บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ (Location-Allocation Problem; LAP) ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Problems) ฮิวริสติก และเมตาฮิวริสติก (Heuristics and Meta-heuristics) สำหรับการแก้ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์

2.1 การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม

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 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

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) วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics methods), และ (7) วิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบ Guided (Guided linear programming)

สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้นจะพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อธุรกิจนั้นๆ เช่น ต้นทุน ค่าที่ดิน 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

รูปแบบทางคณิตศาสตร์มาตรฐานของปัญหาแบบ p-median เป็นดังแสดงข้างล่างนี้

$$\text{Min } z = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} w_i d_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_{j\in J} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I, \tag{2}$$

$$x_{ij} \le y_j \qquad \forall i \in I, j \in J, \tag{3}$$

$$\sum_{j\in J} y_j = p, \tag{4}$$

$x_{ij} = 0 \vee 1 \qquad \forall i \in I, j \in J,$ (5)

$y_i = 0 \vee 1 \qquad \forall j \in J,$ (6)

เมื่อ y_i หรือตัวแปรด้านสถานที่ตั้งจะมีค่าเป็น 1 ถ้ามีการตั้งโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าที่จุด j และจะมีค่าเป็นศูนย์หากเป็นกรณีอื่น

x_{ij} หรือตัวแปรด้านการจัดสรรทรัพยากรจะแสดงถึงสัดส่วนของความต้องการของลูกค้าที่จุด i ซึ่งได้รับมอบหมายให้อยู่ในความรับผิดชอบของศูนย์กระจายสินค้า j

p เป็นจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าที่จะตั้ง

การเลือกทำเลที่ตั้งเป็นโรงงานอุตสาหกรรม เป็นเรื่องสำคัญสำหรับผู้บริหาร เพราะการค้นหาว่าจะตั้งโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ที่ใดที่หนึ่ง จะมีผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายทั้งที่เป็นต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน ซึ่งผลกำไรจากบริษัทจะได้รับผลกระทบทันทีหากตัดสินใจเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมไม่เหมาะสม ผู้บริหารก็จะต้องตัดสินใจวางแผนเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดำเนินการดังนี้

2.1.1 การลงทุน (Investment) ปกติการลงทุนในสถานที่ อาคาร เครื่องจักร และ อุปกรณ์ จะต้องใช้เงินลงทุนสูงและเคลื่อนย้ายยาก ซึ่งผู้บริหารต้องตัดสินใจเกี่ยวกับการเช่าหรือซื้อขาดว่าทางเลือกใดมีความเหมาะสมกว่ากัน

2.1.2 ต้นทุนการบริหาร (Management Cost) การตัดสินใจเลือกที่ตั้งมีผลกระทบต่อการจัดการทางการเงินและต้นทุนการดำเนินงาน เนื่องจากที่ตั้งแต่ละแห่งมีต้นทุนที่แตกต่างกัน เช่น ค่าขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ การติดต่อสื่อสาร และค่าจ้างแรงงาน เป็นต้น

2.1.3 การขยายกิจการ (Growth) การขยายตัวในอนาคตขององค์การทั้งด้านการดำเนินงานหรือตลาดซึ่งผู้บริหารจะต้องพิจารณาข้อเปรียบเทียบของแต่ละทางเลือก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความคับแคบในการดำเนินงานหรือให้บริการในอนาคต แต่ถ้าธุรกิจจัดเตรียมพื้นที่มากเกินไปจะเป็นการลงทุนที่ไม่มีผลตอบแทน ตลอดจนก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงในการดำเนินงาน

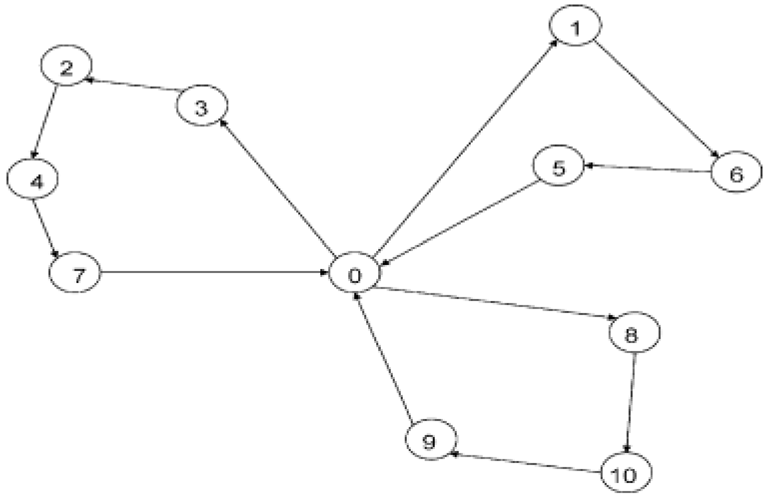
2.1.4 ความได้เปรียบในการแข่งขัน (Competitive Advantage) เป็นประเด็นสำคัญในการตัดสินใจของผู้บริหาร ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวของธุรกิจ ที่ตั้งที่เหมาะสมช่วยให้ต้นทุนการดำเนินงานของธุรกิจต่ำ ทั้งต้นทุนทางตรงและทางอ้อม ตลอดจนที่ตั้งที่เหมาะสมช่วยดึงดูดผู้บริโภคซึ่งจะช่วยสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับธุรกิจ

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกที่ตั้งโรงงานมีอยู่มากมาย อย่างไรก็ตามมักปรากฏอยู่เสมอว่ามีเพียงปัจจัยไม่กี่อย่างที่มีผลสำคัญต่อการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น ในกรณีของโรงงานผลิตสินค้า ปัจจัยที่มีผลอย่างสำคัญต่อการเลือกที่ตั้งประกอบด้วย ความพร้อมทางด้านพลังงาน เส้นทางการขนส่ง และแหล่งวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่น โรงงานอุตสาหกรรมเหล็กกล้าต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงานคือไฟฟ้า โรงงานปูนซีเมนต์ต้องอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบ เป็นต้น นอกจากนี้เส้นทางการขนส่งทั้งทางน้ำ บก และอากาศ ก็จะมีผลอย่างสำคัญต่อต้นทุนการผลิตและจำหน่าย ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกที่ตั้งของโรงงาน อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับทรัพยากรการผลิต และปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม โดยปัจจัยที่เกี่ยวกับทรัพยากรการผลิต ประกอบด้วย วัตถุดิบ ตลาดสินค้า แรงงาน ที่ดิน การขนส่ง แหล่งพลังงาน และสาธารณูปโภคที่ใช้ในการผลิต

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) สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ (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;

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, j\neq i}^{N} \sum_{k=1}^{N} c_{ij} x_{ij}^{k} \quad (8)$$

สมการขอบข่าย:

Subject to;

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{k=1}^{N} x_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall j \in \{1,\ldots,N\} \quad (9)$$

$$\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=1}^{N} x_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall j \in \{1,\ldots,N\} \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} x_{pj}^{k} = 0 \qquad \forall p \in \{1,\ldots,N\}, k \in \{1,\ldots,K\} \quad (11)$$

$$\sum_{j=0}^{N} q_j (\sum_{i=0}^{N} x_{ij}^{k}) \leq Q \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} t_{ij} x_{ij}^{k} \leq D \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1,\ldots,K\} \quad (15)$$

$$x_{ij}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \in \{1,\ldots,N\}, k \in \{1,\ldots,K\} \quad (16)$$

(**ที่มา**: Laporte,G.,1996)

คำอธิบายสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (8) คือการหาระยะทางในการขนส่งของยานพาหนะทุกคันที่สั้นที่สุด ในขณะที่สมการขอบข่ายสมการแรก (9) และสมการถัดมา (10) เป็นการประกันว่าลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียว ส่วนสมการขอบข่ายต่อมา (11) เป็นการประกันว่าหากยานพาหนะเข้าไปยังจุดใดก็ตามต้องออกมาจากจุดนั้นด้วย สมการขอบข่ายที่

