

# การหาค่าที่เหมาะสม และการประยุกต์

## OPTIMIZATION AND ITS APPLICATION

---

# คำนำ

หนังสือการหาค่าที่ดีที่สุดและการประยุกต์ เป็นหนังสือที่รวบรวมเอาความรู้ของผู้เขียนที่ได้สะสมมาตั้งแต่การเรียนระดับปริญญาโท ปริญญาเอก การสอน การเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และดุษฎีนิพนธ์ รวมถึงการวิจัยที่ผู้เขียนเป็นผู้ดำเนินงาน โดยหนังสือได้นำเสนอการจำแนกตัวแบบชนิดต่าง ๆ การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ การแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดโดยวิธีตรงผ่านโปรแกรมการคำนวณ การแก้ปัญหาโดยวิธีฮิวริสติกส์ อาทิเช่น โครงข่ายประสาท วิธีการฟัซซี วิธีทางพันธุกรรม วิธีอาณานิคมมด วิธีอาณานิคมผึ้ง และวิธีกลุ่มอนุภาค โดยการพัฒนาโปรแกรมตามวิธีการเหล่านั้น หนังสือเล่มนี้ได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักศึกษาทั้งระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ปริญญาโทสาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ ระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ และเจ้าหน้าที่ของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้เขียนต้องขอบคุณครอบครัว เพื่อนร่วมงาน ที่ให้กำลังใจเพื่อให้ผ่านพ้นช่วงเวลาที่ย่ำแย่อีกช่วงหนึ่งของชีวิต หนังสือทุกเล่มย่อมมีความผิดพลาดซึ่งผู้เขียนได้ใช้ความพยายามอย่างมากในการตรวจทานแก้ไขเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์มากที่สุด อย่างไรก็ตามหนังสือเล่มนี้น่าจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ตั้งใจศึกษา ซึ่งความดีที่จะได้ทั้งหมดจากหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนขออุทิศให้บิดาของผู้เขียนที่ได้ล่วงลับไปแล้ว มารดา ภรรยา สมาชิกในครอบครัวทุกคน รวมถึง ครู อาจารย์ นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนร่วมให้มีความสุขและมีสุขภาพที่ดีตลอดไป

สุดท้ายผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะได้สะท้อนให้เห็นถึงความตั้งใจ ความพยายาม ความมุ่งมั่น ความเพียรและความอดทน แต่ ลูก ลูกศิษย์และลูกน้อง ของผู้เขียน เพื่อจะได้นำพาให้เขาเหล่านั้นจะได้ประสบความสำเร็จดังที่ได้ตั้งใจไว้ต่อไป

---

คมกฤต เล็กสกุล

---

# สารบัญ

III

คำนำ

IV

สารบัญ

---

1

Chapter 1  
การหาค่าที่ดีที่สุด  
Optimization

293

Chapter 6  
วิธีเชิงพันธุกรรม

9

Chapter 2  
ตัวแบบเชิงเส้นตรง  
Linear Modeling

343

Chapter 7  
ฟัซซีลอจิก  
Fuzzy Logic

55

Chapter 3  
ตัวแบบจำนวนเต็ม  
Integer Modeling

439

Chapter 8  
วิธีการแบบอาณานิคม  
Ant Colony Optimization : ACO

113

Chapter 4  
ตัวแบบไม่เชิงเส้น  
Nonlinear Modeling

485

Chapter 9  
วิธีการแบบอาณานิคมผึ้ง  
Bee Colony

161

Chapter 5  
โครงข่ายประสาท  
Neural Networks: NNs

527

Chapter 10  
วิธีฟาคอลสวอมออปติมัยเซชัน  
Particle Swarm Optimization

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| คำนำ                                                                                                                     | III       |
| สารบัญ                                                                                                                   | IV        |
| สารบัญภาพ                                                                                                                | X         |
| สารบัญตาราง                                                                                                              | XVI       |
| <b>บทที่ 1 การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)</b>                                                                        | <b>1</b>  |
| 1.1 บทนำ                                                                                                                 | 2         |
| 1.2 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)                                                                             | 3         |
| แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                          | 6         |
| เอกสารอ้างอิง                                                                                                            | 7         |
| <b>บทที่ 2 ตัวแบบเชิงเส้นตรง (Linear Modeling)</b>                                                                       | <b>9</b>  |
| 2.1 บทนำ                                                                                                                 | 10        |
| 2.2 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาการจัดการการผลิต (Production Management)                                         | 10        |
| 2.3 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาโภชนาการ (Nutritional Problem)                                                   | 12        |
| 2.4 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับการจัดกำลังคน (Manpower Allocation)                                                   | 15        |
| 2.5 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับการจัดการการลงทุน (Portfolio Management)                                              | 18        |
| 2.6 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาการผสม (Blending Problem)                                                        | 19        |
| 2.7 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาหลายคาบเวลา (Multi-Periods Problem)                                              | 28        |
| 2.8 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาการขนส่งและการขนส่งที่มีการถ่ายสินค้า (Transportation and Transshipment Problem) | 36        |
| 2.9 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาการตัด (Stock-Slitting Problem)                                                  | 40        |
| 2.10 การแก้ปัญหามัดตัวแบบเชิงเส้นตรงด้วยโปรแกรม Lingo                                                                    | 42        |
| แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                          | 47        |
| เอกสารอ้างอิง                                                                                                            | 53        |
| <b>บทที่ 3 ตัวแบบจำนวนเต็ม (Integer Modeling)</b>                                                                        | <b>55</b> |
| 3.1 บทนำ                                                                                                                 | 56        |
| 3.2 การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาการจัดการการผลิต (Production Management)                                | 56        |
| 3.3 การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับการจัดการการลงทุน (Portfolio Management)                                     | 57        |
| 3.4 การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับการกำหนดงาน (Assignment Problem)                                             | 60        |
| 3.5 การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับการเก็บค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Charge Problem)                                | 63        |
| 3.6 การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาครอบคลุม (Set Covering Problem)                                         | 68        |
| 3.7 การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาที่ต้องตอบสนองเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่ง (Either-Or Constraints Problem)   | 70        |

|                |                                                                                                                                                                             |            |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.8            | การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาเงื่อนไขถ้า-แล้ว (If-Then Constraints Problem)                                                                                 | 73         |
| 3.9            | การสร้างตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาฟังก์ชันเส้นตรงเป็นช่วงๆ (Piecewise Linear Functions)                                                                          | 74         |
| 3.10           | การแก้ปัญหาตัวแบบจำนวนเต็มบริสุทธิ์ด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound Method for Solving Pure Integer Programming Problems)                                   | 76         |
| 3.11           | การแก้ปัญหาตัวแบบ Knapsack Problem ด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound Method for Solving Knapsack Problems)                                                   | 92         |
| 3.12           | การแก้ปัญหาตัวแบบเชิงการจัดด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขตสำหรับปัญหาการจัด (Branch and Bound Method for Solving Combinatorial Problems)                                     | 94         |
| 3.13           | การแก้ปัญหาตัวแบบจำนวนเต็มบริสุทธิ์ด้วยวิธีระนาบตัด (Cutting Plane Method for Solving Pure Integer Programming Problems)                                                    | 104        |
|                | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                                                                             | 107        |
|                | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                                                               | 110        |
| <b>บทที่ 4</b> | <b>ตัวแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Modeling)</b>                                                                                                                               | <b>113</b> |
| 4.1            | บทนำ                                                                                                                                                                        | 114        |
| 4.2            | ฟังก์ชันนูน (Convex Function) และ ฟังก์ชันเว้า (Concave Function)                                                                                                           | 115        |
| 4.3            | เงื่อนไข Karush-Kuhn-Tucker (KKT Condition)                                                                                                                                 | 120        |
| 4.4            | การแก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับตัวแบบตัวแปรเดียวที่ไม่มีเงื่อนไข (Univariate Function Unconstrained Optimization)                                                      | 121        |
| 4.5            | การแก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับตัวแบบหลายตัวแปรที่ไม่อาศัยอนุพันธ์ (Multidimensional Search Without Using Derivatives)                                                 | 127        |
| 4.6            | การแก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับตัวแบบหลายตัวแปรที่อาศัยอนุพันธ์ (Multidimensional Search Using Derivatives)                                                            | 133        |
| 4.7            | ฟังก์ชันการปรับและกีดกัน (Penalty and Barrier Function)                                                                                                                     | 139        |
| 4.8            | การแก้ปัญหาตัวแบบไม่เชิงเส้นที่มีเงื่อนไขโดยวิธี Zoutendijk                                                                                                                 | 141        |
| 4.9            | การแก้ปัญหาตัวแบบไม่เชิงเส้นที่มีเงื่อนไขโดยวิธี Topkis-Veinott                                                                                                             | 148        |
|                | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                                                                             | 150        |
|                | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                                                               | 153        |
| <b>บทที่ 5</b> | <b>โครงข่ายประสาท (Neural Networks: NNs)</b>                                                                                                                                | <b>161</b> |
| 5.1            | บทนำ                                                                                                                                                                        | 162        |
| 5.2            | โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation Neural Networks)                                                                                                       | 167        |
| 5.3            | การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์                                                                                                                           | 170        |
| 5.4            | การพัฒนาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุปทานของลำไยนอกฤดู                                                                                                                           | 176        |
| 5.5            | ระบบโครงข่ายประสาทคลุมเครือ (Neuro – Fuzzy Systems)                                                                                                                         | 210        |
| 5.6            | การประยุกต์โครงข่ายประสาทฟัซซีสำหรับองค์กรสมัยใหม่                                                                                                                          | 216        |
| 5.7            | การพยากรณ์ระบบการวัดประสิทธิภาพสำหรับอุตสาหกรรมค้าปลีก ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทฟัซซี (Predictive Performance Measurement System for Retail Industry using Neuro-Fuzzy System) | 222        |

