บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงหลักการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility location problem), ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ (Vehicle routing problem; VRP), ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ (Location-routing problem; LRP), ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective problems), การหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental system optimization; ESO), ฮิวรีสติก และเมตาฮิวรีสติก (Heuristics and Meta-heuristics) สำหรับการแก้ปัญหาทางด้านโลจีสติกส์ รวมถึงการทบทวนงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละหัวข้อ

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งหมายถึงการวางตำแหน่งของสิ่งปลูกสร้างเช่น โรงงาน คลังสินค้า ฯลฯ หรือเครื่องจักร ลงในพื้นที่ที่กำหนดไว้แห่งใดแห่งหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะต่างกับปัญหาการจัดวางผังโรงงานตรงที่ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งมักจะไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของพื้นที่ที่จะตั้งโรงงานมากนักและปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรหรือโรงงานแต่ละโรงอาจเกิดขึ้นหรือไม่เกิดขึ้นก็ได้

ReVelle และEiselt (2005) ได้ระบุว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะอยู่ 4 ประการด้วยกันคือ (1) ลูกค้าซึ่งมีที่ตำแหน่งที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้วที่ใดที่หนึ่ง หรืออยู่บนเส้นทางการขนส่ง, (2) โรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้ง, (3) ที่ตั้งซึ่งลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ และ (4) ค่าระยะทางหรือเวลาในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า

การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งอาจแบ่งได้เป็น 2 แนวทางใหญ่ๆ คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

Ronald H. Ballon (1999) ได้เสนอแนวทางและวิธีการในเชิงปริมาณที่สามารถทำได้ที่เป็นรู้จักดีคือ (1) วิธีจุดศูนย์ถ่วงแบบทางตรง (Exact center-of-gravity approach), (2) วิธีแบบกริด (The grid method), (3) วิธีเซนทรอยด์ (The centroid method) , (4) วิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบ Mix-Integer (Mix-Integer Linear programming), (5) วิธีการจำลองปัญหา (Simulation methods) ,(6) วิธีฮิวรีสติกส์ (Heuristics methods), และ (7) วิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบ Guided (Guided linear programming)

สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้นจะพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อธุรกิจนั้นๆ เช่น ต้นทุนค่าที่ดิน ความหนาแน่นของแรงงานที่มีฝีมือ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสาธารณูปโภคและภาษีบำรุงท้องที่ ทัศนคติของชุมชน เป็นต้น

Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดทำคู่มือในการประเมินความเหมาะสมของการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล (Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota) โดยในคู่มือดังกล่าวระบุถึงปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอลซึ่งประกอบด้วย (1) แหล่งน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต(Water supply) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 4.0 – 4.8 แกลลอนต่อการผลิตเอทานอล 1 แกลลอน, (2) การบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน (Wastewater disposal) , (3) ความอุดมสมบูรณ์ของวัตถุดิบทางเกษตรที่ใช้ในการผลิตเอทานอล (Feedstock availability) , (4) ระบบขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Transportation) เช่น สภาพถนน สถานีรถไฟ เป็นต้น, (5) ประเภทของเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานในการผลิตเอทานอล (Type of fuel) , (6) ทุนสนับสนุนหรือสิทธิประโยชน์จากภาครัฐ (Funding and economics) เนื่องจากการจัดตั้งโรงงานในบางพื้นที่อาจมีสิทธิประโยชน์ตามนโยบายส่งเสริมการลงทุนของรัฐบาล, (7) ประเด็นด้านผลกระทบต่อคนที่ในพื้นที่ (Local site issues) เช่น ฝุ่นจากการขนส่งวัตถุดิบ, เสียงจากโรงงาน, กลิ่นจากโรงงาน ฯลฯ ,และ (8) ความสัมพันธ์กับชุมชน (Community relations) (MPCA et. al, 2007)

นอกจากนี้ในช่วงทศวรรษที่ 1960 Hakimi (1964 และ 1965) ได้มีการนำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการหาสถานที่ตั้งโรงงานจำนวน p โดยการให้น้ำหนักด้านระยะทางบนโครงข่ายของจุดที่มีความต้องการสินค้า n จุด ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในเวลาต่อมาในชื่อปัญหาแบบ p-median

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ - 9 ก.ย. 2554
เลขทะเบียน 242346
เลขเรียกหนังสือ