ระบุว่ายานพาหนะทุกคันที่ขนส่งสินค้าต้องบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัดที่กำหนดไว้คือสมการที่ (12) โดยมีสมการที่ (13) เป็นสมการที่ระบุข้อกำหนดของระยะทางสูงสุดที่พาหนะขนส่ง k สามารถใช้ในการเดินทางเพื่อการขนส่งสินค้า นอกจากนี้ยังมีสมการที่ (14) และ (15) ที่ประกันว่ายานพาหนะแต่ละคันจะถูกใช้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น และสมการขอบข่ายสุดท้าย (16) เป็นสมการที่ระบุว่าตัวแปร x เป็นตัวแปรแบบไบนารี (Binary) นั่นเอง

การวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อมีการศึกษาปัจจัยในการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว บางครั้งอาจจะมีทำเลให้เลือกหลายทำเล ซึ่งการที่จะตัดสินใจเลือกเอาทำเลใดทำเลหนึ่งเป็นทำเลที่ตั้งโรงงานนั้นก็เป็นเรื่องที่ยากที่จะตัดสินใจได้ง่ายๆ หากไม่มีการวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน เพื่อช่วยให้ตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานได้ง่ายขึ้น การวิเคราะห์ปัจจัยเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานทำกัน 5 วิธี คือ

1. วิธีให้คะแนน (Rating Plan)
2. วิธีเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย (Cost Comparison)
3. วิธีวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของทำเลที่ตั้ง (Location break-even analysis)
4. วิธีเปรียบเทียบระยะทาง (Distance Comparison)
5. วิธีวิเคราะห์ด้วยตัวแบบการขนส่ง (Transportation Model)

ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะวิธีที่ 1 เท่านั้น เพราะจะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยโดยเฉพาะ วิธีให้คะแนน (Rating Plan) วิธีนี้มีการชั่งน้ำหนักปัจจัยต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการผลิต ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดก็จะได้รับคะแนนมากที่สุด เช่น สมมติว่า ปัจจัยที่ตั้งทำเลใกล้แหล่งวัตถุดิบสำคัญที่สุด ก็จะกำหนดให้คะแนน 400 คะแนน ส่วนสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญน้อยก็จะให้คะแนนเต็ม 50 คะแนน เมื่อมีทำเลให้เลือก 3 ทำเล ผู้วิเคราะห์ก็จะให้คะแนนครบทุกทำเลในความเป็นจริงในการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีด้วยกันหลายปัจจัย ผู้วิเคราะห์ก็จะต้องให้คะแนนทุกปัจจัย และทุกทำเลที่ตั้งนำมาวิเคราะห์

หลังจากให้คะแนนเต็มของแต่ละปัจจัยแล้ว ต่อไปผู้วิเคราะห์ก็จะพิจารณาว่า แต่ละทำเลนั้นควรจะได้คะแนนมากน้อยแตกต่างกันเพียงใด และนำมาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าคะแนน ดังตัวอย่าง ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1: เปรียบเทียบทำเลที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีใช้คะแนน

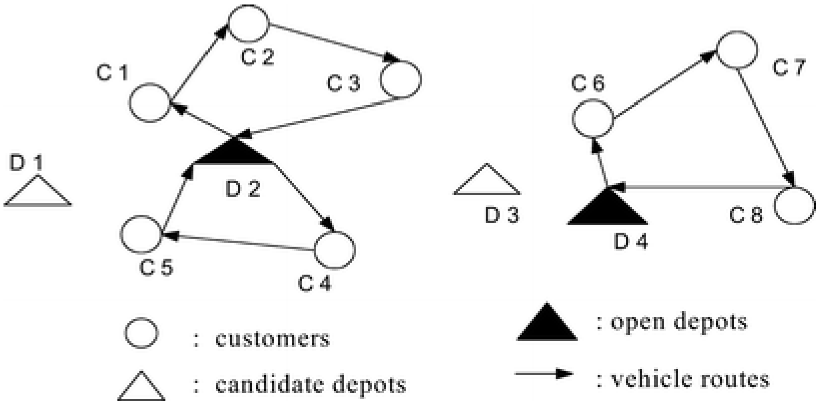
ปัจจัย	คะแนนเต็ม	ทำเล ก	ทำเล ข	ทำเล ค
1. ใกล้แหล่งวัตถุดิบ	400	300	250	150
2. ใกล้แหล่งตลาด	300	150	200	250
3. แรงงานหาง่าย	275	150	225	175
4. การขนส่งสะดวก	125	125	100	125
5. น้ำประปาสะดวกพอเพียง	200	100	150	175
6. ไฟฟ้าสะดวก	200	150	150	100
7. การระบายสิ่งโสโครก	100	50	75	75
8. ค่าที่ดินและสิ่งก่อสร้าง	70	60	50	50
9. สิ่งแวดล้อม	50	25	40	35
รวม	1,720	1,110	1,240	1,135

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 โดยผลการสำรวจพบว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันโดยมากอยู่ในรูปแบบของการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อที่จะส่งสินค้าไปยังลูกค้าจำนวนหนึ่งโดยมีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบดีเทอร์มินิสติก และใช้วิธีการแบบฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาเพื่อตอบสนองต่อฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านการลดต้นทุนในการดำเนินงานให้มากที่สุด



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

วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้นโดยวิธีฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีการหลักๆ คือ (1) การแก้ปัญหาแบบลำดับขั้น (Sequential

method), (2) การแก้ปัญหาแบบจัดกลุ่ม (Cluster-based method), (3) การแก้ปัญหาแบบทำซ้ำ (Iterative method) และ, (4) การแก้ปัญหาแบบตามลำดับชั้น (Hierarchical method)

ตารางที่ 2 ได้สรุปรูปแบบของปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีตรงและวิธีฮิวรีสติกส์จากการสำรวจของ Nagy และ Salhi (2007)

ตารางที่ 2.2 : 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)

Jozefowiez และคณะ (2008) ได้สำรวจรูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันออกเป็นกลุ่มๆ ตามโครงสร้างของปัญหา ชนิดของข้อมูล ช่วงเวลาในการวางแผน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า โครงสร้างของเส้นทาง ฯลฯ โดยผลการสำรวจพบว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันโดยมากอยู่ในรูปแบบของการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อที่จะส่งสินค้าไปยังลูกค้าจำนวนหนึ่งโดยมีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบดีเทอร์มินีสติกและใช้วิธีการแบบฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาเพื่อตอบสนองต่อฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านการลดต้นทุนในการดำเนินงานให้มากที่สุด

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

วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้นโดยวิธีฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีการหลักๆ คือ (1) การแก้ปัญหาแบบลำดับขั้น (Sequential method), (2) การแก้ปัญหาแบบจัดกลุ่ม (Cluster-based method), (3) การแก้ปัญหาแบบทำซ้ำ (Iterative method) และ, (4) การแก้ปัญหาแบบตามลำดับชั้น (Hierarchical method) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จะได้สรุปรูปแบบของปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีตรงและวิธีฮิวริสติกส์

2.4 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบหลายลำดับขั้น

Jacobsen และ Madsen (1980) และ Madsen (1983) ได้นำเสนอปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location-routing problem) โดยในปัญหาดังกล่าวหนังสือพิมพ์จะถูกส่งจากโรงพิมพ์ไปยังจุดกระจายสินค้าก่อนที่จะถูกส่งไปยังลูกค้าในที่สุด ซึ่งปัญหาการส่งหนังสือพิมพ์นี้จะประกอบไปด้วย (1) การหาสถานที่ตั้งของจุดกระจายสินค้า, (2) การ

ออกแบบเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้า, (3) การจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละจุดกระจายสินค้า และ (4) การออกแบบเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายต่างๆ

Buddadee et al. (2008, 2009) ได้ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อย โดยศึกษาถึงผลของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ

นัทธพงศ์ และคณะ (2551, 2552) ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยแบบหลายจุดประสงค์ (multi-objectives) โดยที่การระบุปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะ 4 ประการ คือ (1) ที่ตั้งของลูกค้าที่มีที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้ว (2) ที่ตั้งโรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้งเอง (3) ที่ตั้งที่ลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ (4) ระยะทางในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า นอกจากนี้การศึกษายังเป็นการเลือกสถานที่ตั้งแบบสองระดับ ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location routing problem) โดยที่ได้เสนอไว้ในปัญหาการขนส่งซึ่งประกอบด้วย (1) การหาสถานที่ตั้งของโรงงานเอทานอล (2) การออกแบบเส้นทางของยานพาหนะจากโรงงานน้ำตาลไปยังโรงงานเอทานอล (3) การจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละจุดของโรงงานเอทานอล และ (4) การออกแบบเส้นทางยานพาหนะที่ออกจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ตารางที่ 2.3: สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ใช้วิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะ

ประเภทของปัญหา	วิธีการแก้ปัญหา	ผู้วิจัย	จำนวนศูนย์กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า
General deterministic LRP	Cutting planes Branch-and-bound	Laporte และคณะ (1983) Laporte และคณะ (1988)	40	40
	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: Jozefowiez และคณะ, 2008)

2.5 ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์

โดยทั่วไปแล้วการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์อาจมีวัตถุประสงค์เพียงอย่างเดียวเช่น เพื่อลดระยะทางในการขนส่ง, ลดเวลาในการขนส่ง, ลดขนาดของยานพาหนะ หรือ, เพิ่มผลกำไรจากการดำเนินการ เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากเป็นการตัดสินใจในวัตถุประสงค์ที่มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ (Multiple objectives) สิ่งที่มักเกิดขึ้นก็คือวัตถุประสงค์บางอย่างจะเกิดความขัดแย้งกันเองภายใน ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนมุมมองของปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective)

Jozefowiez และคณะ (2008) ได้ระบุรูปแบบของปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective problem; MOP) ไว้ดังแสดงในสมการ (2.1)

$$\text{MOP} = \begin{cases} \text{Min } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_n(x)) \\ \\ s.t.\ x \in D, \end{cases} \tag{2.1}$$

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

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

D = พื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้

$F(x)$ = เวคเตอร์ของวัตถุประสงค์

ณกร (2548) ได้ให้คำนิยามของโลจิสติกส์ หมายถึง การจัดการลำเลียงขนส่งสินค้าเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด โดยเริ่มจากกระบวนการจัดหาวัตถุดิบไปจบที่ผู้บริโภค โดยมีการจัดการวางแผน การจัดสายงาน การควบคุมกิจกรรมในส่วนที่มีการเคลื่อนย้ายและไม่มีการเคลื่อนย้าย รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกในกระบวนการไหลสินค้า

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

ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจีสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์ได้ถูกนำไปประยุกต์ในหลายทางด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็น (1) การขยายปัญหาขอบเขตของปัญหาดั้งเดิมเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง เช่น เพิ่มวัตถุประสงค์ด้านเวลา (Time window) หรือวัตถุประสงค์ด้านความพึงพอใจของลูกค้า (Customer satisfaction) เป็นต้น และ (2) การประยุกต์ปัญหาเข้ากับกรณีศึกษาในชีวิตจริง (Real-life cases) เช่น ปัญหาการขนส่งวัตถุอันตรายซึ่งจะมีวัตถุประสงค์ด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัยเพิ่มเติมเข้าไปด้วย

Budadee (2008, 2009) ได้ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยมองถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยในการผลิตเอทานอลมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

นัทธพงศ์ นันทสำเริง (2551, 2552) ได้ศึกษาปัญหาเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากวัตถุดิบชานอ้อย แบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งได้แก่ ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านความเสี่ยง ด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าการให้น้ำหนักของสมการเป้าหมายที่ต่างกันจะส่งผลให้การเปิดโรงงานเอทานอลในพื้นที่และจำนวนที่ต่างกัน

ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์ได้ถูกนำไปประยุกต์ในหลายด้านด้วยกันไม่ว่าจะเป็น

(1) การขยายปัญหาขอบเขตปัญหาดั้งเดิมเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง เช่น เพิ่มวัตถุประสงค์ด้านเวลา หรือวัตถุประสงค์ด้านความพึงพอใจของลูกค้า

(2) ประยุกต์ปัญหาเข้ากับกรณีศึกษาจริง เช่น ปัญหาการหาที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะต้องมีวัตถุประสงค์ที่เพิ่มในเรื่องของสิ่งแวดล้อมของคนในพื้นที่ด้วย

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

ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้านสิ่งแวดล้อมนั้นจะมีความคล้ายคลึงกับการหาคำตอบที่ดีที่สุดทั่วๆไป แต่จะมีการเพิ่มวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impact) ดังนั้นระบบการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีการเพิ่มวัตถุประสงค์ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเข้าไปจึงเรียกได้ว่าเป็นการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective optimization) นั่นเอง

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์และวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถเขียนได้ดังนี้

Minimize F $= cy + f(x)$ (18)

and

Minimize E_k $= \sum_{n=1}^{N} ec_{k,j} B_j$ (19)

Subject to; $h(x,y) = 0$ (20)

$g(x,y) \leq 0$ (21)

$x \in X \subseteq R^n$ (22)

$y \in Y \subseteq Z^q$ (23)

เมื่อ F เป็นเวคเตอร์ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์

c เป็นเวคเตอร์ของสัมประสิทธิ์ด้านต้นทุนหรือกำไรสำหรับตัวแปร y

f(x) เป็นฟังก์ชั่นที่สัมพันธ์กับตัวแปรแบบต่อเนื่อง

E_k เป็นเวคเตอร์ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม

$ec_{k,j}$ 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 อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการหรืออัลกอริทึมใดๆ ที่จะมาหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาที่จำกัด

(ณกร, 2548) ได้สรุปว่าปัญหาที่เหมาะสำหรับการแก้ด้วยวิธีฮิวรีสติกจะมีลักษณะต่างๆ ประกอบด้วย (1) ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ (Structured problem), (2) ปัญหาที่ผู้วิจัยพยายามทำให้เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างสมบูรณ์แต่ได้ละเลยเงื่อนไขของปัญหาบางอย่างหรือทำให้ง่าย

ขึ้น, (3) ปัญหาที่มีตัวแปรการตัดสินใจและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก และ, (4) ปัญหาที่ไม่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด (Good feasible solution)

วิธีฮิวริสติก หมายถึง วิธีการคิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งไม่มีแบบแผนที่แน่นอนตายตัว โดยการสร้างฮิวริสติกนั้นมักต้องอาศัยความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหานั้นๆ เป็นอย่างดี ดังนั้นวิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาอีกปัญหาหนึ่งได้ และไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เท่ากันทุกครั้ง แต่สามารถได้คำตอบในเวลาที่รวดเร็ว หรือสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนจนไม่สามารถเขียนเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้ วิธีฮิวริสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของวิธีการในการสร้างคำตอบให้แก่ (1) วิธีฮิวริสติกแบบสร้างคำตอบ วิธีนี้จะเริ่มสร้างคำตอบโดยเริ่มจากการค่อยๆ เพิ่มลูกค้าในเส้นทางทีละรายหรือเพิ่มโหนดทีละโหนด จนประกอบกันเป็นคำตอบที่สมบรูณ์ เช่น วิธี Saving, Matching Based, Nearest Insertion, Nearest Neighbor เป็นต้น (2) วิธีฮิวริสติกแบบค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighbourhood Search Heuristic) เป็นวิธีสร้างคำตอบขึ้นมาคำตอบหนึ่งที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแล้วนำคำตอบนั้นมาทำการสลับตำแหน่งไปเรื่อยๆ เพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิม ตามรอบที่กำหนดที่ได้ออกแบบไว้ เช่น วิธี Cluster First-Route Second, วิธี Route First- Cluster second, Sweep, วิธี Petal เป็นต้น ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยโลจิสติกส์ เช่น วิธี Saving วิธี Matching Based วิธี Nearest Insertion วิธี Nearest Neighbor และวิธี Local Search เป็นต้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกจึงถูกพัฒนาให้มีความยืดหยุ่น รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เรียกว่า เมต้าฮิวริสติก (Meta-Heuristic)

ตัวอย่างของวิธีฮิวรีสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านโลจีสติกส์ เช่น วิธีในกลุ่มของ Contructive เช่น วิธีละโมบ (Greedy) และวิธีประหยัด (Saving), วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood-search) หรือวิธีโลคอล (Local search) สำหรับวิธีเมตาฮิวรีสติกเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นมากและสามารถดัดแปลงในการหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดย ระพีพันธ์ (2550, 2554) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวรีสติกไว้ว่า (1) เมตาฮิวรีสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible region), (2) เมตาฮิวรีสติกมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด, (3) วิธีการทางเมตาฮิวรีสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน, (4) เมตาฮิวรีสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ, (5) เมตาฮิวรีสติกอาจเกิดจากการรวมกันของหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้, (6) เมตาฮิวรีสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้ในแต่ละปัญหา, (7) เมตาฮิวรีสติกสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย, (8) เมตาฮิวรีสติกอาจเป็นคำบรรยายโดยย่อหรือเป็นหลักการทาง

คณิตศาสตร์ก็ได้ และ, (9) เมตาฮิวริสติกส์บางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวเพื่อจำคำตอบเดิมซึ่งเป็นประโยชน์ในการค้นหาคำตอบใหม่ที่ไม่แตกต่างไปจากเดิม

นอกจากนี้ ระพีพันธ์ (2554) ยังได้เสนอวิธีการจำแนกเมตาฮิวริสติกออกเป็น 5 วิธีได้แก่ (1) เมตาฮิวริสติกที่เกิดจากแรงบันดาลใจทางธรรมชาติ (เช่น วิธีระบบมด,วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และไม่เกิดจากแรงบันดาลใจทางธรรมชาติ (เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ), (2) เมตาฮิวริสติกแบบใช้ประชากร (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, วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และ, (5) เมตาฮิวริสติกที่มีการใช้หน่วยความจำ (เช่นวิธีระบบมด, วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ) และไม่ใช้หน่วยความจำ (เช่น วิธีการค้นหาในพื้นที่บางส่วนของพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้แบบวนรอบ)

Yong (2010) นำเสนอวิธีการทางฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของขนาดปัญหา โดยวิธีฮิวริสติกที่นำมาใช้เป็นวิธีการประมาณการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า “Cluster-Based” ในการจัดสรรลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้า และขั้นตอนต่อจากนั้นจะเป็นการสร้างเส้นทางด้วยวิธี Clarke and Wright Saving Heuristic ต่อมาได้นำเสนอวิธีทาบูเซิร์ช (Tabu Search) แบบสองเฟสเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งที่มีขนาดของปัญหา 200 ลูกค้า โดยเปรียบเทียบคำตอบที่ได้และเวลาที่ใช้กับวิธีฮิวริสติกแบบ Saving ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าวิธี Tabu Search ที่ออกแบบมาได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี Saving แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า

Liu และ Lampinen (2005) ทำการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีหลายขนาด โดยส่งสินค้าออกจากศูนย์กลางการกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการทางฮิวริสติกจัดเรียงลำดับของค่าประหยัด (Saving) และเชื่อมเส้นทางต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ทราบจำนวนรถบรรทุกที่ต้องการใช้และปริมาณสินค้าในแต่ละคัน จากการคำนวณค่าเวลาหรือระยะทางใช้จ่ายในการขนส่งที่ประหยัดสูงที่สุด นอกจากวิธีฮิวริสติกที่กล่าวมา ในอดีตที่ผ่านมามีการศึกษาหาวิธีหาคำตอบโดยใช้วิธีฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม วิธี GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) วิธี SA (Simulated Annealing) เป็นต้น

สุพรรณ สุดสนธิ์ (2549) ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีทางพันธุกรรม เพื่อแก้ไขปัญหาการเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่ง จากการใช้วิธีดังกล่าวพบว่าคำตอบและเวลาในการหาคำตอบมีประสิทธิภาพที่เหมาะสม

สุพรรณ สุดสนธิ์ (2550) ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธี อาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ เพื่อแก้ไขปัญหาการเลือกตั้งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและจัดการเส้นทางการขนส่ง จากการใช้วิธีดังกล่าวพบว่าคำตอบและเวลาในการหาคำตอบมีประสิทธิภาพที่เหมาะสม

สรุประเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมของเมตาฮิวริสติก

การศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบ มาจากชานอ้อยและกากมัน ที่มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Stochastic แล้วนำมาหาระเบียบวิธีเพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดค่าคำตอบที่มีความเหมาะสมที่สุด มีระเบียบวิธีที่นำมาพิจารณามากมาย และตัดสินใจเลือกใช้เป็นเครื่องมือศึกษา ดังนี้

1. Ant colony optimization (ACO) เป็นระเบียบวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาแหล่งอาหารของมดจากแหล่งที่อยู่อาศัยคือรังมด โดยใช้สารที่ปล่อยจากก้นเป็นเส้นทางเดิน (Agents) เมื่อเข้าใกล้หรือเจอเป้าหมายมดจะปล่อยสารจากก้นจำนวนมากขึ้นและถี่ขึ้น เมื่อนำพฤติกรรมการหาเป้าหมายอาหารของมดมาหาเป้าเชิงเลข ระเบียบวิธีนี้ จะให้ผลดีในค่าคำตอบเหมาะสมปรากฏเฉพาะที่ (Local Optima) มีข้อจำกัดการประยุกต์ใช้ที่การกำหนดข้อจำกัด หากฟังก์ชันมีค่า Local Optima จำนวนมากและเป็นค่าที่เท่าๆ กันหรือใกล้เคียงกัน อาจจะไม่เจอ Global Optima เช่นเดียวกับพฤติกรรมมดที่เจออาหารในขนาดปริมาณที่เท่าๆ กันหลายจุด มดจะตอมเฉพาะจุดที่เจอก่อนเป็นจำนวนมาก แทนที่จะตอมในปริมาณที่เท่าๆ กัน ต่อเมื่อใช้รอบการค้นมากพอก็จะเจอ Global Optima ได้เช่นกัน จึงเป็นวิธีที่ต้องระมัดระวังในการใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ค่อนข้างมาก

2. Bacteriologic Algorithms (BA) เป็นระเบียบวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมสภาพแวดล้อมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย รวมถึง การปรับตัวของแบคทีเรีย มีเป้าหมายเฉพาะที่ซึ่งแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี ก็จะพัฒนาจำนวนไปในทิศทางนั้น นำมาประยุกต์ใช้หาค่าคำตอบเหมาะสมเชิงเลขในสิ่งแวดล้อมทั้งหมดที่กว้างเกินจะหาเจอได้ นับเป็น Global Search Techniques ประเภทหนึ่ง ที่ได้มีผู้ประยุกต์ใช้กับการวางเสาอากาศเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ การศึกษาการกระจายความเจริญชุมชนเมือง

3. Cross-entropy method The Cross-entrap (CE) เป็นระเบียบวิธีที่ค้นหาคำตอบของกฎการออกคำสั่งที่เหมาะสม เพื่อการควบคุมระบบการทำงานใดๆ ที่เหมาะสมอีกที จะได้เทคโนโลยีควบคุมที่รัดกุมมากที่สุดแต่ออกคำสั่งน้อยสุด ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของความน่าจะเป็นมาเกี่ยวข้องมีขั้นตอนคัดเลือกค่าที่ดีกว่าและดีที่สุดตามวิธีวิวัฒน์ เชิงเลขเป็นจำนวนจริง