|                |                                                                                                                              |     |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.8            | การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทกับปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด<br>(Application of Neural Network to Optimization Problems)          | 246 |
| 5.9            | วิธีหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับฟังก์ชันที่ไม่มีเงื่อนไข<br>(Optimization Methods for Unconstrained Function)                      | 252 |
|                | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                              | 283 |
|                | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                | 288 |
| <b>บทที่ 6</b> | <b>วิธีเชิงพันธุกรรม</b>                                                                                                     | 293 |
| 6.1            | บทนำ                                                                                                                         | 294 |
| 6.2            | การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding)                                                                                    | 294 |
| 6.3            | การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial Population)                                                                                 | 295 |
| 6.4            | ฟังก์ชันค่าความเหมาะสม (Fitness Function)                                                                                    | 295 |
| 6.5            | การครอสโอเวอร์ (Crossover)                                                                                                   | 296 |
| 6.6            | การมิวเทชัน (Mutation)                                                                                                       | 296 |
| 6.7            | การเลือก (Selection)                                                                                                         | 297 |
| 6.8            | การแทนที่ (Replacement)                                                                                                      | 297 |
| 6.9            | โครงสร้างการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม                                                                                        | 298 |
| 6.10           | การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในระบบการทำงานและกระบวนการต่างๆ                                                               | 299 |
| 6.11           | การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม ในการแก้ปัญหาการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย                                                    | 302 |
| 6.12           | การจัดตารางเวรพยาบาลโดยการใช้วิธีการค้นหาเชิงพันธุกรรม                                                                       | 316 |
|                | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                              | 336 |
|                | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                | 338 |
| <b>บทที่ 7</b> | <b>ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)</b>                                                                                              | 343 |
| 7.1            | บทนำ                                                                                                                         | 344 |
| 7.2            | ทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy Set Theory)                                                                                                | 344 |
| 7.3            | ตัวแบบฟัซซีเชิงเส้นตรง (Fuzzy Linear Programming Model)                                                                      | 355 |
| 7.4            | การเปรียบเทียบตัวแบบเชิงเส้นตรงสโตแคสติกและตัวแบบเชิงเส้นตรงฟัซซี<br>(Comparison of Stochastic and Fuzzy Linear Programming) | 362 |
| 7.5            | การประยุกต์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ฟัซซี ในกระบวนการตัดแต่งพิเศษเนื้อไก่                                                          | 365 |
| 7.6            | การประยุกต์ใช้ทางฟัซซีลอจิกในปัญหาการตัดสินใจบนพื้นฐานหลายวัตถุประสงค์                                                       | 386 |
| 7.7            | การประยุกต์ใช้ทางฟัซซีลอจิกในปัญหาการจัดการหลักทรัพย์เพื่อการลงทุน                                                           | 396 |
|                | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                              | 429 |
|                | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                | 434 |
| <b>บทที่ 8</b> | <b>วิธีการแบบอาณานิกรมด (Ant Colony Optimization : ACO)</b>                                                                  | 439 |
| 8.1            | บทนำ                                                                                                                         | 440 |
| 8.2            | ขั้นตอนการทำงาน                                                                                                              | 441 |
| 8.3            | ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP)                                                           | 446 |

|                 |                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.4             | การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีความไม่แน่นอน<br>ของเวลาเดินทางโดยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบอาณานิคม<br>(Stochastic Traveling Salesman Problem Solving Using Ant Colony Optimization)                                                | 451 |
| 8.5             | การประยุกต์ใช้วิธีการแบบอาณานิคมในการบริการขนส่งรถบัส<br>สำหรับพนักงานของโรงงานขนาดใหญ่                                                                                                                                                     | 460 |
|                 | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                                                                                                                                             | 478 |
|                 | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                                                                                                                               | 482 |
| <b>บทที่ 9</b>  | <b>วิธีการแบบอาณานิคมผึ้ง (Bee Colony)</b>                                                                                                                                                                                                  | 485 |
| 9.1             | บทนำ                                                                                                                                                                                                                                        | 486 |
| 9.2             | ขั้นตอนและการทำงานของวิธีอาณานิคมผึ้งเทียม<br>(Artificial Bee Colony Algorithm)                                                                                                                                                             | 487 |
| 9.3             | การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony Algorithm)<br>กับปัญหากระเป๋า (Knapsack Problem)                                                                                                                                 | 488 |
| 9.4             | การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony Algorithm)<br>กับปัญหาการจัดสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์                                                                                                                               | 492 |
| 9.5             | การดัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโตในการแก้ปัญหา<br>กระเป๋าแบบสามมิติหลายวัตถุประสงค์ (A Modified Artificial Bee Colony<br>Algorithm with Pareto Based for Solving Multi-objectives Three<br>Dimensional Knapsack Problem) | 501 |
|                 | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                                                                                                                                             | 521 |
|                 | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                                                                                                                               | 525 |
| <b>บทที่ 10</b> | <b>วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมิเซชัน<br/>(Particle Swarm Optimization)</b>                                                                                                                                                                       | 527 |
| 10.1            | บทนำ                                                                                                                                                                                                                                        | 528 |
| 10.2            | วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมิเซชัน (PSO)                                                                                                                                                                                                          | 528 |
| 10.3            | การหาค่าคำตอบด้วยวิธีพาทิกอลสวอมมออปติมิเซชัน (PSO)                                                                                                                                                                                         | 530 |
| 10.4            | การประยุกต์ใช้วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมิเซชัน (PSO) ในการจัดเส้นทาง<br>ยานพาหนะแบบสเตแคดติกภายใต้ข้อจำกัดกรอบเวลาเพื่อลด<br>การปล่อยก๊าซเรือนกระจก                                                                                             | 533 |
| 10.5            | การประยุกต์ใช้วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมิเซชัน (PSO) ในการจัดเส้นทาง<br>เฮลิคอปเตอร์สำหรับตรวจสอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง                                                                                                                              | 558 |
|                 | แบบฝึกหัดท้ายบท                                                                                                                                                                                                                             | 571 |
|                 | เอกสารอ้างอิง                                                                                                                                                                                                                               | 578 |
| ดัชนี           |                                                                                                                                                                                                                                             | 585 |



|             |                                                                                                                            |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| รูปที่ 2.1  | แสดงรูปแบบการขนส่งสินค้า (Classical Transportation Problem)                                                                | 36  |
| รูปที่ 2.2  | แสดงรูปแบบการการขนส่งที่มีการถ่ายสินค้า (Transshipment Problem)                                                            | 38  |
| รูปที่ 2.3  | แสดงผลลัพธ์จากการ Run โปรแกรม                                                                                              | 42  |
| รูปที่ 3.1  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 1 ด้วยกราฟ                                                                                          | 77  |
| รูปที่ 3.2  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 2 ด้วยกราฟ                                                                                          | 78  |
| รูปที่ 3.3  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 4 ด้วยกราฟ                                                                                          | 79  |
| รูปที่ 3.4  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 5 ด้วยกราฟ                                                                                          | 80  |
| รูปที่ 3.5  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 6 ด้วยกราฟ                                                                                          | 81  |
| รูปที่ 3.6  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 7 ด้วยกราฟ                                                                                          | 83  |
| รูปที่ 3.7  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 3 ด้วยกราฟ                                                                                          | 84  |
| รูปที่ 3.8  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 8 ด้วยกราฟ                                                                                          | 85  |
| รูปที่ 3.9  | แสดงการแก้ปัญหาย่อยที่ 9 ด้วยกราฟ                                                                                          | 87  |
| รูปที่ 3.10 | แสดงขั้นตอนขยายและจำกัดเขตสำหรับปัญหาย่อยที่ 1                                                                             | 88  |
| รูปที่ 3.11 | แสดงคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยที่ 2 ซึ่งเป็นตัวแทนคำตอบ (Candidate Solution)                                          | 88  |
| รูปที่ 3.12 | แสดงขั้นตอนขยายและจำกัดเขตสำหรับปัญหาย่อยที่ 3 และคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยที่ 3                                     | 89  |
| รูปที่ 3.13 | แสดงขั้นตอนขยายและจำกัดเขตสำหรับปัญหาย่อยที่ 3 และคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยที่ 4                                     | 90  |
| รูปที่ 3.14 | แสดงการแก้ปัญหาด้วยแบบ Knapsack Problem (ปัญหาที่ 3.11) ด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขต                                     | 93  |
| รูปที่ 3.15 | แสดงวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดลำดับงานด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขตของปัญหาที่ 3.12                                       | 95  |
| รูปที่ 3.16 | แสดงวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดลำดับงานด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขตและคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยที่ 1                   | 97  |
| รูปที่ 3.17 | แสดงคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยที่ 2                                                                                      | 98  |
| รูปที่ 3.18 | แสดงวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดลำดับงานด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขตของปัญหาย่อยที่ 2 และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยที่ 4 | 99  |
| รูปที่ 3.19 | แสดงคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยที่ 5                                                                                      | 100 |
| รูปที่ 3.20 | แสดงคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยที่ 3                                                                                      | 101 |
| รูปที่ 3.21 | แสดงวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดลำดับงานด้วยวิธีขั้นตอนขยายและจำกัดเขตของปัญหาย่อยที่ 3 และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยที่ 6 | 102 |
| รูปที่ 3.22 | แสดงคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยที่ 7                                                                                      | 103 |
| รูปที่ 3.23 | แสดงการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการกราฟของปัญหา 3.14 ในกรณีผ่อนคลาย                                                       | 106 |
| รูปที่ 3.24 | แสดงการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการกราฟของปัญหา 3.14 เมื่อมีการเพิ่มระนาบตัด                                              | 106 |
| รูปที่ 4.1  | กราฟและค่าที่ดีที่สุดของตัวแบบไม่เชิงเส้น                                                                                  | 114 |
| รูปที่ 4.2  | แสดงตัวอย่างของฟังก์ชันนูน ฟังก์ชันเว้า และฟังก์ชันที่ไม่ใช่ฟังก์ชันนูนและเว้า                                             | 116 |
| รูปที่ 4.3  | แสดงการหาคำตอบที่ต่ำที่สุดด้วยวิธีการค้นหาแบบมีรูปแบบ                                                                      | 121 |
| รูปที่ 4.4  | แสดงการค้นหาแบบวิธีสุกและจีป                                                                                               | 127 |