รูปแบบทางคณิตศาสตร์มาตรฐานของปัญหาแบบ p-median เป็นดังแสดงข้างล่างนี้

$$\text{Min } z = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} w_i d_{ij} x_{ij} \qquad (2.1.1)$$

s.t.

$$\sum_{j\in J} x_{ij} = 1 \qquad \forall i\in I, \qquad (2.1.2)$$

$$x_{ij} \le y_j \qquad \forall i\in I, j\in J, \qquad (2.1.3)$$

$$\sum_{j\in J} y_j = p, \qquad (2.1.4)$$

$$x_{ij} = 0 \vee 1 \qquad \forall i\in I, j\in J, \qquad (2.1.5)$$

$$y_i = 0 \vee 1 \qquad \forall j\in J, \qquad (2.1.6)$$

เมื่อ y_i หรือตัวแปรด้านสถานที่ตั้งจะมีค่าเป็น 1 ถ้ามีการตั้งโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าที่จุด j และจะมีค่าเป็นศูนย์หากเป็นกรณีอื่น

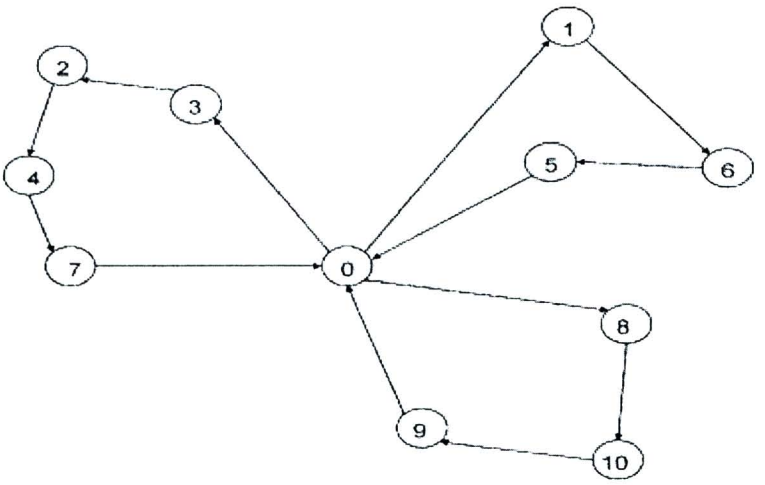
x_{ij} หรือตัวแปรด้านการจัดสรรทรัพยากรจะแสดงถึงสัดส่วนของความต้องการของลูกค้าที่จุด i ซึ่งได้รับมอบหมายให้อยู่ในความรับผิดชอบของศูนย์กระจายสินค้า j

p เป็นจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าที่จะตั้ง

2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าระหว่างจุดกระจายสินค้า (Depot) ไปยังลูกค้าโดยใช้พาหนะในการขนส่ง เช่น การส่งนม การส่งไปรษณีย์ การจัดเส้นทางรถรับส่งนักเรียน การจัดเส้นทางการเก็บขยะ ฯลฯ โดยวัตถุประสงค์ในการจัดเส้นทางขนส่งดังกล่าวก็เพื่อที่จะควบคุมต้นทุนการขนส่งให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั่นเอง

การหาเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะนั้นมุ่งเน้นไปที่การหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งสินค้าหรือวัตถุดิบให้กับลูกค้าทุกรายด้วยยานพาหนะที่มีอยู่ ภายใต้ข้อจำกัดในการดำเนินงาน เช่น ความจุของการบรรทุก เวลาในการทำงานสูงสุดของพนักงานขับรถที่กำหนดไว้ในกฎหมายแรงงาน เป็นต้น โดยเส้นทางที่ได้มานั้นต้องมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคำตอบ (Solution) สำหรบปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ (ที่มา: Bell และ McMullen,2004)

อัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาจำเป็นต้องมีการกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) ซึ่งอาจมีได้หลายวัตถุประสงค์ และแต่ละวัตถุประสงค์อาจขัดแย้งกัน โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ส่วนใหญ่คือการลดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการขนส่งซึ่งอาจอยู่ในรูปของระยะทางในการเดินทางหรือเวลาในการเดินทาง นอกจากนี้ยังอาจมีความพยายามในการลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ให้น้อยลงเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการซื้อและดูแลยานพาหนะตลอดจนค่าจ้างแรงงานของพนักงานขับรถอีกด้วย