4. Extremal optimization (EO) เป็นระเบียบวิธีที่ตรงข้ามกับ GAs แต่ต่างก็ดำเนินการด้วยการเลือกเฟ้นจากกลุ่มประชากรของคำตอบเช่นกัน EO จะค้นหาค่าที่แย่ที่สุดจากการค้นได้ ไปปรับปรุงองค์ประกอบของฟังก์ชันที่ให้กำเนิดกลุ่มประชากรคำตอบอย่างสุ่ม จนกว่าจะได้ค่าที่ดีขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งต่างกับ GA ค้นหาค่าที่ดีและดีกว่าจนได้ใกล้ค่าที่ดีที่สุด

5. Interactive genetic algorithms (IGA) เป็นระเบียบวิธีที่ใช้หลักของ genetic algorithms แต่มาประยุกต์ใช้กับพฤติกรรมความรู้สึกตอบสนองทางด้านสุนทรีภาพ (aesthetic) ของมนุษย์ ซึ่งยากมากที่จะแปลงค่าเชิงเลขลงในระบบคอมพิวเตอร์ ยกตัวอย่างเช่นความนิยมในรูปภาพความชอบในดนตรี เพื่อพัฒนาผลงานด้านศิลปที่มนุษย์ชื่นชอบมากที่สุด ซึ่งต้องพัฒนาโดยการโต้ตอบกับความรู้สึกของมนุษย์

6. Memetic algorithm (MA) หรืออีกชื่อเรียกว่า hybrid genetic algorithm เป็นระเบียบวิธีที่ซึ่งประยุกต์ค่า local search ในวงรอบกระบวนการเชิงวิวัฒน์ แนวคิด memetic algorithms มาจากคำว่า memes ซึ่งไม่เหมือนกับ genes ที่ต้องอาศัย genes แหล่งอื่น มาผ่าเหล่ากลายพันธุ์ แต่จะผ่าเหล่ากลายพันธุ์ได้ด้วยตัวเอง สำหรับเพียงในบางปัญหาเท่านั้นที่ชี้ให้เห็นว่าดีกว่ากลยุทธ์เชิงวิวัฒน์แบบธรรมดา

7. Simulated annealing (SA) เป็นระเบียบวิธีหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic ที่ใช้แนวคิดจากการหล่อหลอมโลหะ อะตอมโลหะจะอยู่ในข่ายมีพลังงานศักย์ต่ำสุดเมื่ออุณหภูมิเย็นถึงจุดเยือกแข็ง และการที่อะตอมจำนวนมากและความเป็นไปได้ในการจัดเรียงตัวของอะตอมทำให้สภาวะสุดท้าย มีพลังงานต่ำสุดเฉพาะที่ แทนที่ทุกอะตอมจะอยู่ในสภาวะพลังงานต่ำสุดทั้งหมด โดยวิธีการเพิ่มความร้อนทีละน้อยและทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ จะทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะพลังงานต่ำสุดทั้งหมด

8. Tabu search (TS) เป็นระเบียบวิธีที่คล้ายกันกับ Simulated Annealing คือเป็นระเบียบวิธีประเภทเชิงเรียนรู้ประสบการณ์ Tabu Search ซึ่งใช้วิธีหาคำตอบที่ดีกว่าโดยจดจำและป้องกันค่าเดิมๆ ที่แย่กว่า ใน Tabu list ซึ่งจะช่วยทำการปรับปรุงรอบการค้นต่อๆไปจนกว่าจะถึงเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่วิธีนี้อาศัยหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องค่อนข้างมาก ทำให้มีการทำงานที่ยุ่งยากซับซ้อน

9. Artificial Neural Networks (Anns) เป็นระบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบในการเรียนรู้และพยากรณ์ เป็นปัญญาประดิษฐ์ เรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียม เป็น

แนวความคิดที่ถูกออกแบบให้ทำงานเช่นเดียวกับเซลล์สมอง เพียงแต่การรวบรวมข้อมูล Input และ Output ไว้เป็นคู่ โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง Input กับ Output ซึ่งอยู่ในรูปของสมการ Explicit โดยกระบวนการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีอยู่ มีประโยชน์ในการคาดการณ์ล่วงหน้าหรือการพยากรณ์

10. Particle Sworm Optimization (PSO) เป็นระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic ได้เสนอโดย Kennedy and Eberhart ในปี ค.ศ.1995 ซึ่งได้รับแรงบันดาลใจจากพฤติกรรมการฟุ้งกระจายอนุภาคเป็นกลุ่ม เช่นกลุ่มของฝูงนกที่กำลังบินตามจ่าฝูง กลุ่มของหมู่ปลาในทะเลว่ายน้ำตามจ่าฝูง แม้กระทั่งพฤติกรรมของมนุษย์ในสังคมที่มักจะทำตามผู้นำเพียงไม่กี่คน PSO ประกอบด้วยกลุ่มของอนุภาคที่กำลังเคลื่อนที่ในหลายมิติ เป็นการค้นหาคำตอบของการแก้ปัญหาบนพื้นฐานจำนวนจริงแต่ละอนุภาคมีตำแหน่งจุดพิกัดถูกนำมาประยุกต์เชิงเลขความเร็วในจุดพิกัด เก็บในหน่วยความจำเปรียบเทียบกับอนุภาคที่อยู่ใกล้กัน (neighbor particle) แล้วคัดเลือกศึกษาอนุภาคที่มีศักยภาพความเร็วและจุดพิกัดที่เป็นจุดพิกัดนำ เคลื่อนตัวไปในทิศทางใหม่ๆ จนกว่าจะได้จุดพิกัดคำตอบครอบคลุม

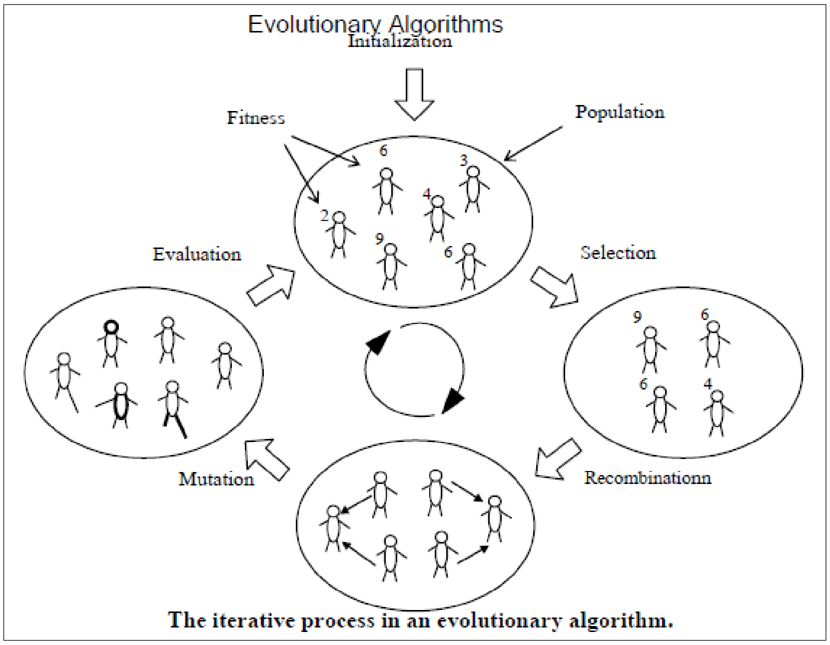
11. Genetic Algorithms (GAs) เป็นระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic โดยมีแนวคิดสมมุติฐานเชิงพันธุกรรม เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) ตั้งอยู่บนพื้นฐานแนวคิดการคัดเลือกเผ่าพันธุ์ตามธรรมชาติ ได้ถูกนำมาประยุกต์เชิงเลขในการค้นหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจที่มีความสลับซับซ้อน มีตัวแปรและเงื่อนไขจำนวนมากได้ดี