|             |                                                                                                                                        |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| รูปที่ 5.1  | เซลล์ระบบประสาทของสิ่งมีชีวิตและโครงข่ายประสาทเทียม                                                                                    | 162 |
| รูปที่ 5.2  | แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม                                                                                                            | 162 |
| รูปที่ 5.3  | สถาปัตยกรรมพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวและหลายชั้น                                                                        | 164 |
| รูปที่ 5.4  | โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น                                                                                                         | 164 |
| รูปที่ 5.5  | ฟังก์ชันถ่ายโอน                                                                                                                        | 165 |
| รูปที่ 5.6  | สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ                                                                                       | 167 |
| รูปที่ 5.7  | การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกข้าว                                                                                                          | 170 |
| รูปที่ 5.8  | การพยากรณ์ความต้องการสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต                                                                                           | 172 |
| รูปที่ 5.9  | การพยากรณ์ยอดขายแหวน                                                                                                                   | 173 |
| รูปที่ 5.10 | แสดงโครงสร้างการพัฒนาตัวแบบ                                                                                                            | 177 |
| รูปที่ 5.11 | สถาปัตยกรรมของระบบโครงข่ายประสาทความคลุมเครือ (Fuzzy Neural Network System)                                                            | 181 |
| รูปที่ 5.12 | กราฟเส้นตรงของข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                     | 181 |
| รูปที่ 5.13 | ฮิสโตแกรมของข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                       | 182 |
| รูปที่ 5.14 | กราฟเส้นตรงของข้อมูลความชื้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                     | 182 |
| รูปที่ 5.15 | ฮิสโตแกรมของข้อมูลความชื้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                       | 183 |
| รูปที่ 5.16 | กราฟเส้นตรงของข้อมูลความเร็วลมในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                   | 183 |
| รูปที่ 5.17 | ฮิสโตแกรมของข้อมูลความเร็วลมในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                     | 183 |
| รูปที่ 5.18 | กราฟเส้นตรงของข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                  | 184 |
| รูปที่ 5.19 | ฮิสโตแกรมของข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี                                                                                    | 184 |
| รูปที่ 5.20 | แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเต็ม                                                                                           | 185 |
| รูปที่ 5.21 | ความสัมพันธ์ระหว่างรอบของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบเต็มกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง              | 186 |
| รูปที่ 5.22 | ความสัมพันธ์ของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเต็มเทียบกับค่าเป้าหมาย                                 | 187 |
| รูปที่ 5.23 | แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบย่อ                                                                                            | 191 |
| รูปที่ 5.24 | ความสัมพันธ์ระหว่างรอบของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบย่อกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง               | 193 |
| รูปที่ 5.25 | ความสัมพันธ์ของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบย่อเทียบกับค่าเป้าหมาย                                  | 191 |
| รูปที่ 5.26 | แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปัจจัยทั้ง 4 ในช่วงเดือน เม.ย.-พ.ค.                                                                       | 196 |
| รูปที่ 5.27 | แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปัจจัยทั้ง 4 ในช่วงเดือน ก.ค.-ส.ค.                                                                        | 196 |
| รูปที่ 5.28 | แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปัจจัยทั้ง 4 ในช่วงเดือน พ.ย.-ธ.ค.                                                                        | 197 |
| รูปที่ 5.29 | แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปัจจัยทั้ง 4 ในช่วงเดือน ม.ค.-มี.ค.                                                                       | 197 |
| รูปที่ 5.30 | แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณผลผลิต                                                                                              | 198 |
| รูปที่ 5.31 | แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบความคลุมเครือ                                                                                  | 198 |
| รูปที่ 5.32 | แสดงข้อมูลของปัจจัยที่คลุมเครือและผลการ Defuzzification                                                                                | 201 |
| รูปที่ 5.33 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบความคลุมเครือกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง | 203 |

|             |                                                                                                                 |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| รูปที่ 5.34 | ความสัมพันธ์ของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบความคลุมเครือเทียบกับค่าเป้าหมาย | 204 |
| รูปที่ 5.35 | แสดงการปรับของ PSO ของตำแหน่งและความเร็วของอนุภาค                                                               | 215 |
| รูปที่ 5.36 | แผนการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทฟัซซี่ (Neuro-Fuzzy Symbolic Network)                                            | 217 |
| รูปที่ 5.37 | สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทฟัซซี่                                                                              | 226 |
| รูปที่ 5.38 | วิธีดำเนินการของ ANFIS-PSO สำหรับ PPMS                                                                          | 228 |
| รูปที่ 5.39 | รูปแบบระบบการพยากรณ์ประสิทธิภาพ                                                                                 | 229 |
| รูปที่ 5.40 | โครงข่ายประสาทที่ประกอบด้วยข้อมูลขาเข้า 4 โหนด และข้อมูลขาออกเป็นยอดขายเดือนถัดไป                               | 231 |
| รูปที่ 5.41 | สถาปัตยกรรมของชุดอนุภาค (Array \$swarm)                                                                         | 231 |
| รูปที่ 5.42 | กระบวนการในการสร้างตัวแบบ ANFIS-PSO                                                                             | 232 |
| รูปที่ 5.43 | แนวคิดในกระบวนการทำงานแบบขนาน (Parallel Processing)                                                             | 233 |
| รูปที่ 5.44 | ฟังก์ชันสามเหลี่ยมที่ดีที่สุดซึ่งเป็นข้อมูลขาเข้า                                                               | 234 |
| รูปที่ 5.45 | ผลลัพธ์ของระบบการพยากรณ์ประสิทธิภาพการวัดเชิงเดียว                                                              | 235 |
| รูปที่ 5.46 | กราฟแสดงรูปแบบการลู่เข้าของตัวแบบ ANFIS-PSO                                                                     | 236 |
| รูปที่ 5.47 | MAPE และระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละชุดคำนวณ                                                                       | 236 |
| รูปที่ 5.48 | ผลลัพธ์ของการวัดประสิทธิภาพสำหรับแต่ละตัวแบบ                                                                    | 239 |
| รูปที่ 5.49 | ฟังก์ชันสมาชิกชนิดสามเหลี่ยมสำหรับยอดขายในเดือนถัดไป                                                            | 240 |
| รูปที่ 5.50 | ฟังก์ชันสมาชิกชนิดสามเหลี่ยมสำหรับค่าใช้จ่ายในเดือนถัดไป                                                        | 240 |
| รูปที่ 5.51 | ค่า MAPE จากข้อมูลที่ไม่ได้ใช้มาก่อน                                                                            | 241 |
| รูปที่ 5.52 | ผลลัพธ์ที่ได้จาก composite PPMS                                                                                 | 242 |
| รูปที่ 5.53 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับตัวแบบที่ 1 เพื่อลดความล่าช้ารวม                                                 | 259 |
| รูปที่ 5.54 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับตัวแบบที่ 3 เพื่อลดค่าความล่าช้าสูงสุด                                           | 261 |
| รูปที่ 5.55 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับตัวแบบที่ 5 เพื่อลดจำนวนงานที่ล่าช้า                                             | 263 |
| รูปที่ 5.56 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับคำนวณค่า $T$                                                                     | 268 |
| รูปที่ 5.57 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับคำนวณค่า $Z_{1,k}$                                                               | 269 |
| รูปที่ 5.58 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับคำนวณค่า $Z_{2,k}$                                                               | 269 |
| รูปที่ 5.59 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับคำนวณค่า $Z_3$                                                                   | 270 |
| รูปที่ 5.60 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับคำนวณค่า $Z_4$                                                                   | 270 |
| รูปที่ 5.61 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับคำนวณค่า $Z_{5,k}$                                                               | 271 |
| รูปที่ 5.62 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทสำหรับคำนวณค่า $v_{ij}$                                                                | 272 |
| รูปที่ 6.1  | ตัวอย่างการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว                                                                               | 296 |
| รูปที่ 6.2  | ตัวอย่างการมิวเทชันแบบกลับบิต (Bit Flipping Mutation)                                                           | 297 |
| รูปที่ 6.3  | โครงสร้างการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม                                                                           | 298 |
| รูปที่ 6.4  | แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณฟัซซี่รูปสี่เหลี่ยมคางหมู                                                    | 307 |
| รูปที่ 6.5  | ตัวอย่างการเข้ารหัสของโครโมโซม                                                                                  | 308 |
| รูปที่ 6.6  | แสดงตัวอย่างรูปแบบการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว                                                                     | 308 |
| รูปที่ 6.7  | แสดงตัวอย่างรูปแบบการครอสโอเวอร์แบบวงรอบ                                                                        | 309 |
| รูปที่ 6.8  | แสดงตัวอย่างรูปแบบการมิวเทชันที่ใช้ในงานวิจัย                                                                   | 310 |