วัตถุประสงค์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะอาจจะประกอบด้วย ประสิทธิผลของยานพาหนะ (Vehicle efficiency), ค่าปรับ (Penalty) ในกรณีที่ไม่สามารถส่งสินค้าได้ตามเวลาที่กำหนดไว้ และนโยบายมูลค่าถนน (Road pricing scheme) เช่น หากต้องใช้ถนนใจกลางเมืองก็จะมีมูลค่าสูง เป็นต้น

สำหรับตัวแปรสำคัญที่ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งจะประกอบไปด้วย (1) โครงข่ายถนน (Road network) ซึ่งหมายถึงการเชื่อมต่อระหว่างลูกค้าแต่ละรายและศูนย์กระจายสินค้า, (2) ยานพาหนะ (Vehicles) ที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างลูกค้ากับศูนย์กระจายสินค้าบนโครงข่ายถนนดังกล่าวข้างต้น และ (3) ลูกค้า (Customers) ผู้ซึ่งทำการสั่งซื้อสินค้าและเป็นผู้ที่ต้องนำสินค้าไปส่งให้นั่นเอง

โครงข่ายถนนอาจได้มาจากแผนที่ทางภูมิศาสตร์ซึ่งมีรายละเอียดของพื้นที่ในการกระจายสินค้าที่ทั้งศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้าตั้งอยู่ โดยอัลกอริทึมมาตรฐานจะสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างแต่

ละคู่ของศูนย์กระจายสินค้ากับลูกค้าเพื่อที่จะสร้างเป็นเมตริกซ์ของค่าใช้จ่ายในการขนส่งซึ่งอาจแสดงในรูปของเวลาในการเดินทางหรือในรูปของระยะทางหรือแสดงในรูปของตัวชี้วัดอื่นๆ ที่สะท้อนถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

กลุ่มของยานพาหนะและลักษณะเฉพาะของยานพาหนะก็มีผลต่อขีดจำกัดในโมเดลการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะด้วยเช่นกัน โดยยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ก็ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วยานพาหนะที่ใช้มักไม่ใช่ชนิดเดียวกันทั้งหมด ยิ่งไปกว่านั้น ลักษณะของยานยนต์เช่น ความกว้าง ความยาว น้ำหนัก ตลอดจนประเภทของรถเช่น รถบรรทุก รถพ่วง รถตู้ ฯลฯ ต่างก็มีผลกระทบต่อการขนส่งทั้งสิ้น เช่น ในสภาพถนนบางอย่างรถที่มีน้ำหนักบรรทุกมากๆ ไม่สามารถที่จะแล่นผ่านได้ เป็นต้น นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถเองก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน

นอกจากนี้ ความต้องการของลูกค้าไม่ว่าจะเป็นจำนวนสินค้าที่ต้องการ, ชนิดของสินค้า, ประเภทของการจัดส่ง เช่น ส่งอย่างเดียว หรือส่งด้วยและรับคืนสินค้าบางส่วนด้วย, คาบเวลาในการส่ง (Time windows) หรือแม้แต่เวลาในการบริการยกสินค้าขึ้น-ลงจากรถ (Service time) ต่างก็มีผลต่อการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการขนส่งทั้งสิ้น

Toth และ Vigo (2001) ได้สรุปประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะว่าประกอบไปด้วย (1) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบจำกัดความจุสินค้า (Capacitated vehicle routing problem; CVRP, (2) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีคาบเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง (Vehicles routing problem with time windows; VRPTW) และ, (3) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีการรับและส่งเข้ามาเกี่ยวข้อง (Vehicles routing problem with pick-up and delivery; VRPPD)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะแบบจำกัดความจุสินค้า ถือเป็นปัญหาขั้นพื้นฐานของการจัดเส้นทางการขนส่งที่ความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นแบบดีเทอร์มินิสติกและผู้จัดส่งทราบล่วงหน้า ในขณะที่สินค้าที่จะจัดส่งไม่สามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้ยานพาหนะไปส่งพร้อมกันทีเดียวหลายๆ คันได้ นอกจากนี้ยานพาหนะในปัญหารูปแบบนี้จะเป็นแบบเดียวกันและทั้งหมดจะออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว จุดมุ่งหมายในการแก้ปัญหา CVRP คือต้องการลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้เหลือน้อยที่สุดซึ่งโดยทั่วไปจะวัดจากระยะทางทั้งหมดที่ต้องเดินทางเพื่อไปส่งสินค้านั่นเอง ซึ่ง Labbé และคณะ ได้สรุปว่าปัญหา CVRP เป็นปัญหาแบบ NP-Hard ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีทางตรงในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล ในกรณีที่จำนวนลูกค้าไม่เกิน 50 ราย โดยวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาประกอบด้วยวิธี branch-and-bound, branch-and cut และ set-covering approach