12. Differential Evolution (DE) เป็นระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic และเป็น Random base Global Search Space ซึ่งทำการสุ่มหาคำตอบแบบครอบคลุม โดยมีแนวคิดสมมุติฐานเชิงพันธุกรรมเช่นเดียวกับ GAs แต่มีข้อดีที่โดดเด่นกว่าคือ มีโครงสร้างของระเบียบวิธีที่ซับซ้อนน้อยกว่า มีความยืดหยุ่นมาก (Generalisation) นอกจากนั้นยังสามารถใช้ค่าจำนวนจริง (Floating Point Real Number) ในการคำนวณโดยไม่จำเป็นต้องแปลงค่าตัวแปรตัดสินใจ เป็นเลขฐานสอง (Bit-String Encoding) จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้วิธีการ DE มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง (Robustness) ในการค้นหาคำตอบกว่าวิธีอื่น และเหมาะสมมากสำหรับปัญหาประเภท Non-Linear และ Non-Differentiate function

2.8 การหาความเหมาะสมด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยส่วนต่าง (Differential Evolution Algorithm)

การหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล อีโวลูชัน จัดเป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบสโตคาสติค โดยมีระเบียบวิธีแบบกลยุทธวิวัฒนาการ (ESA: Evolutionary Strategic Algorithms) ซึ่งมีพื้นฐานระเบียบวิธีการ ดังนี้

1) การสุ่มตัวแปรตัดสินใจ เพื่อหากลุ่มประชากรของคำตอบต่างๆ (Initial Random Selection)
2) การกำเนิดตัวแปรตัดสินใจใหม่ จากประชากรกลุ่มคำตอบเดิม (reproduction) มีขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอน คือ
    a. การผสมสายพันธุ์ (Recombination) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ crossover
    b. การผ่าเหล่า กลายพันธุ์ (mutation)
    c. การเฟ้นหาสายพันธุ์ที่ดีกว่า (Evaluation)
    d. การคัดเลือกสายพันธุ์คำตอบที่ดีและดีกว่า จนถึงดีที่สุด (selection and survival of the fittest)
3) ทำวนซ้ำ (Iteration) ย้อนกลับในขั้นตอน reproduction จนกว่าจะได้สายพันธุ์คำตอบที่ดีที่สุด ตามเกณฑ์การหยุดที่กำหนดไว้ (Stop Criteria) จึงหยุดวนซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแผนผังรอบการคำนวณโดยระเบียบวิธีวิวัฒนาการ

ที่มา: Bergey และ Ragsdale (2005)

การหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล อิโวลูชั่น คือการค้นหาคำตอบโดยระเบียบวิธีวิวัฒนาการโดยส่วนต่าง จะได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบจริงมากที่สุด ซึ่งอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ถูกต้องที่สุด แต่ก็เป็นคำตอบที่ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องที่กำหนดความพึงพอใจไว้ใกล้เคียงกับคำตอบจริงมากเท่าที่ต้องการ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Heuristic Algorithm ซึ่งมักจะตั้งวิธีการค้นหาเป็นลักษณะเฉพาะสำหรับแต่ละปัญหา ความพิเศษของการหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล อิโวลูชั่น อีกประการคือ สามารถใช้เป็นรูปแบบมาตรฐานในการค้นหา นำไปใช้กับลักษณะปัญหาต่างๆได้ไม่จำเพาะเจาะจงแต่ละปัญหา จึงจัดอยู่ในประเภท Meta Heuristic Algorithm อีกด้วย

Price and Storn (1995) ได้เสนอระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสม โดยวิธี Differential Evolution (DE) มีพัฒนาการต่อยอดมาจากระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมจาก Genetic Algorithm ซึ่งในขั้นตอน reproduction, mutation, recombination อาศัยการแปลงค่าตัวแปรตัดสินใจให้เป็นเลขฐาน 2 โดยเปรียบเทียบเสมือนหนึ่งเป็น gene ในเซลล์ให้กำเนิดในชีวภาพ แต่วิธี Differential Evolution อาศัยการ Mutation ด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Scaling Factor หรือ Weighting Factor : F แทน ทำให้ลดทอนขั้นตอนในการคำนวณได้มาก จึงเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญที่ทำให้การค้นหาคำตอบด้วยวิธี Differential Evolution มีความรวดเร็วอย่างมีประสิทธิภาพสูงมาก และเหมาะมากที่จะนำมาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาใน class NP หรือ Non-deterministic polynomial time algorithm ที่มีคำตอบย่อยหลายๆคำตอบ (Local Optima) อีกนัยหนึ่งคือเป็นการ ค้นหาคำตอบแบบภาพรวมครอบคลุม (Global Optimization)

ขั้นตอนและหลักการในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Differential Evolution ที่เสนอโดย Price and Storn (2005) มีขั้นตอนและหลักการ ซึ่งแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนที่สำคัญ ได้ดังนี้

1. Initial population คือขั้นตอนการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขตข้อจำกัดจำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of population เป็น Decision Vector กลุ่มหนึ่งนำมาคำนวณหาค่าคำตอบ เรียกว่า Cost Value หรือ Fitness Value หรือ Function Value ในความหมายเดียวกัน

2. Mutation คือ ขั้นตอนการคูณตัวแปรตัดสินใจด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F อีกชื่อหนึ่งเช่นกันเพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า กลายพันธุ์ ให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรในข้อแรก มีขั้นตอนย่อย ดังนี้

1) ทำการกำหนด Target Vector (Xi,G) โดยที่ i = 1,2,3, … , NP
2) สุ่มเลือกจำนวน 3 Vector (Xr1,G, Xr2,G, Xr3,G) จากประชากรตั้งต้นที่ไม่ซ้ำกับ Target Vector

3) ทำการคำนวณหา Mutant Vector (Vi,G+1) จากความสัมพันธ์

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (2.2)$$

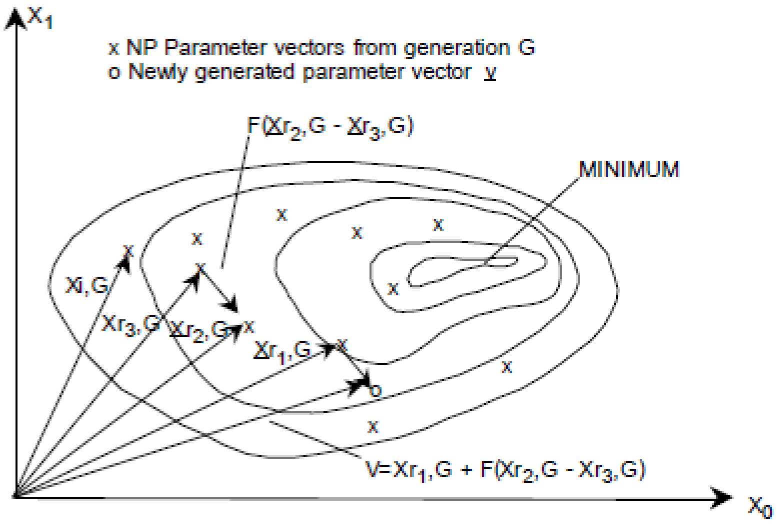
เมื่อ

Xi,G = Target Vector

Vi,G+1 = Mutant Vector

Xr1,G, Xr2,G, Xr3,G = Random Vector

F = Weighting Factor มีค่าระหว่าง 0 ถึง 2



รูปที่ 2.4 แสดงการค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชั่น 2 ตัวแปร

ที่มา: Price and Storn (1995)

3. Crossover หรือ Recombination คือขั้นตอนการประสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อเฟ้นหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ ซึ่งจะได้ Trial Vector (Ui,G+1)

เมื่อ

$$U_{i,G+1} = (U_{1i,G+1}, U_{2i,G+1}, \ldots, U_{Di,G+1}) \quad (2.3)$$

และ

$$U_{i,G+1} = \begin{cases} V_{ji,G+1} \text{ if } (randb(j) \leq CR) \text{ or } j = rnbr(i) \\ X_{ji,G} \text{ if } (randb(j) > CR) \text{ or } j \neq rnbr(i) \end{cases} \quad (3)$$