|             |                                                                                                       |     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| รูปที่ 6.9  | กราฟผลการทดสอบของต้นทุนรวมของการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย                                            | 311 |
| รูปที่ 6.10 | กราฟผลการทดสอบของต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรง                                                              | 312 |
| รูปที่ 6.11 | กราฟผลการทดสอบของต้นทุนค่าขนส่ง                                                                       | 312 |
| รูปที่ 6.12 | กราฟผลการทดสอบของต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด                                                     | 313 |
| รูปที่ 6.13 | แสดงเส้นทางการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย                                                              | 315 |
| รูปที่ 6.14 | แบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมอาร์พา                                                                  | 322 |
| รูปที่ 6.15 | รูปแบบการสร้างรหัสโครโมโซม                                                                            | 326 |
| รูปที่ 6.16 | แสดงให้เห็นว่าข้อมูลถูกกระจายอย่างต่อเนื่องเป็นปกติปราศจากการโน้มเอียง และสามารถใช้งานนายผลภายหน้าได้ | 326 |
| รูปที่ 6.17 | แสดงโครงแบบของผลตอบ                                                                                   | 329 |
| รูปที่ 6.18 | แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ผลตอบที่ดีที่สุดของสมการเป้าหมาย                                        | 330 |
| รูปที่ 7.1  | บูลีนลอจิก (Boolean Logic) กับฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)                                                | 344 |
| รูปที่ 7.2  | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตของวัยรุ่นแบบดั้งเดิม                                                      | 345 |
| รูปที่ 7.3  | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตของวัยรุ่นแบบฟัซซีเซต                                                      | 345 |
| รูปที่ 7.4  | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตแบบดั้งเดิมและเซตแบบฟัซซี                                                 | 345 |
| รูปที่ 7.5  | ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B                                                                            | 347 |
| รูปที่ 7.6  | อินเตอร์เซกชันเซตของฟัซซีเซต A และ B                                                                  | 348 |
| รูปที่ 7.7  | คอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซต A และ B                                                                        | 349 |
| รูปที่ 7.8  | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม                                                                   | 351 |
| รูปที่ 7.9  | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู                                                             | 351 |
| รูปที่ 7.10 | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน                                                                   | 352 |
| รูปที่ 7.11 | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบระฆังคว่ำ                                                                    | 352 |
| รูปที่ 7.12 | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบตัวเอส                                                                       | 353 |
| รูปที่ 7.13 | ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบตัวแซด                                                                       | 354 |
| รูปที่ 7.14 | ฟังก์ชันสมาชิกสำหรับชั่วโมงแรงงานและวัตถุดิบในตัวอย่าง                                                | 356 |
| รูปที่ 7.15 | ขั้นตอนหลักของโรงฆ่าสัตว์                                                                             | 365 |
| รูปที่ 7.16 | ชิ้นส่วนหลักของไก่ที่ถูกหั่นแล้ว                                                                      | 366 |
| รูปที่ 7.17 | ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตัดแต่งพิเศษ                                                                         | 367 |
| รูปที่ 7.18 | ความสัมพันธ์แบบสามเหลี่ยมของปริมาณความต้องการ                                                         | 373 |
| รูปที่ 7.19 | ความสัมพันธ์ของชั่วโมงการทำงานสำหรับแต่ละสายการผลิต                                                   | 374 |
| รูปที่ 7.20 | ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของการมอบหมายงานให้กะทำงานของ $k = 1$ ในสัปดาห์แรก                                 | 376 |
| รูปที่ 7.21 | แผนภาพตัวแบบดั้งเดิมของการมอบหมายงานให้กะทำงานของ $k = 1$ ในสัปดาห์แรก                                | 377 |
| รูปที่ 7.22 | แผนภาพตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของการมอบหมายงานให้กะทำงานของ $k = 2$ ในสัปดาห์แรก                           | 377 |
| รูปที่ 7.23 | แผนภาพตัวแบบการตัดสินใจโดยมนุษย์ของการมอบหมายงานให้กะทำงานของ $k = 2$ ในสัปดาห์แรก                    | 378 |
| รูปที่ 7.24 | แผนภูมิแสดงผลกระทบหลังต่อรายได้รวมในสัปดาห์ที่ 3                                                      | 383 |
| รูปที่ 7.25 | แผนภูมิแสดงประมาณการปัจจัยที่มีผลกระทบต่อยาได้รวมในสัปดาห์ที่ 3                                       | 383 |
| รูปที่ 7.26 | กราฟพื้นผิวตอบสนองของรายได้รวมสำหรับ $\theta$ และ $\gamma$ ในสัปดาห์ที่ 3                             | 384 |

|             |                                                                                                                                |     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| รูปที่ 7.27 | กราฟโครงร่างของรายได้รวมสำหรับ $\theta$ และ $\gamma$ ในสัปดาห์ที่ 3                                                            | 385 |
| รูปที่ 7.28 | โครงสร้างลำดับขั้นของการคัดเลือกเส้นทางขนส่ง จากตอนเหนือของประเทศไทย ไปยังตอนใต้ของประเทศไทย                                   | 387 |
| รูปที่ 7.29 | ขั้นตอนการหาค่า $OFM_i$                                                                                                        | 388 |
| รูปที่ 7.30 | ขั้นตอนการหาค่า $SFM_i$                                                                                                        | 388 |
| รูปที่ 7.31 | ขั้นตอนการหาค่า $RSI_i$                                                                                                        | 389 |
| รูปที่ 7.32 | เปรียบเทียบค่า $RSI$ ของแต่ละทางเลือกสำหรับ Model 1                                                                            | 390 |
| รูปที่ 7.33 | เปรียบเทียบค่า $RSI$ ของแต่ละทางเลือกสำหรับ Model 2                                                                            | 392 |
| รูปที่ 7.34 | เปรียบเทียบค่า $RSI$ ของแต่ละทางเลือกสำหรับ Model 3                                                                            | 393 |
| รูปที่ 7.35 | เปรียบเทียบค่า $RSI$ ของแต่ละทางเลือกสำหรับ Model 4                                                                            | 395 |
| รูปที่ 8.1  | แสดงธรรมชาติการเดินทางของมด                                                                                                    | 440 |
| รูปที่ 8.2  | แผนผังลักษณะของโปรแกรมตามอัลกอริทึมของวิธีการหาคำตอบแบบอาณานิคมมด                                                              | 445 |
| รูปที่ 8.3  | แสดงลักษณะของปัญหาในรูปแบบของระยะเวลาเดินทาง (กรณี 3 สถานี)                                                                    | 452 |
| รูปที่ 8.4  | แผนผังลักษณะของโปรแกรมตามอัลกอริทึมของวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบอาณานิคมมด                                                     | 457 |
| รูปที่ 8.5  | แผนผังแสดงการเลือกตำแหน่งจุดจอดรถรับ-ส่ง ที่เหมาะสม                                                                            | 468 |
| รูปที่ 8.6  | พิกัดที่อยู่อาศัยของพนักงานในระบบ GPS                                                                                          | 472 |
| รูปที่ 8.7  | แสดงอัตราการเรียนรู้ของวิธีการเรียนรู้แบบแข่งขันกับระยะทางรวมทั้งหมด                                                           | 472 |
| รูปที่ 8.8  | ผลการหาจำนวนจุดจอดรับ-ส่ง ด้วยวิธี AI ทั้ง 6 วิธี                                                                              | 473 |
| รูปที่ 8.9  | แสดง 21 เส้นทาง กรณีศึกษาซึ่งครอบคลุม 400 จุดจอดรถรับ-ส่ง                                                                      | 477 |
| รูปที่ 9.1  | การหาคำตอบที่ดีที่สุดของการตัดแบบของชิ้นส่วน $p_i$ ขึ้น ในปัญหาแนปแซกสองมิติ                                                   | 489 |
| รูปที่ 9.2  | แนปแซกและการวางสิ่งของในระบบสามมิติ                                                                                            | 489 |
| รูปที่ 9.3  | แสดงเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set) ของวิธีพื้นฐานพาเรโต (Pareto-Based Approach)                            | 492 |
| รูปที่ 9.4  | แสดงลักษณะการหมุนกล่องที่พิจารณา                                                                                               | 493 |
| รูปที่ 9.5  | แสดงลักษณะการหมุนกล่องที่ไม่พิจารณา                                                                                            | 493 |
| รูปที่ 9.6  | แสดงตัวแปรของ Knapsack หรือตู้คอนเทนเนอร์                                                                                      | 494 |
| รูปที่ 9.7  | แสดงตัวแปรของกล่องชนิดที่ $i$                                                                                                  | 495 |
| รูปที่ 9.8  | แสดงขนาดของกล่อง $i$ ตาม Dimension $\delta$ เมื่อกล่องหมุนด้วยการหมุน $r$                                                      | 495 |
| รูปที่ 9.9  | แสดงขนาดของ Knapsack ตามแนวแกน $\delta$                                                                                        | 495 |
| รูปที่ 9.10 | แสดงตำแหน่งของ $\gamma_{ir}^\delta$                                                                                            | 495 |
| รูปที่ 9.11 | แสดงตำแหน่งของจุด $\chi_i^\delta$                                                                                              | 496 |
| รูปที่ 9.12 | 3 Dimensions                                                                                                                   | 496 |
| รูปที่ 9.13 | ลักษณะการวางกล่องใน knapsack                                                                                                   | 499 |
| รูปที่ 9.14 | แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการอาณานิคมผึ้งเทียมแบบมาตรฐาน โดย                                                                   | 502 |
| รูปที่ 9.15 | แสดงขั้นตอนการดัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโต (A Modified Artificial Bee Colony Algorithm with Pareto Based) | 504 |
| รูปที่ 9.16 | แสดงลักษณะของโปรแกรม Matlab version R2013                                                                                      | 506 |
| รูปที่ 9.17 | แสดงการพัฒนาโปรแกรม Matlab version R2013 เพื่อแก้ปัญหาแนปแซกสามมิติหลายวัตถุประสงค์                                            | 506 |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| รูปที่ 9.18  | แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(Colony Size) ที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาที่ 4                                                                                                                    | 508 |
| รูปที่ 9.19  | แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(Colony Size) ที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาที่ 5                                                                                                                    | 509 |
| รูปที่ 9.20  | แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(Colony Size) ที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาที่ 6                                                                                                                    | 510 |
| รูปที่ 9.21  | แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(Colony Size) ที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาที่ 7                                                                                                                    | 511 |
| รูปที่ 9.22  | แสดงค่าที่เหมาะสม (Profit) ที่ได้จากการทดสอบเปลี่ยนจำนวนรอบ (Loop) ในกรณีศึกษาจาก Knapsack Library : P07                                                                                                                                                     | 513 |
| รูปที่ 10.1  | แสดงแผนผังการทำงานของ PSO                                                                                                                                                                                                                                    | 531 |
| รูปที่ 10.2  | แสดงการคำนวณการเคลื่อนที่แต่ละอนุภาค                                                                                                                                                                                                                         | 533 |
| รูปที่ 10.3  | แสดงแนวคิดเชิงยุทธศาสตร์สำหรับการจัดทำแผนหลักการพัฒนาระบบขนส่งและจราจรปี พ.ศ. 2554-2563                                                                                                                                                                      | 534 |
| รูปที่ 10.4  | แสดงผลกระทบของการปลดปล่อยก๊าซ CO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                | 535 |
| รูปที่ 10.5  | แสดงสัดส่วนการปลดปล่อย CO <sub>2</sub> และมลภาวะที่เกี่ยวข้องจากการใช้น้ำมันในภาคส่วนต่างๆ                                                                                                                                                                   | 535 |
| รูปที่ 10.6  | แสดงสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งสินค้าในสหภาพยุโรป                                                                                                                                                                                                               | 536 |
| รูปที่ 10.7  | แสดงความสัมพันธ์ของสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการฟังก์ชันเงื่อนไข                                                                                                                                                                                         | 541 |
| รูปที่ 10.8  | แสดงสร้างเส้นทางการเดินรถ (Candidate Route)                                                                                                                                                                                                                  | 545 |
| รูปที่ 10.9  | แสดงการสร้างชุดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์                                                                                                                                                                                                                      | 545 |
| รูปที่ 10.10 | แสดงขั้นตอนของการประยุกต์ใช้วิธี Particle Swarm Optimization ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางแบบสโตแคสติกเพื่อลดมลภาวะและการใช้พลังงานเชื้อเพลิงโดยพิจารณาเงื่อนไขของกรอบเวลาร่วมด้วย                                                                              | 548 |
| รูปที่ 10.11 | แสดงกระบวนการ Adding Routes                                                                                                                                                                                                                                  | 549 |
| รูปที่ 10.12 | แสดงกระบวนการ Adding Remain Routes                                                                                                                                                                                                                           | 550 |
| รูปที่ 10.13 | แสดงตัวอย่างการสร้างชุดข้อมูลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม                                                                                                                                                                                                 | 553 |
| รูปที่ 10.14 | แสดงเส้นทางที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบระหว่างวิธีการของ Lingo Programming และ PSO with time window                                                                                                                                                                | 557 |
| รูปที่ 10.15 | แสดงเส้นทางที่เกิดขึ้นของปัญหา R250 ได้จากวิธีการพาทิคอลสวอมออปติมิเซชันแบบมีเงื่อนไขของความไม่แน่นอนของความเร็วและเวลาในการเดินทางโดยคำนึงกรอบเวลาร่วมด้วย เพื่อหาการปลดปล่อยมลภาวะและการใช้เชื้อเพลิงที่น้อยที่สุดโดยอ้างอิงตามการปล่อยมลภาวะที่น้อยที่สุด | 558 |
| รูปที่ 10.16 | แสดงตัวอย่างการสร้างชุดข้อมูลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม                                                                                                                                                                                                 | 563 |
| รูปที่ 10.17 | แสดงผลรวมการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Minitab                                                                                                                                                                            | 564 |
| รูปที่ 10.18 | แสดงผลการทดสอบเพื่อหาค่า $C_p$ , $C_g$ ของ Particle = 10000 and Iteration = 10                                                                                                                                                                               | 564 |