ในขณะที่ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีคาบเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องนั้น ข้อจำกัดด้านความจุของการขนส่งจะยังคงมีอยู่ และมีข้อจำกัดด้านเวลาที่จะต้องส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย $[a_i, b_i]$และมีตัวแปรที่เพิ่มขึ้นมาในเรื่องของเวลาในการให้บริการ (s_i) ซึ่งปัญหาดังกล่าวก็จัดอยู่ในปัญหาชนิด NP-Hard เช่นกัน โดยการแก้ปัญหา VRPTW สามารถทำได้ทั้งโดยวิธีทางตรง, วิธีฮิวริสติกส์และวิธีเมตาฮิวริสติกส์

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีการรับและส่งเข้ามาเกี่ยวข้อง สินค้าที่จะได้รับการส่งจะไม่ได้อยู่เพียงแต่ในศูนย์กระจายสินค้าเท่านั้นแต่ได้รับการกระจายไปตามจุดต่างๆ ในโครงข่ายถนน โดยการขนส่งจะประกอบไปด้วยการส่งผ่านความต้องการจากจุดรับไปยังจุดส่ง นอกจากนี้ในบางครั้งปัญหาดังกล่าวยังมีการเพิ่มข้อจำกัดด้านคาบเวลาเข้าไปอีกด้วย

ลักษณะของตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาตรฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะโดยทั่วไปจะแสดงได้ดังนี้

พารามิเตอร์:

N จำนวนลูกค้าทั้งหมด

K จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมด

Q ความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง (k)

t_i ข้อจำกัดด้านเวลาของเส้นทางของยานพาหนะขนส่ง k

q_i ความต้องการสินค้าของลูกค้าที่จุด i

t_{ij}^{k} เวลาที่ใช้ในการเดินทางสำหรับยานพาหนะ k จากจุด i ไปยังจุด j ($t_{ij}^{k}=\infty$)

c_{ij} ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j

ตัวแปรตัดสินใจ:

$$x_{ij}^{k} = \begin{cases} 1, \text{ถ้ายานพาหนะ } k \text{ ทำการขนส่งสินค้าจากจุด } i \text{ ไปยังจุด } j \text{ โดยที่ } i,j \in \{1,2,\ldots,N\} \mid i \neq j \\ \text{และ } k \in \{1,2,\ldots,K\} \\ 0, \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

x เป็นเมตริกซ์ของ $x_{ij}^{k} = \sum_{k=1}^{K} x_{ij}^{k}$ แสดงการเชื่อมโยงกันของจุดแต่ละจุด

S เป็นเส้นทางของยานพาหนะแต่ละคันโดยที่ไม่รวมจุดเริ่มที่ i

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์;

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, j\neq i}^{N} \sum_{k=1}^{N} c_{ij} x_{ij}^{k} \qquad (2.2.1)$$

สมการขอบข่าย:

Subject to;

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{k=1}^{N} x_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall j \in \{1,\ldots,N\} \qquad (2.2.2)$$

$$\sum_{j=0}^{N} \sum_{k=1}^{N} x_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall j \in \{1,\ldots,N\} \qquad (2.2.3)$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} x_{pj}^{k} = 0 \qquad \forall p \in \{1,\ldots,N\}, k \in \{1,\ldots,K\} \qquad (2.2.4)$$

$$\sum_{j=0}^{N} q_{j} (\sum_{i=0}^{N} x_{ij}^{k}) \leq Q \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \qquad (2.2.5)$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} t_{ij} x_{ij}^{k} \leq D \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \qquad (2.2.6)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \qquad (2.2.7)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \qquad (2.2.8)$$

$$x_{ij}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \in \{1,\ldots,N\}, k \in \{1,\ldots,K\} \qquad (2.2.9)$$

(**ที่มา**: Laporte,G.,1996)

คำอธิบายสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2.2.1) คือการหาระยะทางในการขนส่งของยานพาหนะทุกคันที่สั้นที่สุด ในขณะที่สมการขอบข่ายสมการแรก (2.2.2) และสมการถัดมา (2.2.3) เป็นการประกันว่าลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียว ส่วนสมการขอบข่ายต่อมา (2.2.4) เป็นการประกันว่าหากยานพาหนะเข้าไปยังจุดใดก็ตามต้องออกมาจากจุดนั้นด้วย สมการขอบข่ายที่ระบุว่ายานพาหนะทุกคันที่ขนส่งสินค้าต้องบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัดที่กำหนดไว้คือสมการที่ (2.2.5)