เมื่อ

Uji,G+1 = Trial Vector

Vji,G+1 = Mutant Vector

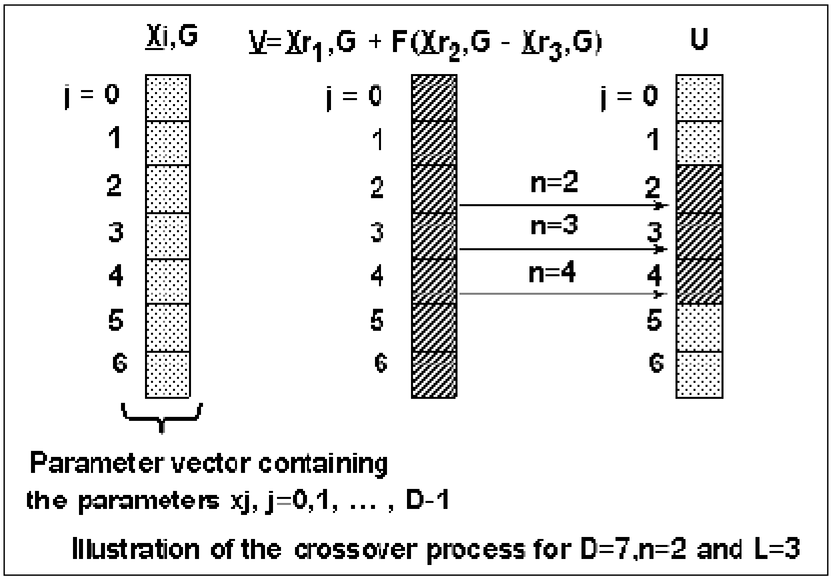
Xji,G = Target Vector

randb(j) = การสุ่ม จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1 ครั้งที่ j

CR = Crossover Constant จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1

rnbr(i) = Index จากการสุ่มเลือก จำนวนเต็ม 1,2, … ,D

j = 1,2, … ,D



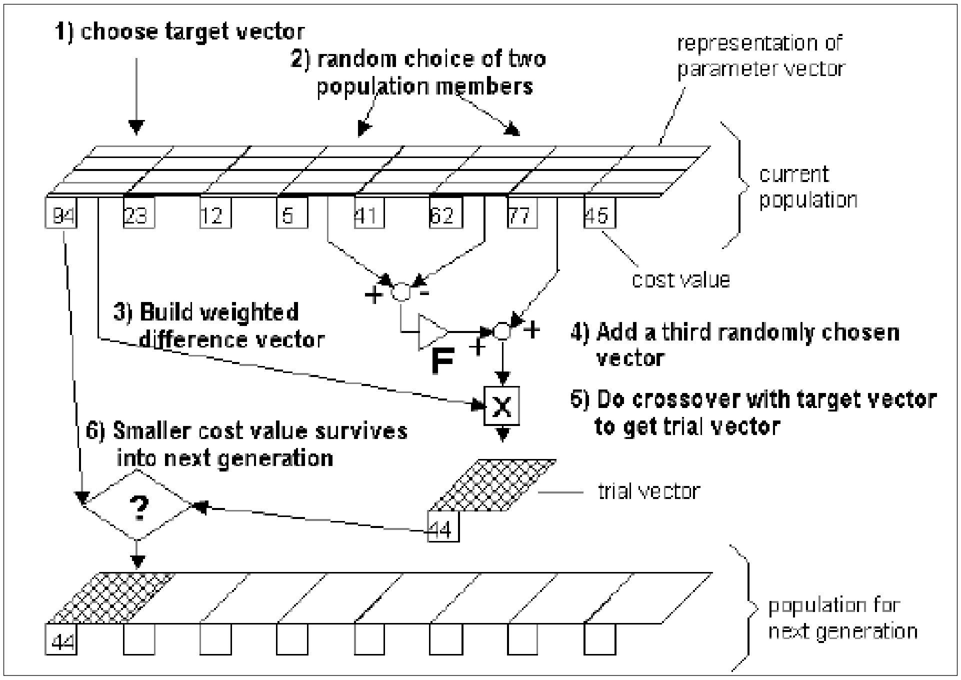
รูปที่ 2.5 แสดงการ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า D=7

ที่มา: Price and Storn (1995)

4. Selection คือขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยคัดเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบ Function Value หรือ Cost Value ของ Trial Vector กับ Target Vector ในกรณีที่ค่า Function Value ของ Trial Vector ดีกว่า Target Vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial Vector ในรุ่นต่อไป

5. Evaluation & Re-Generation ดำเนินการซ้ำจากข้อ 2. ถึง ข้อ 4. โดยเปลี่ยน Target Vector จนถึง i = NP

6. Reach Convergence Tolerance นำ Target Vector ที่ได้จากข้อ 4. มาทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดจนครบตามความต้องการ โดยแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นการแสดงขั้นตอนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี Differential Evolution สำหรับปัญหาการหาค่าต่ำสุด (Minimum Optimization Problem)



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี Differential Evolution จากขั้นที่ 1 ถึง 4

ที่มา: Price and Storn (1995)

การหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง และวิธีสำหรับการหาค่าเหมาะสุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง เป็นดังต่อไปนี้

1) ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง (Multi-objective Optimization Problem, MOOP) จะมีวัตถุประสงค์ซึ่งอาจจะต้องการให้มีค่าน้อยสุดหรือมากสุด โดยที่ MOOP อธิบายอยู่ในรูปแบบทั่วไปได้ดังสมการดังต่อไปนี้

Minimize/Maximize $f_m(x)$, $m = 1,2,..., M$

subject to $g_j(x) = 0$, $j = 1,2,..., J$

and $h_k(x) > or < 0$, $k = 1,2,..., K$ (1)

คำตอบ x เป็นเวคเตอร์ซึ่งประกอบด้วย จำนวนตัวตัวแปรตัดสินใจ *n* ตัว จะได้ว่า x = $\{x_1, x_2, .., x_n\}$ โดยมี *M* วัตถุประสงค์แทนด้วยเวคเตอร์ f = $\{f_1(x), f_2(x), ..., f_M(x)\}$ โดยแต่ละวัตถุประสงค์ต้องการให้เป็นค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุด สำหรับกลุ่มของข้อบังคับแบบเท่ากัน J เงื่อนไข และข้อบังคับแบบไม่เท่ากัน *K* เงื่อนไข โดย $g_j(x)$ และ $h_k(x)$ เป็นฟังก์ชันเงื่อนไขแบบเท่ากันและไม่เท่ากันตามลำดับ โดยขอบเขตของตัวแปร แต่ละตัวแปรตัดสินใจ x_i จะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง ขอบล่าง x_i^I และขอบบน x_i^U