|               |                                                                                     |     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 2.1  | แสดงปริมาณสารอาหารในอาหารแต่ละชนิด                                                  | 13  |
| ตารางที่ 2.2  | แสดงจำนวนพนักงานที่ต้องการ                                                          | 15  |
| ตารางที่ 2.3  | แสดงกระแสเงินสดและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (หน่วย : ล้านบาท)                             | 18  |
| ตารางที่ 2.4  | แสดงราคาขายน้ำมันในและต้นทุนค่าน้ำมันดิบ                                            | 20  |
| ตารางที่ 2.5  | แสดงสัดส่วนค่าออกเทนและค่ากำมะถันของน้ำมันดิบ                                       | 20  |
| ตารางที่ 2.6  | แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์สำหรับบริษัทแห่งนี้                                           | 24  |
| ตารางที่ 2.7  | แสดงข้อมูลของวัตถุดิบ(ขยะ) สำหรับบริษัทแห่งนี้                                      | 24  |
| ตารางที่ 2.8  | แสดงข้อมูลกำไรและเวลาในแต่ละขั้นตอนในสินค้าทั้ง 7 ชนิด                              | 30  |
| ตารางที่ 2.9  | แสดงแผนการซ่อมบำรุงของเครื่องจักรแต่ละชนิดทั้ง 6 เดือนการผลิต                       | 30  |
| ตารางที่ 2.10 | แสดงข้อจำกัดด้านการตลาดของสินค้าแต่ละชนิด ในแต่ละเดือน                              | 30  |
| ตารางที่ 2.11 | แสดงปริมาณและขนาดตามความต้องการของลูกค้า                                            | 41  |
| ตารางที่ 3.1  | แสดงกระแสเงินสดและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (หน่วย : ล้านบาท)                             | 57  |
| ตารางที่ 3.2  | แสดงปริมาณผ้า ขั้วไหมแรงงาน ค่าใช้จ่ายผันแปร และ ราคาขาย ของเสื้อแต่ละชนิด          | 63  |
| ตารางที่ 3.3  | แสดงระยะเวลาที่บริษัทจะได้รับเงินจากลูกค้าในแต่ละภาคที่ไปใช้บริการในแต่ละเคาน์เตอร์ | 65  |
| ตารางที่ 3.4  | แสดงค่าเสียโอกาสที่เกิดขึ้นถ้าลูกค้า ถูกกำหนดให้ใช้บริการที่เคาน์เตอร์              | 66  |
| ตารางที่ 3.5  | แสดงระยะเวลาในการขับรถจากอำเภอหนึ่งถึงอีกอำเภอหนึ่งในจังหวัด                        | 69  |
| ตารางที่ 3.6  | แสดงปริมาณเหล็กกล้าที่ใช้ ขั้วไหมแรงงาน และกำไรต่อหน่วยของรถแต่ละขนาด               | 71  |
| ตารางที่ 3.7  | แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 1                                | 86  |
| ตารางที่ 3.8  | แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 1                   | 86  |
| ตารางที่ 3.9  | แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 2                                | 87  |
| ตารางที่ 3.10 | แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 2                   | 87  |
| ตารางที่ 3.11 | แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 3                                | 88  |
| ตารางที่ 3.12 | แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 3                   | 88  |
| ตารางที่ 3.13 | แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 4                                | 89  |
| ตารางที่ 3.14 | แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 4                   | 89  |
| ตารางที่ 3.15 | แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 5                                | 90  |
| ตารางที่ 3.16 | แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาย่อยที่ 5                   | 91  |
| ตารางที่ 3.17 | แสดงระยะเวลาในการทำงานและกำหนดส่งงาน                                                | 94  |
| ตารางที่ 3.18 | แสดงระยะทางระหว่างเมืองทั้ง 5                                                       | 96  |
| ตารางที่ 3.19 | แสดงระยะทางระหว่างเมืองทั้ง 5 และกำหนดให้ $x_{ii} = M$                              | 96  |
| ตารางที่ 3.20 | แสดงระยะทางสำหรับปัญหาย่อยที่ 2                                                     | 97  |
| ตารางที่ 3.21 | แสดงระยะทางสำหรับปัญหาย่อยที่ 4                                                     | 98  |
| ตารางที่ 3.22 | แสดงระยะทางสำหรับปัญหาย่อยที่ 5                                                     | 99  |
| ตารางที่ 3.23 | แสดงระยะทางสำหรับปัญหาย่อยที่ 3                                                     | 100 |
| ตารางที่ 3.24 | แสดงระยะทางสำหรับปัญหาย่อยที่ 6                                                     | 101 |
| ตารางที่ 3.25 | แสดงระยะทางสำหรับปัญหาย่อยที่ 7                                                     | 103 |
| ตารางที่ 3.26 | แสดงตารางเริ่มต้นสำหรับวิธี Simplex                                                 | 104 |
| ตารางที่ 3.27 | แสดงตารางสุดท้ายสำหรับวิธี Simplex (Optimal Solution)                               | 104 |
| ตารางที่ 3.28 | แสดงวิธี Dual simplex / Adding Cut1                                                 | 105 |
| ตารางที่ 3.29 | แสดงวิธี Dual simplex                                                               | 105 |

|               |                                                                                                                |     |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 4.1  | แสดงการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาคำตอบแบบ Golden Section ของตัวอย่างที่ 4.7                                       | 124 |
| ตารางที่ 4.2  | แสดงการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาคำตอบแบบ Fibonacci ของตัวอย่างที่ 4.7                                            | 124 |
| ตารางที่ 4.3  | แสดงการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาคำตอบแบบ การแบ่งครึ่งช่องของตัวอย่างที่ 4.8                                      | 126 |
| ตารางที่ 4.4  | การค้นหาแบบวิธีพิทักดวงจรสำหรับตัวอย่าง 4.10                                                                   | 130 |
| ตารางที่ 4.5  | การค้นหาแบบวิธีสุกและจีปเชิงเส้นสำหรับตัวอย่างที่ 4.10                                                         | 130 |
| ตารางที่ 4.6  | การค้นหาแบบวิธีสุกและจีปแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับตัวอย่างที่ 4.10                                                  | 131 |
| ตารางที่ 4.7  | การค้นหาแบบการค้นหาแบบวิธีโรเซนบลอกเชิงเส้นสำหรับตัวอย่างที่ 4.10                                              | 132 |
| ตารางที่ 4.8  | การค้นหาแบบการค้นหาแบบวิธีโรเซนบลอกแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับตัวอย่างที่ 4.10                                       | 132 |
| ตารางที่ 4.9  | การค้นหาแบบการค้นหาแบบวิธี DFP สำหรับตัวอย่างที่ 4.13                                                          | 137 |
| ตารางที่ 5.1  | ตารางสรุปการค้นคว้านงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม                                             | 175 |
| ตารางที่ 5.2  | แสดงข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ในเขตอำเภอจอมทอง ในเดือนธันวาคม                             | 179 |
| ตารางที่ 5.3  | แสดงข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ในเขตอำเภอฟ้าว ในเดือนธันวาคม                               | 180 |
| ตารางที่ 5.4  | แสดงฟังก์ชันการกระจายตัวของข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ                                                              | 185 |
| ตารางที่ 5.5  | ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยขาเข้าที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทในชั้นที่ 2                                          | 188 |
| ตารางที่ 5.6  | ค่าความอคติที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทในชั้นที่ 2                                                             | 189 |
| ตารางที่ 5.7  | ค่าน้ำหนักของแต่ละโหนดของโครงข่ายประสาทในชั้นที่ 2 ที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทชั้นผลลัพธ์                     | 190 |
| ตารางที่ 5.8  | แสดงค่าความอคติที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทชั้นผลลัพธ์                                                         | 190 |
| ตารางที่ 5.9  | แสดงค่าน้ำหนักรวมและลำดับความสำคัญของปัจจัยทั้ง 40 ปัจจัย                                                      | 191 |
| ตารางที่ 5.10 | ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยขาเข้าที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทในชั้นที่ 2                                          | 194 |
| ตารางที่ 5.11 | ค่าความอคติที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทในชั้นที่ 2                                                             | 194 |
| ตารางที่ 5.12 | ค่าน้ำหนักของแต่ละโหนดของโครงข่ายประสาทในชั้นที่ 2 ที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทชั้นผลลัพธ์                     | 195 |
| ตารางที่ 5.13 | แสดงค่าความอคติที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทชั้นผลลัพธ์                                                         | 195 |
| ตารางที่ 5.14 | แสดงเงื่อนไขของปัจจัยคลุมเครือทั้ง 54 กรณี พร้อมความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ                                        | 199 |
| ตารางที่ 5.15 | ตารางแสดงค่าของการ Defuzzification ของปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำหรับช่วงเวลาต่าง ๆ                                    | 201 |
| ตารางที่ 5.16 | แสดงค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยขาเข้าที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทแบบความคลุมเครือในชั้นที่ 2                      | 205 |
| ตารางที่ 5.17 | แสดงค่าความอคติที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทแบบความคลุมเครือในชั้นที่ 2                                         | 208 |
| ตารางที่ 5.18 | แสดงค่าน้ำหนักของแต่ละโหนดของโครงข่ายประสาทแบบความคลุมเครือในชั้นที่ 2 ที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทชั้นผลลัพธ์ | 208 |
| ตารางที่ 5.19 | แสดงค่าความอคติที่สอดคล้องกับโครงข่ายประสาทแบบความคลุมเครือชั้นผลลัพธ์                                         | 209 |
| ตารางที่ 5.20 | แสดงค่าน้ำหนักรวมและลำดับความสำคัญของปัจจัยทั้ง 28 ปัจจัย                                                      | 209 |
| ตารางที่ 5.21 | แนวโน้มของการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทฟัซซี่ ในงานวิจัยด้านอุตสาหกรรม                                          | 219 |
| ตารางที่ 5.22 | การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทฟัซซี่ ในองค์กรสมัยใหม่                                                            | 220 |
| ตารางที่ 5.23 | การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทฟัซซี่ระหว่าง ปี 1997 ถึง 2014                                                     | 224 |
| ตารางที่ 5.24 | การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ                                                                             | 234 |