โดยมีสมการที่ (2.2.6) เป็นสมการที่ระบุข้อกำหนดของระยะทางสูงสุดที่พาหนะขนส่ง k สามารถใช้ในการเดินทางเพื่อการขนส่งสินค้า นอกจากนี้ยังมีสมการที่ (2.2.7) และ (2.2.8) ที่ประกันว่ายานพาหนะแต่ละคันจะถูกใช้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น และสมการขอบข่ายสุดท้าย (2.2.9) เป็นสมการที่ระบุว่าตัวแปร x เป็นตัวแปรแบบไบนารี (Binary) นั่นเอง

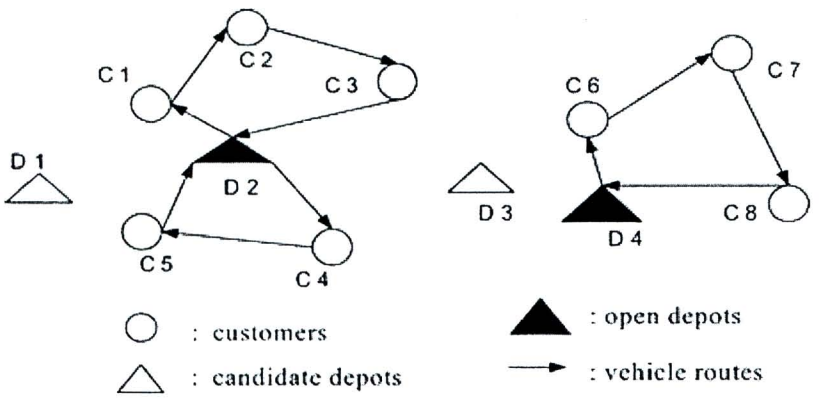
2.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะเป็นการแก้ปัญหาที่มีจุดประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งซึ่งเป็นปัญหาหลัก แต่ในขณะเดียวกันก็มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะซึ่งเป็นปัญหารองด้วย

รูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะจะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง และในขณะเดียวกันก็จะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะด้วย โดยหากเราให้ลูกค้าทุกรายเชื่อมต่อกับโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าที่จะตั้งขึ้นมา ปัญหานั้นก็จะเป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบมาตรฐาน แต่หากเรากำหนดที่ตั้งของโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าไว้เลยตั้งแต่เริ่มต้น ปัญหานั้นก็จะลดรูปลงมาเป็นเพียงปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะธรรมดานั่นเอง

ในมุมมองทางคณิตศาสตร์แล้ว ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภท NP-Hard อย่างไม่ต้องสงสัย เนื่องจากเป็นการรวมเอาปัญหา NP-Hard สองปัญหาคือ (1) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง และ (2) ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะเข้าด้วยกัน

Nagy และ Salhi (2007) ได้สำรวจรูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันออกเป็นกลุ่มๆ ตามโครงสร้างของปัญหา ชนิดของข้อมูล ช่วงเวลาในการวางแผน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า โครงสร้างของเส้นทาง ฯลฯ โดยผลการสำรวจพบว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันโดยมากอยู่ในรูปแบบของการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อที่จะส่งสินค้าไปยังลูกค้าจำนวนหนึ่งโดยมีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบดีเทอร์มินีสติก และใช้วิธีการแบบฮิวรีสติกส์ในการแก้ปัญหาเพื่อตอบสนองต่อฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านการลดต้นทุนในการดำเนินงานให้มากที่สุด



รูปที่ 2.2 รูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่ง
(ที่มา: Liu และ Lee, 2003)

ในส่วนของวิธีการแก้ปัญหาแบบทางตรง (Exact method) สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะโดยทั่วไปจะอยู่บนพื้นฐานของการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้อัลกอริทึมแบบบรานช์-แอนด์-บาวน์ (Branch-and bound), บรานช์-แอนด์-คัท (Branch-and-cut), ทฤษฎีกราฟ (Graph theoretical) เป็นต้น ซึ่งการแก้ปัญหาแบบทางตรงดังกล่าวจะมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของปัญหา โดยการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางตรงจะเหมาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็กหรือมีจำนวนศูนย์กระจายสินค้าไม่เกิน 40 ศูนย์