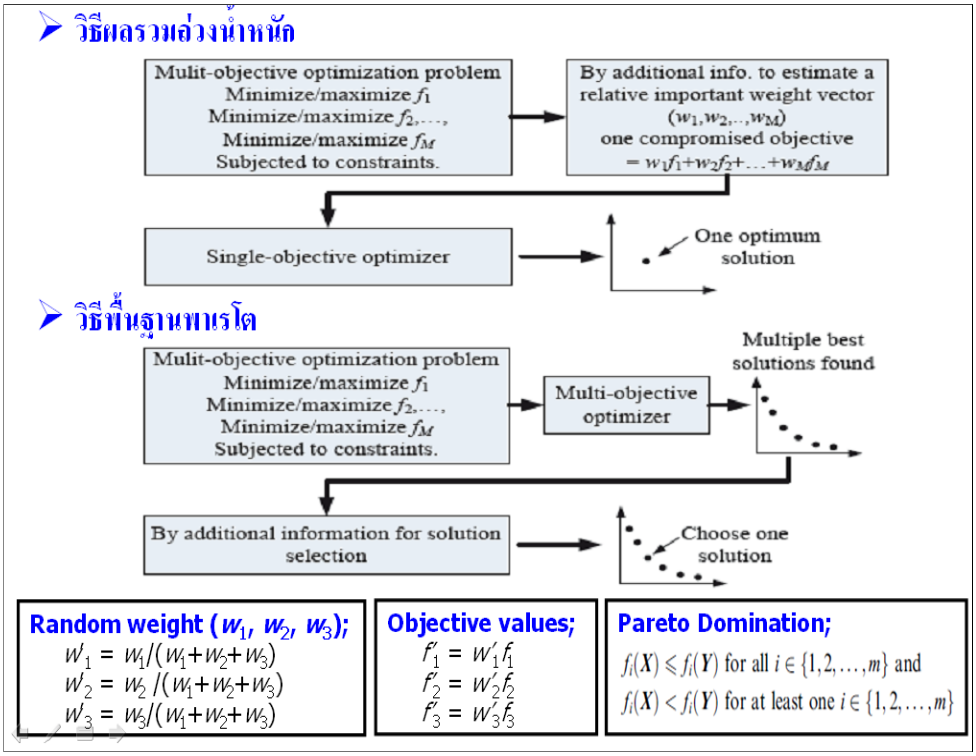
2) วิธีสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง

สำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่างจะมี 2 วิธีหลักๆ ที่ใช้ ซึ่งก็คือ วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (Weighted-sum Approach) และวิธีพื้นฐานพาเรโต (Pareto-based Approach) โดยกระบวนการของวิธีทั้งสองจะอธิบายดังรูปที่ 2.7 สำหรับวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนักซึ่งเป็นวิธีหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่างแบบดั้งเดิม ทุกวัตถุประสงค์จะจับมารวมกันโดยถ่วงน้ำหนักจนเหลือเพียงวัตถุประสงค์เดียว หลังจากนั้นก็ใช้ตัวหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์เดียวในการหาคำตอบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ก็จะได้คำตอบเหมาะที่สุดเพียงคำตอบเดียว แต่ก็จะเป็นคำตอบที่ขึ้นอยู่ความคิดส่วนตัวของผู้ใช้เนื่องจากการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก แม้ว่าจะมีคำตอบแบบกลางๆ (Compromised Solution) ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียว เทคนิคนี้ก็ค่อนข้างเป็นที่นิยมเนื่องจากง่ายในการใช้

เนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่ปัญหาหลายจุดประสงค์จะมีเพียงคำตอบเดียว ที่ให้วัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดพร้อมกันทุกวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาวัตถุประสงค์หลายอย่าง ดังนั้นกลุ่มคำตอบที่เหมาะที่สุดของปัญหานี้คือคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเมื่อเปรียบเทียบคำตอบทั้งหมด ซึ่งคำตอบนี้สามารถหาได้โดยวิธีแบบพาเรโตซึ่งเป็นหลักการ “การครอบงำแบบพาเรโต (Pareto Domination)” คือ คำตอบ x ใดๆ จะครอบงำหรือดีกว่าคำตอบ y ถ้าเงื่อนไขทั้งสองข้อต่อไปนี้เป็นความจริง

a) ไม่มีวัตถุประสงค์ใด ที่คำตอบ x แย่กว่าคำตอบ y

b) มีอย่างน้อย 1 วัตถุประสงค์ ที่คำตอบ x ดีกว่าคำตอบ y



รูปที่ 2.7 แสดงหลักการสุ่มน้ำหนักและจัดทำพาเรโตฟร้อนของกรณีศึกษา

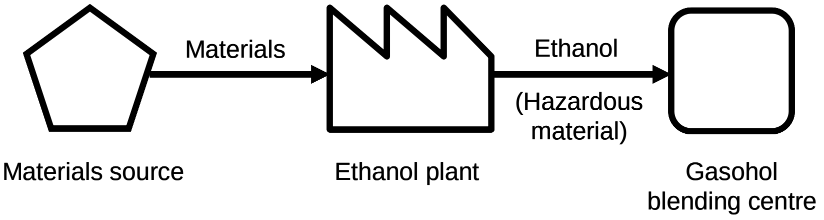
ที่มา : ปรับปรุงมาจาก กิตติพงศ์ (2011)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Buddadee และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อยซึ่งเหลือจากการผลิตน้ำตาลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลสำหรับนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน

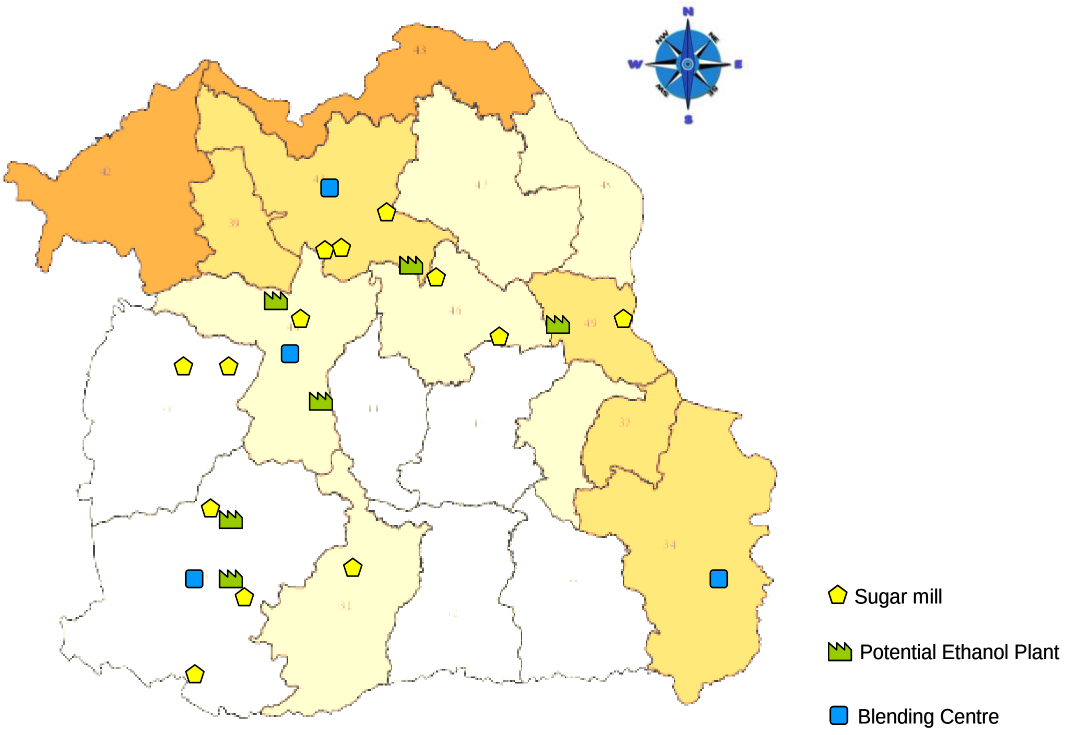
Nanthasamroeng, Pitakaso and Buddadee (2008) ได้ทำการศึกษาในปัญหาเดียวกันแต่ขยายรูปแบบของปัญหาเป็นการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานเอทานอลแบบหลายขั้น (Multi-echelon) กล่าวคือมีการพิจารณาถึงการขนส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลไปยังโรงผสมแก๊สโซฮอลล์เพิ่มเติม และเพิ่มวัตถุประสงค์ด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัย (Societal risk) ที่มีต่อชุมชนที่อยู่ในบริเวณที่มีการขนส่ง

เอทานอลหากมีการรั่วไหลของเอทานอลซึ่งถือเป็นวัตถุอันตรายเนื่องจากมีความสามารถในการติดไฟได้ โดยปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 4



รูปที่ 2.8 ลักษณะของการขนส่งแบบหลายขั้นกรณีศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ที่มา: Nanthasamroeng, Pitakaso and Buddadee, 2008)



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งของโรงงานน้ำตาล, จุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลและโรงผสมน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ที่มา: Nanthasamroeng, Pitakaso and Buddadee, 2008)