|               |                                                                              |     |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 5.25 | ANOVA of MAPE VS model                                                       | 235 |
| ตารางที่ 5.26 | อธิบายข้อมูลทางสถิติของข้อมูลการเรียนรู้                                     | 238 |
| ตารางที่ 5.27 | แสดงปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดที่ได้ทำการทดลองในโครงข่ายประสาท                 | 247 |
| ตารางที่ 5.28 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้ารวม        | 274 |
| ตารางที่ 5.29 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการไหลรวม      | 275 |
| ตารางที่ 5.30 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้าสูงสุด     | 276 |
| ตารางที่ 5.31 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการไหลสูงสุด   | 277 |
| ตารางที่ 5.32 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนงานล่าช้า       | 278 |
| ตารางที่ 5.33 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานสำหรับปัญหาที่มีโครงสร้างความสำคัญแบบที่ 1   | 279 |
| ตารางที่ 5.34 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานสำหรับปัญหาที่มีโครงสร้างความสำคัญแบบที่ 2   | 280 |
| ตารางที่ 5.35 | ผลการคำนวณของปัญหาการจัดลำดับงานสำหรับปัญหาที่มีโครงสร้างความสำคัญแบบที่ 3   | 281 |
| ตารางที่ 6.1  | การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในระบบการทำงานด้านต่าง ๆ                      | 301 |
| ตารางที่ 6.2  | แสดงจำนวนหม้อแปลงจำหน่ายชนิด 3 เฟสในพื้นที่ กฟน.1 (สถานะ : พฤษภาคม 2552)     | 303 |
| ตารางที่ 6.3  | แสดงจำนวนและอัตราการเพิ่มผู้ใช้ไฟ (Growth Rate; GR) ในระหว่างปี 2548-2551    | 303 |
| ตารางที่ 6.4  | แสดงหน่วยจำหน่ายและหน่วยสูญเสียสำหรับปี 2546-2551 ในพื้นที่รับผิดชอบ กฟน. 1  | 304 |
| ตารางที่ 6.5  | แสดงพารามิเตอร์สำหรับการทดสอบวิธีเชิงพันธุกรรม                               | 310 |
| ตารางที่ 6.6  | แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อน-หลังการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย             | 311 |
| ตารางที่ 6.7  | แสดงค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่                | 313 |
| ตารางที่ 6.8  | แสดงพิกัดของหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่                                     | 314 |
| ตารางที่ 6.9  | แสดงระยะทางของเส้นทางการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย                            | 314 |
| ตารางที่ 6.10 | แสดงความต้องการพยาบาลในแผนกต่าง ๆ                                            | 320 |
| ตารางที่ 6.11 | แสดงการจัดตารางการทำงานของพยาบาลโดยโปรแกรม Lingo                             | 320 |
| ตารางที่ 6.12 | แสดงรูปแบบการกระจายของการมารับบริการของผู้ป่วยและเวลาการให้บริการ            | 321 |
| ตารางที่ 6.13 | แสดงตัวอย่างการปรับจำนวนพยาบาลโดยโปรแกรม Avena                               | 323 |
| ตารางที่ 6.14 | แสดงจำนวนของค่าเฉลี่ย และค่า Half - width                                    | 323 |
| ตารางที่ 6.15 | แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์จริงและการจำลองสถานการณ์                   | 324 |
| ตารางที่ 6.16 | แสดงจำนวนความต้องการพยาบาลจากการจำลองสถานการณ์                               | 324 |
| ตารางที่ 6.17 | แสดงการถอดรหัสชนิดเลขฐาน 2                                                   | 325 |
| ตารางที่ 6.18 | แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณและค่าระดับของแต่ละปัจจัย                        | 328 |
| ตารางที่ 6.19 | แสดงการออกแบบการทดสอบแบบแฟคตอเรียลเต็มรูปด้วยจุดกลาง 3 จุด                   | 328 |
| ตารางที่ 6.20 | แสดงค่าต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง                  | 329 |
| ตารางที่ 6.21 | แสดงแนวทางในการกำหนดพารามิเตอร์ สำหรับวิธีเชิงพันธุกรรม                      | 330 |
| ตารางที่ 6.22 | แสดงผลการทดลอง ณ. ระดับ/มิวเทชัน ต่ำสุด                                      | 330 |
| ตารางที่ 6.23 | แสดงค่า R-square สำหรับ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจ                        | 331 |
| ตารางที่ 6.24 | แสดงค่าเป้าหมายที่พยากรณ์ได้จากโปรแกรม Minitab เปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายจริง | 331 |
| ตารางที่ 6.25 | แสดงผลการคำนวณเมื่อมีการลดจำนวนพยาบาลที่ $w = 0.6$                           | 331 |
| ตารางที่ 6.26 | แสดงผลการคำนวณที่จำนวนพยาบาลเป็น 20 คน                                       | 331 |
| ตารางที่ 6.27 | แสดงชั่วโมงการทำงานของพยาบาลทั้ง 20 คน                                       | 332 |
| ตารางที่ 6.28 | แสดงจำนวนพยาบาลที่ทำงานในแต่ละกะจากพยาบาลทั้ง 20 คน                          | 331 |

|               |                                                                                                                                                                              |     |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 6.29 | แสดงผลกระทบต่อฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากการเปลี่ยนน้ำหนัก                                                                                                                       | 332 |
| ตารางที่ 6.30 | แสดงผลการคำนวณโดยวิธีเชิงพันธุกรรมโดยคำนวณ 10 ครั้ง ที่ ครั้งละ 400 รอบ และ 1,500 รอบ                                                                                        | 333 |
| ตารางที่ 6.31 | ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าสมการเป้าหมายและเวลาในการคำนวณระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมกับโปรแกรม Lingo                                                                             | 334 |
| ตารางที่ 6.32 | ตารางแสดงจำนวนพยาบาล ค่าใช้จ่ายต่อเดือน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีการวัดตารางแบบเดิมสำหรับเครื่อง ม.ค. 2012                                          | 334 |
| ตารางที่ 6.33 | ตารางแสดงจำนวนพยาบาล ค่าใช้จ่ายต่อเดือน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีการวัดตารางแบบเดิมสำหรับเครื่อง ม.ค. 2013                                          | 334 |
| ตารางที่ 6.34 | แสดงเป้าหมายของสมการวัตถุประสงค์และเวลาในการคำนวณโดยวิธีเชิงพันธุกรรม                                                                                                        | 334 |
| ตารางที่ 7.1  | จำนวนพนักงานสำหรับแต่ละสายการผลิตในแผนกผลิตภัณฑ์พิเศษ                                                                                                                        | 368 |
| ตารางที่ 7.2  | การเปรียบเทียบรายได้ ปริมาณผลผลิต และปริมาณสินค้าขาดส่งระหว่างดุลยพินิจและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เสนอ                                                                         | 379 |
| ตารางที่ 7.3  | ผลที่ได้จากการใช้พารามิเตอร์ฟัซซีในตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับสัปดาห์ที่ 1                                                                                                     | 380 |
| ตารางที่ 7.4  | ผลที่ได้จากการใช้พารามิเตอร์ฟัซซีในตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับสัปดาห์ที่ 2                                                                                                     | 380 |
| ตารางที่ 7.5  | ผลที่ได้จากการใช้พารามิเตอร์ฟัซซีในตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับสัปดาห์ที่ 3                                                                                                     | 381 |
| ตารางที่ 7.6  | ผลที่ได้จากการใช้พารามิเตอร์ฟัซซีในตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับสัปดาห์ที่ 4                                                                                                     | 381 |
| ตารางที่ 7.7  | ผลลัพธ์จากการใช้พารามิเตอร์ฟัซซีในตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการทดสอบแบบแฟคตอเรียลของสัปดาห์ที่ 3                                                                              | 382 |
| ตารางที่ 7.8  | ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อบัณฑิตหลักและประมาณการปัจจัยที่มีผลกระทบด้วยโปรแกรม Minitab ในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) ในสัปดาห์ที่ 3                         | 382 |
| ตารางที่ 7.9  | ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อยาได้รวมจากการผลิตหลังจากลบผลลัพธ์จากการปฏิสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) ในสัปดาห์ที่ 3 | 384 |
| ตารางที่ 7.10 | สรุปผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างพารามิเตอร์คงที่ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์กับตัวแบบดั้งเดิม                                                                                     | 385 |
| ตารางที่ 7.11 | สรุปผลการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางขนส่งของ Model 1                                                                                                                           | 390 |
| ตารางที่ 7.12 | สรุปผลการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางขนส่งของ Model 2                                                                                                                           | 391 |
| ตารางที่ 7.13 | สรุปผลการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางขนส่งของ Model 3                                                                                                                           | 393 |
| ตารางที่ 7.14 | สรุปผลการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางขนส่งของ Model 4                                                                                                                           | 394 |
| ตารางที่ 7.15 | แสดงค่าจำกัดความของตัวแปรต่างๆ                                                                                                                                               | 397 |
| ตารางที่ 7.16 | เครื่องหมายของแบบจำลองฟัซซีโดยตัวดำเนินการค่ามากที่สุด/ค่าน้อยที่สุด                                                                                                         | 406 |
| ตารางที่ 7.17 | แสดงแบบจำลอง 6 ชนิดที่ใช้ฟังก์ชันความเสี่ยงและตัวดำเนินการฟัซซีที่แตกต่างกัน                                                                                                 | 410 |
| ตารางที่ 7.18 | ปัญหาที่กำหนดในการทดลองสำหรับการจัดการหลักทรัพย์                                                                                                                             | 411 |
| ตารางที่ 7.19 | ข้อมูลสำหรับแบบจำลองที่ไม่ใช่เชิงเส้นของปัญหาที่ 1                                                                                                                           | 411 |
| ตารางที่ 7.20 | ผลของแบบจำลองที่ไม่ใช่เชิงเส้นสำหรับปัญหาที่ 1                                                                                                                               | 412 |
| ตารางที่ 7.21 | ผลลัพธ์ของความพร้อมด้านทรัพยากรต่อผลตอบแทนโดยรวมสำหรับตัวแบบ NLP สำหรับปัญหาที่ 1                                                                                            | 413 |
| ตารางที่ 7.22 | ผลลัพธ์ของความพร้อมด้านทรัพยากรต่อผลตอบแทนโดยรวมตาม FNLPM สำหรับปัญหาที่ 1                                                                                                   | 413 |