วิธีฮิวรีสติกส์ (Heuristics) ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้นโดยวิธีฮิวรีสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีการหลักๆ คือ (1) การแก้ปัญหาแบบลำดับขั้น (Sequential method), (2) การแก้ปัญหาแบบจัดกลุ่ม (Cluster-based method), (3) การแก้ปัญหาแบบทำซ้ำ (Iterative method) และ, (4) การแก้ปัญหาแบบตามลำดับชั้น (Hierarchical method)

ตารางที่ 2.1 จะได้สรุปรูปแบบของปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีตรงและวิธีฮิวรีสติกส์จากการสำรวจของ Nagy และ Salhi (2007)

ตารางที่ 2.1: สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ใช้วิธีทางตรงและฮิวรีสติกส์ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะ

ประเภทของปัญหา	วิธีการแก้ปัญหา	ผู้วิจัย	จำนวนศูนย์กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า
General deterministic LRP	Cutting planes	Laporte และคณะ (1983)	40	40
	Branch-and-bound	Laporte และคณะ (1988)		
	Clustering-based	Barreto และคณะ (in press)	15	318
	Iterative	Salhi and Fraser (1996)	199	199
	Hierarchical	Nagy and Salhi (1996)	400	400
	Hierarchical	Albareda-Sambola และคณะ (2005)	10	30
	Hierarchical	Melechovsky และคณะ (2005)	20	240
Round-trip location	Numerical optimization	Drezner (1982)	3	80
Eulerian location	Brand-and-cut	Ghiani และ Laporte (1999)	50	200
Minimax TS location	Graph theoretical	Averbakh และ Berman (2002)	1	ไม่ระบุ
Plant cycle location	Branch-and-cut	Labbé และคณะ (2004)	30	120
	Clustering-based	Billionnet และคณะ (2005)	6	70
Planar LRP	Iterative	Salhi และ Nagy (in review)	ไม่จำกัด	199

(ที่มา: Nagy และ Salhi ,2007)

2.4 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบหลายลำดับขั้น

Jacobsen และ Madsen (1980) และ Madsen (1983) ได้นำเสนอปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location-routing problem) โดยในปัญหาดังกล่าวหนังสือพิมพ์จะถูกส่งจากโรงพิมพ์ไปยังจุดกระจายสินค้าก่อนที่จะถูกส่งไปยังลูกค้าในที่สุด ซึ่งปัญหาการส่งหนังสือพิมพ์นี้จะประกอบไปด้วย (1) การหาสถานที่ตั้งของจุดกระจายสินค้า, (2) การออกแบบเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้า, (3) การจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละจุดกระจายสินค้า และ (4) การออกแบบเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายต่างๆ

2.5 ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์

โดยทั่วไปแล้วการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์อาจมีวัตถุประสงค์เพียงอย่างเดียวเช่น เพื่อลดระยะทางในการขนส่ง, ลดเวลาในการขนส่ง, ลดขนาดของยานพาหนะ หรือ, เพิ่มผลกำไรจากการดำเนินการ เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากเป็นการตัดสินใจในวัตถุประสงค์ที่มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ (Multiple objectives) สิ่งที่มักเกิดขึ้นก็คือวัตถุประสงค์บางอย่างจะเกิดความขัดแย้งกันเองภายใน ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนมุมมองของปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective)

Jozefowiez และคณะ (2008) ได้ระบุรูปแบบของปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective problem; MOP) ไว้ดังแสดงในสมการ (2.5.1)

$$\text{MOP} = \begin{cases} \text{Min } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_n(x)) \\ \\ s.t.\ x \in D, \end{cases} \qquad (2.5.1)$$

เมื่อ n = จำนวนวัตถุประสงค์ของปัญหา, สำหรับปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ $n \geq 2$

x = $(x_1, x_2, \ldots, x_r)$, เป็นเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

D = พื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้

$F(x)$ = เวคเตอร์ของวัตถุประสงค์

คำตอบที่ได้จากแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์จะอยู่ในรูปของเซตของพาเรโต (Pareto set) โดยในการแก้ปัญหาจะกระทำได้สามแนวทางคือ (1) แนวทาง *a priori* ซึ่งผู้ตัดสินใจจะกำหนดความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ไว้ตั้งแต่เริ่มต้น, (2) แนวทาง *interactive* ซึ่งผู้ตัดสินใจจะเลือกให้ความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ระหว่างกระบวนการแก้ปัญหากำลังดำเนินการอยู่ และ, (3) แนวทาง *a posteriori* ซึ่งเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะได้รับนำเสนอเพื่อให้ผู้ตัดสินใจเลือก

ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจีสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์ได้ถูกนำไปประยุกต์ในหลายทางด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็น (1) การขยายปัญหาขอบเขตของปัญหาดั้งเดิมเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง เช่น เพิ่มวัตถุประสงค์ด้านเวลา (Time window) หรือวัตถุประสงค์ด้านความพึงพอใจของลูกค้า (Customer

satisfaction) เป็นต้น และ (2) การประยุกต์ปัญหาเข้ากับกรณีศึกษาในชีวิตจริง (Real-life cases) เช่น ปัญหาการขนส่งวัตถุอันตรายซึ่งจะมีวัตถุประสงค์ด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัยเพิ่มเติมด้วย เป็นต้น

2.6 การหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดเป็นศาสตร์ที่ทวีความสำคัญอย่างมากในโลกปัจจุบัน โดยเฉพาะการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับภาคธุรกิจเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน ซึ่งโดยทั่วไปการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเป็นการศึกษาปัญหาเพื่อที่จะหาค่าที่มากที่สุดหรือน้อยที่สุดของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ภายใต้สมการขอบข่ายที่เป็นข้อจำกัดของปัญหา

เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเริ่มจากการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาและกำหนดตัวแปรต่างๆ (Variables) ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างธุรกิจ หรือสภาพของกระบวนการจะถูกกำหนดเป็นสมการขอบข่าย (Constraints) ซึ่งทั้งหมดจะอยู่ภายใต้วัตถุประสงค์ (Objective) ที่กำหนดขึ้นมา โดยวัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้นนี้อาจมีเพียงวัตถุประสงค์เดียวหรือหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective) ก็เป็นได้

โดยปกติแล้วการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบทางวิศวกรรมจะมุ่งเน้นไปที่วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์แต่เพียงอย่างเดียว เช่น การลดต้นทุนในการผลิตให้ได้มากที่สุด (Minimize operation cost) หรือการสร้างความสามารถในการทำกำไรที่มากที่สุด (Maximize profitability) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำเอาการพัฒนาสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental performance) เข้ามาเป็นอีกวัตถุประสงค์หนึ่งในกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย

ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้านสิ่งแวดล้อมนั้นจะมีความคล้ายคลึงกับการหาคำตอบที่ดีที่สุดทั่วๆ ไป แต่จะมีการเพิ่มวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impact) ดังนั้นระบบการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีการเพิ่มวัตถุประสงค์ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเข้าไปจึงเรียกได้ว่าเป็นการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective optimization) นั่นเอง

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์และวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถเขียนได้ดังนี้

Minimize	F	$= cy + f(x)$	(2.6.1)
and			
Minimize	E_k	$= \sum_{n=1}^{N} ec_{k,j} B_j$	(2.6.2)
Subject to;	h(x,y)	$= 0$	(2.6.3)
	g(x,y)	≤ 0	(2.6.4)
	$x \in X$	$\subseteq R^n$	(2.6.5)
	$y \in Y$	$\subseteq Z^q$	(2.6.6)

เมื่อ

F	เป็นเวคเตอร์ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์
c	เป็นเวคเตอร์ของสัมประสิทธิ์ด้านต้นทุนหรือกำไรสำหรับตัวแปร y
f(x)	เป็นฟังก์ชั่นที่สัมพันธ์กับตัวแปรแบบต่อเนื่อง
E_k	เป็นเวคเตอร์ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม
ec_{kj}	เป็นค่าความสัมพันธ์ของภาระ B_j ที่ส่งผลกระทบต่อ E_k
$h(x,y) = 0$	เป็นสมการขอบข่ายแบบเท่ากับ (Equality constraints)
$g(x,y) \leq 0$	เป็นสมการขอบข่ายแบบไม่เท่ากับ (Inequality constraints)
x	เป็นเวคเตอร์ของตัวแปรแบบต่อเนื่อง (Continuous variable)
y	เป็นเวคเตอร์ของตัวแปรแบบจำนวนนับ (Integer variable)

2.7 ฮิวรีสติกและเมตาฮิวรีสติก

วิธีฮิวรีสติกเป็นวิธีหาคำตอบที่ดีเพียงพอภายในเวลาที่จำกัดสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะปัญหาการตัดสินใจที่อยู่ในคลาส NP ซึ่งเมื่อตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหามีจำนวนมากขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเพิ่มอย่างขึ้นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการหรืออัลกอริทึมใดๆ ที่จะมาหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาที่จำกัด

