Routing Problem) ไปพร้อมๆ กัน และผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมให้ค่าระยะทางรวมที่สั้นกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Lingo ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการหาคำตอบของอัลกอริทึมที่ออกแบบโดยใช้เวลาที่เหมาะสม

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พร้อมทั้งจัดเส้นทางขนส่งสินค้าและรับวัตถุดิบให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามปัญหา LRP นับเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนปัญหาหนึ่งและจัดเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) ฉะนั้นวิธีการที่นำมาแก้ปัญหาเหล่านี้ จึงมีความหลากหลายทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) และวิธีฮิวริสติก (Heuristic Method) แต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันออกไป เนื่องจากกรณีศึกษามีขนาดของปัญหาที่ใหญ่ คือมีจำนวนลูกค้าและแหล่งวัตถุดิบรวมกัน 283 แห่ง ทำให้เกิดทางเลือกที่เป็นไปได้จำนวนมาก จึงไม่สามารถใช้วิธีการคำนวณแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) หรือสามารถหาค่าที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้จากวิธี Exact Method ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีเมต้าฮิวริสติกที่มีชื่อเรียกว่า “วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization)” เพื่อแก้ปัญหา LRP ของกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการหาตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมพร้อมทั้งจัดเส้นทางขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ เพื่อเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจให้กับนักลงทุน กรณีที่ศึกษาคือ โรงมันสำปะหลังทำการผลิตร้อยละ 100 และ 50 ของกำลังการผลิต และกำหนดระยะทางในการวิ่งของรถบรรทุกไม่เกิน 800 กิโลเมตร โดยตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานที่เหมาะสมคือ ต.เมือง อ.กันทรลักษ์ จ.ศรีสะเกษ และ ต.สิวีเซียร อ.น้ำยืน จ.อุบลราชธานี ซึ่งมีระยะทางรวมในการขนส่ง 28,214.7 และ 10,740.1 กิโลเมตรตามลำดับ

งานวิจัยนี้เป็นปัญหาขนาดใหญ่จำนวนรอบในการกระทำซ้ำจึงสมควรมีค่ามาก เพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลาย ซึ่งพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยใช้อาจยังไม่ดี

เท่าที่ควรเพราะเนื่องด้วยความจำกัดด้านเวลาและความสามารถของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณสำหรับวิธีอาณานิคมมดมีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายค่าด้วยกันที่มีผลต่อการค้นหาคำตอบของแต่ละปัญหา โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่แตกต่างกันอาจมีค่าที่แตกต่างกันด้วย จึงควรทดสอบเพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่คณะผู้วิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคุณนิติกันต์ บุญแข็งและเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานสนับสนุนงานวิจัยทุกท่านที่คอยช่วยดำเนินการประสานการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai tapioca starch association. Analysis to Thai tapioca market. (Cited 2010 September); Available from: <http://www.thaitapiocastarch.org/>.
- [2] Balakrishnan A, Ward J E, Wong R T. Integrated facility location and vehicle routing models: recent work and future prospects. American Journal of Mathematical and Management Science. 1987; 7(1-2): 35-61.
- [3] Laporte G. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithm. European of journal operational research. 1992; 59: 345-358.
- [4] Nagy G, Salhi S. Nested heuristic methods for the location-routing problem. Journal of operational research society. 1996; 47(9): 1166-1174.

- [5] Tuzun D, Burke L I. A two-phase tabu search approach to the location routing problem. *European journal of operational Research*. 1999; 116: 87-99.
- [6] Wu T H, Low C, Bai J W. Heuristic solutions to multi-depot location routing problems. *Computers & operations research*. 2002; 29: 1393-1415.
- [7] Jitimar P. Optimization of biogas plant location [M.Eng thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2003.
- [8] Sodsoon S, Sindhuchao S. A max min ant system for multi-depot routing problem. The 2nd International conference on operations and supply chain management; 2007 May 18-20; Novotel Hotel, Bangkok, Thailand; 2007. p. 1165-1174.