[illegible]

|               |                                                                                                                                                         |     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 7.47 | ผลลัพธ์ของความพร้อมทรัพยากรต่อผลตอบแทนโดยรวมสำหรับตัวแบบ FLPM สำหรับปัญหาที่ 3                                                                          | 425 |
| ตารางที่ 7.48 | ผลลัพธ์ของการเพิ่มขึ้นในทันทีหรือการลดลงของทรัพยากรทั้งหมดสำหรับตัวแบบ FLPM สำหรับปัญหาที่ 2                                                            | 425 |
| ตารางที่ 7.49 | การเปรียบเทียบระหว่างความเสี่ยง 2 ประเภท                                                                                                                | 425 |
| ตารางที่ 7.50 | การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่ไม่ใช่ฟิชชีและแบบจำลองฟิชชี                                                                                             | 426 |
| ตารางที่ 7.51 | การเปรียบเทียบระหว่างตัวดำเนินการค่าน้อยที่สุดและตัวดำเนินการค่ามากที่สุด/น้อยที่สุด                                                                    | 426 |
| ตารางที่ 7.52 | แสดงความพร้อมด้านทรัพยากรที่มีผลต่อผลตอบแทนโดยรวม                                                                                                       | 428 |
| ตารางที่ 8.1  | สรุปผลที่ได้จากแก้ปัญหาในปัญหাজำนวน 5 10 15 20 และ 25 สถานีที่มีค่าที่ไม่แน่นอน หรือมีตัวแบบจำลองโอกาส-ข้อจำกัด โดยวิธี EXACT (โปรแกรมหาค่าที่ดีที่สุด) | 456 |
| ตารางที่ 8.2  | ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แก้ปัญหาในแต่ละกรณี                                                                                                        | 458 |
| ตารางที่ 8.3  | สรุปผลที่ได้จากแก้ปัญหาในปัญหাজำนวน 5- 100 สถานี ที่มีค่าที่ไม่แน่นอน หรือมีตัวแบบจำลองโอกาส-ข้อจำกัด โดยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบอาณานิคม (ACO)       | 458 |
| ตารางที่ 8.4  | ตารางเปรียบเทียบผลต่างของวิธี EXACT และ ACO                                                                                                             | 459 |
| ตารางที่ 8.5  | ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน ACO                                                                                                                              | 468 |
| ตารางที่ 8.6  | ผลการคำนวณของปัญหাজำนวน 112 ปัญหา                                                                                                                       | 469 |
| ตารางที่ 8.7  | คำตอบที่ดีที่สุดในการหาตำแหน่งจุดจอดรถรับ-ส่งด้วยวิธี AI ทั้ง 6 วิธี                                                                                    | 474 |
| ตารางที่ 8.8  | ค่าพารามิเตอร์ของ ACO                                                                                                                                   | 474 |
| ตารางที่ 8.9  | วิธีการขาออก                                                                                                                                            | 475 |
| ตารางที่ 8.10 | วิธีการขาเข้า                                                                                                                                           | 475 |
| ตารางที่ 8.11 | วิธีการขาออกกับการจำกัดจำนวนเส้นทางรถบัส                                                                                                                | 475 |
| ตารางที่ 9.1  | แสดงขนาดกล่อง และผลของโปรแกรม LINGO Ver.5.0 ของกรณีศึกษาที่ 1                                                                                           | 499 |
| ตารางที่ 9.2  | แสดงขนาดกล่อง และผลของโปรแกรม LINGO Ver.5.0 ของกรณีศึกษาที่ 2                                                                                           | 500 |
| ตารางที่ 9.3  | แสดงขนาดกล่อง และผลของโปรแกรม LINGO Ver.5.0 ของกรณีศึกษาที่ 3                                                                                           | 500 |
| ตารางที่ 9.4  | แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจำนวนฝูงผึ้ง (Colony Size) เมื่อรันโปรแกรม 5 ครั้ง กรณีศึกษาที่ 4                                                   | 508 |
| ตารางที่ 9.5  | แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจำนวนฝูงผึ้ง (Colony Size) เมื่อรันโปรแกรม 5 ครั้ง กรณีศึกษาที่ 5                                                   | 509 |
| ตารางที่ 9.6  | แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจำนวนฝูงผึ้ง (Colony Size) เมื่อรันโปรแกรม 5 ครั้ง กรณีศึกษาที่ 6                                                   | 510 |
| ตารางที่ 9.7  | แสดงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจำนวนฝูงผึ้ง (Colony Size) เมื่อรันโปรแกรม 5 ครั้ง กรณีศึกษาที่ 7                                                   | 511 |
| ตารางที่ 9.8  | แสดงรายละเอียดของผลเฉลยพาเรโตเหมาะที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal Solution) กรณีศึกษาที่ 4 ถึง 7                                                  | 512 |
| ตารางที่ 9.9  | แสดงจำนวนวนรอบ (Loop) ที่เหมาะสมในการหาคำตอบของการดัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโต                                                     | 513 |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 9.10  | แสดงการเปรียบเทียบคำตอบของวิธีตรง (Exact Method) กับการดัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโต                                                                                                                                                              | 514 |
| ตารางที่ 9.11  | แสดงลักษณะของปัญหาที่สมมติขนาดกล่องและคอนเทนเนอร์ ทั้งหมด 32 กรณี                                                                                                                                                                                                     | 516 |
| ตารางที่ 9.12  | การหาค่าที่เหมาะสมของการดัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโต 32 กรณีศึกษา                                                                                                                                                                                | 517 |
| ตารางที่ 9.13  | แสดงขนาดและจำนวนของคอนเทนเนอร์ และกล่องสินค้า                                                                                                                                                                                                                         | 519 |
| ตารางที่ 9.14  | แสดงการเปรียบเทียบคำตอบของวิธีตรง (Exact Method) กับการดัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโต (A Modified Artificial Bee Colony Algorithm with Pareto Based) ในกรณีศึกษาจริง                                                                               | 520 |
| ตารางที่ 10.1  | แสดงจำนวนและความต้องการของลูกค้าที่ไม่แน่นอน                                                                                                                                                                                                                          | 528 |
| ตารางที่ 10.2  | แสดงการเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์แบบต่างๆ ด้วยต้นทุนของปัญหาการกำหนดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบสโตแคสติก                                                                                                                                        | 529 |
| ตารางที่ 10.3  | แสดงการเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมระหว่างงานวิจัยของ Jin and Kachitvichyanakul (2009) และ Amico et al.                                                                                                                                                                   | 529 |
| ตารางที่ 10.4  | แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของมลภาวะที่ปล่อยออกมาขณะเครื่องยนต์ร้อนของยานพาหนะที่มีค่าน้ำหนักบรรทุกรวม 7.5 – 16 ตัน                                                                                                                                                           | 529 |
| ตารางที่ 10.5  | แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของมลภาวะที่ปล่อยออกมาขณะเครื่องยนต์เย็นของยานพาหนะที่มีค่าน้ำหนักบรรทุกรวม 7.5 – 16 ตัน                                                                                                                                                           | 540 |
| ตารางที่ 10.6  | แสดงประเภทของข้อมูลที่ใช้ในหาค่าที่เหมาะสม                                                                                                                                                                                                                            | 546 |
| ตารางที่ 10.7  | แสดงช่วงความเร็วต่ำสุด (Min Velocity) และช่วงของความเร็วสูงสุด (Max Velocity)                                                                                                                                                                                         | 547 |
| ตารางที่ 10.8  | แสดง Parameter ที่เกี่ยวข้องและระดับของ Parameter                                                                                                                                                                                                                     | 553 |
| ตารางที่ 10.9  | แสดงผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ที่ดีที่สุด 10 กรณีแรก                                                                                                                                                                                                      | 554 |
| ตารางที่ 10.10 | แสดงผลของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม                                                                                                                                                                                                                                     | 554 |
| ตารางที่ 10.11 | แสดงปัจจัยที่ใช้จำแนกประเภทของปัญหาและระดับของปัจจัย                                                                                                                                                                                                                  | 554 |
| ตารางที่ 10.12 | แสดงรูปแบบของปัญหาต่างๆ ที่สามารถจำแนกได้                                                                                                                                                                                                                             | 555 |
| ตารางที่ 10.13 | แสดงคำตอบที่เหมาะสมที่ได้จากวิธีการพาดิโคลสวอมมอปติมิเซชันที่มีข้อจำกัดเรื่องความไม่แน่นอนของความเร็วและเวลาในการเดินทาง โดยพิจารณากรอบเวลาร่วมด้วย (Particle Swarm Optimization with Time Window) เปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีตรง (Exact Method) ด้วยโปรแกรม LINGO 5.0 | 555 |
| ตารางที่ 10.14 | แสดงผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ที่ดีที่สุด 10 กรณีแรก                                                                                                                                                                                                      | 565 |
| ตารางที่ 10.15 | แสดงผลของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม                                                                                                                                                                                                                                     | 565 |
| ตารางที่ 10.16 | แสดงปัจจัยที่ใช้จำแนกประเภทของปัญหาและระดับของปัจจัย                                                                                                                                                                                                                  | 565 |
| ตารางที่ 10.17 | แสดงรูปแบบของปัญหาต่างๆ ที่สามารถจำแนกได้                                                                                                                                                                                                                             | 566 |
| ตารางที่ 10.18 | แสดงคำตอบที่เหมาะสมที่ได้จากวิธีการ Particle Swarm Optimization (PSO) เปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีตรง (Exact Method) ด้วยโปรแกรม LINGO 5.0                                                                                                                              | 566 |
| ตารางที่ 10.19 | แสดงจำนวนลานจอดทั้ง 12 ลานจอดที่ใช้ในการพักเครื่องเฮลิคอปเตอร์                                                                                                                                                                                                        | 568 |
| ตารางที่ 10.20 | แสดงรายละเอียดของความยาวสายไฟฟ้าและจำนวนสายส่งไฟฟ้าแรงสูง                                                                                                                                                                                                             | 569 |
| ตารางที่ 10.21 | แสดงคำตอบที่ได้จากวิธีการ ACO PSO และแผนการบินปัจจุบันเปรียบเทียบกับแผนการบินจริง                                                                                                                                                                                     | 570 |