ณกร (2548) ได้สรุปว่าปัญหาที่เหมาะสำหรับการแก้ด้วยวิธีฮิวรีสติกจะมีลักษณะต่างๆ ประกอบด้วย (1) ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ (Ill=structured problem), (2) ปัญหาที่ผู้วิจัยพยายามทำให้เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างสมบูรณ์แต่ได้ละเลยเงื่อนไขของปัญหาบางอย่างหรือทำให้ง่ายขึ้น, (3) ปัญหาที่มีตัวแปรการตัดสินใจและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก และ, (4) ปัญหาที่ไม่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด (Good feasible solution)

ตัวอย่างของวิธีฮิวรีสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านโลจีสติกส์ เช่น วิธีในกลุ่มของ Contructive เช่น วิธีละโมบ (Greedy) และวิธีประหยัด (Saving) , วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood search) หรือวิธีโลคอล (Local search)

สำหรับวิธีเมตาฮิวรีสติกนั้นเป็นวิธีฮิวรีสติกส์แบบมาตรฐานที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดย Blum และ Roli (2003) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวรีสติกไว้ว่า (1) เมตาฮิวรีสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible region) ,(2) เมตาฮิวรีสติกมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด, (3) วิธีการทางเมตาฮิวรีสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน, (4) เมตาฮิวรีสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ, (5) เมตาฮิวรีสติกอาจเกิดจากการรวมกันของหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้, (6) เมตาฮิวรีสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้ในแต่ละปัญหา, (7) เมตาฮิวรีสติกสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย, (8) เมตาฮิวรีสติกอาจเป็นคำบรรยายโดยย่อหรือเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ก็ได้ และ, (9) เมตาฮิวรีสติกส์บางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวเพื่อจำคำตอบเดิมซึ่งเป็นประโยชน์ในการค้นหาคำตอบใหม่ที่ไม่แตกต่างไปจากเดิม

นอกจากนี้ Blum และ Roli (2003) ยังได้เสนอวิธีการจำแนกเมตาฮิวรีสติกออกเป็น 5 วิธี ได้แก่ (1) เมตาฮิวรีสติกที่เกิดจากแรงบันดาลใจทางธรรมชาติ (เช่น วิธีระบบมด,วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และไม่เกิดจากแรงบันดาลใจทางธรรมชาติ (เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ), (2) เมตาฮิวรีสติกแบบใช้

ประชากร (เช่นระบบมด, วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และไม่ใช้ประชากร (วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน, วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ), (3) เมตาฮิวริสติกแบบเป้าหมายคงที่ (เช่น วิธีการระบบมด, วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และแบบเปลี่ยนสมการเป้าหมาย (เช่น วิธี Guide local search ฯลฯ), (4) เมตาฮิวริสติกแบบที่มีการเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียง (เช่น วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข ฯลฯ) และแบบที่วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคงที่ (เช่น วิธีระบบมด, วีธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และ, (5) เมตาฮิวริสติกที่มีการใช้หน่วยความจำ (เช่นวิธีระบบมด, วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ) และไม่ใช้หน่วยความจำ (เช่น วิธีการค้นหาในพื้นที่บางส่วนของพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้แบบวนรอบ)

2.8 การหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาคำตอบเฉพาะที่ซึ่งมีการทำงานแบบวนซ้ำ

การหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาคำตอบเฉพาะที่ซึ่งมีการทำงานแบบวนซ้ำ (Iterated Local Search; ILS) เป็นอัลกอริทึมที่มีซับซ้อนน้อยแต่สามารถค้นหาคำตอบให้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้โดยการเพิ่มรอบการค้นหา โดยวิธีค้นหาคำตอบแบบ ILS จะเริ่มต้นจากคำตอบที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขแล้วใช้ขั้นตอนการกระทำซ้ำเพื่อพยายามหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบัน (ณกร, 2548)

เราอาจเขียนรหัสเทียม (Pseudo Code) ของวิธี ILS ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3

---

procedure *Iterated Local Search*

s_0 = Generate Initial Solution

s* = LocalSearch (s0)

repeat

s' = Perturbation (s*, history)

s*' = LocalSearch (s')

s*= AcceptanceCriterion (s*, s*',history)

Until termination condition met

end

รูปที่ 2.3 รหัสเทียมของวิธีการ Iterated Local Search