“การออกแบบระบบการขนส่งพนักงานที่มีประสิทธิภาพจะต้องเลือกจุดจอดรถบัสที่เหมาะสมภายในระยะทางที่พนักงานยอมรับได้พร้อมทั้งกำหนดเส้นทางเดินรถที่ดีที่สุด การกำหนดเส้นทางเดินรถที่ดีที่สุดสำหรับการรับ-ส่งพนักงานไปทำงาน”

โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่หลายแห่งในประเทศไทยกำลังเผชิญกับปัญหาการขาดแคลนพนักงาน ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาจ้างคนที่อยู่ห่างไกลจากโรงงานมาทำงาน ทีมบริหารของโรงงานจึงต้องจัดระบบการขนส่งเพื่ออำนวยความสะดวกในการเดินทางไปไกล ๆ การออกแบบระบบการขนส่งพนักงานที่มีประสิทธิภาพจะต้องเลือกจุดจอดรถบัสที่เหมาะสมภายในระยะทางที่พนักงานยอมรับได้พร้อมทั้งกำหนดเส้นทางเดินรถที่ดีที่สุด การกำหนดเส้นทางเดินรถที่ดีที่สุดสำหรับการรับ-ส่งพนักงานไปทำงานจะถูกจัดให้เป็นปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะ (VRP) ในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ เนื่องจากจำนวนที่อยู่อาศัยของพนักงานเพิ่มขึ้น ทำให้ปัญหานี้กลายเป็นปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น ระบบบริการการขนส่งพนักงานของเราสามารถจำลองเป็นปัญหาในการกำหนดเส้นทางรถประจำทางของโรงเรียน (SBRP) ซึ่งปัญหาในการกำหนดเส้นทางรถประจำทางของโรงเรียน ได้รับการศึกษามาอย่างต่อเนื่อง

## การหาตำแหน่งที่เหมาะสมและการประยุกต์

OPTIMIZATION AND  
ITS APPLICATION



CHIANG MAI  
UNIVERSITY PRESS

ISBN: 978-616-398-230-8



ราคา 750 บาท

การหาค่าที่ดีที่สุด  
Optimization





## 1.1 บทนำ

การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) มีความหมายในภาษาอังกฤษคือ the act of making something as good as possible (Cambridge Dictionary) หรือ Finding an alternative with the most cost effective or highest achievable performance under the given constraints, by maximizing desired factors and minimizing undesired ones (Business Dictionary) การหาค่าที่ดีที่สุดเป็นศาสตร์หนึ่งหรือเป็นส่วนหนึ่งในการวิจัยดำเนินงาน (Operation Research) ซึ่งแนวความคิดของการวิจัยดำเนินงานอาจเกิดขึ้นตั้งแต่สมัยโบราณกาล เมื่อมนุษย์ได้ใช้ความพยายามที่จะดำเนินงานต่าง ๆ ให้เกิดผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์มากที่สุด และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่แนวความคิดของการวิจัยดำเนินงานนี้มีหลักฐานปรากฏขึ้นในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 แต่ข้อมูลบางแหล่งกล่าวไว้ว่าแนวความคิดนี้เริ่มขึ้นในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งสามารถสรุปสถานการณ์สำคัญได้ดังนี้

| ช่วงเวลาและเหตุการณ์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ที่มา                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 (ค.ศ.1914-1918)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Thomas Edison ได้รับมอบหมายจากกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ให้แก้ปัญหาเส้นทางการเดินเรือขนส่งสินค้า โดยหาเส้นทางที่ปลอดภัยมากที่สุด และเกิดความเสียหายน้อยที่สุด</li> <li>- F.W. Lancaster ได้รับมอบหมายจากกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา พัฒนาตัวแบบการสรุป ที่จะก่อประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้กำลังที่พอมืออยู่</li> <li>- เอ เค เออร์ลาง นักคณิตศาสตร์ชาวเดนมาร์ก วิเคราะห์ปัญหาการใช้โทรศัพท์ โดยให้เกิดการรอคอยและใช้อุปกรณ์ของระบบให้น้อยที่สุด (ปี ค.ศ.1917)</li> </ul> | <p>(คณะวิทยาศาสตร์, 2559) (นันทปราชญ์, 2559) (Daniel, 2559) (นิกร, 2559)</p> <p>(Daniel, 2559) (นิกร, 2559)</p> <p>(คณะวิทยาศาสตร์, 2559) (นิกร, 2559)</p> |

| ช่วงเวลาและเหตุการณ์                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ที่มา                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 (ค.ศ. 1936-1946)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Horace C. Levenson นักวิทยาศาสตร์ธรรมชาติวิทยา นำเอาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับการ แก้ไขปัญหาการผลิต (ปี ค.ศ. 1937)</li> <li>- Robert Watson-Watt ได้รับมอบหมายจากรัฐบาลอังกฤษให้วิเคราะห์ปัญหา การใช้ อุปกรณ์เรดาร์ในการจับเครื่องบิน และเวลาที่เครื่องบินเข้าศึกโจมตี เพื่อปรับปรุงหน่วยสถานีเรดาร์ ทั้งหมดของกองทัพอากาศ (ปี ค.ศ. 1937)</li> <li>- กองทัพอากาศอังกฤษจัดตั้งหน่วยวิจัยขึ้นดำเนินงานทางทหาร (ปี ค.ศ. 1941)</li> <li>- รัฐบาลสหรัฐอเมริกาจัดตั้งหน่วยวิจัยขึ้นดำเนินงาน โดยได้รับคำแนะนำจากอังกฤษ (ปี ค.ศ. 1942)</li> <li>- ประเทศอังกฤษนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารงาน ในอุตสาหกรรมทำถ่านหิน</li> </ul> | <p>(คณะวิทยาศาสตร์, 2559) (นันทปราชญ์, 2559) (MBA, 2559) (โกสินทร์, 2559)</p> <p>(คณะวิทยาศาสตร์, 2559) (นิกร, 2546) (Denis, 2559) (Jayant, 2559) (Russell, 2559) (Saul, 2559) (โกสินทร์ 2559)</p> <p>(คณะวิทยาศาสตร์, 2559) (นิกร, 2546) (โกสินทร์, 2559)</p> <p>(คณะวิทยาศาสตร์, 2559) (นิกร, 2546)</p> <p>(คณะวิทยาศาสตร์, 2559) (นิกร, 2546)</p> |

ต่อมาจึงได้ขยายตัวเข้าไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ทั้งด้านการขนส่ง เกษตรกรรม รวมไปถึงได้มีการจัดตั้งสมาคม และจัดสอนขึ้นในมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาชั้นสูง โดยทั่วไป ส่วนประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย ได้นำแนวความคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการพัฒนาด้านสาธารณสุขของประชาชน เช่น โครงการวางแผนครอบครัวแห่งชาติ ในช่วง 20 ปี พ.ศ. 2513 – 2523 ประเทศไทยสามารถลดอัตราการเพิ่มของประชากรจากร้อยละ 3.2 เหลือร้อยละ 1.1 นับเป็นผลสำเร็จอย่างสูง และได้ชื่อว่าเป็นแบบอย่างของความสำเร็จของโครงการอื่นๆ เป็นต้นมา (นิกร, 2546)

## 1.2 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าที่ดีที่สุดมีหลายรูปแบบ ถ้าพิจารณาจากลักษณะของพารามิเตอร์ (Parameters) สามารถแบ่งตัวแบบเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 2 กลุ่ม คือ Deterministic Model พารามิเตอร์เป็นค่าคงที่ และ Stochastic Model พารามิเตอร์เป็นตัวแปรสุ่ม ถ้าพิจารณาจากสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) ก็สามารถแบ่งตัวแบบเป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกันคือ Single Objective Model และ Multi-Objectives Model สำหรับตัวแบบที่มีลักษณะเป็น Deterministic Model ยังประกอบไปด้วยตัวแบบต่างๆ อาทิเช่น Linear Programming (LP) Integer Linear Programming (ILP) Binary Linear Programming (BLP) Mixed Linear Programming (MLP) Non-Linear Programming (NLP) Integer Non-Linear Programming (INLP) Binary Non-Linear Programming (BNLP) Mixed Non-Linear Programming (MNLP) และอื่นๆ โครงสร้างของตัวแปรต่างๆ จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ สมการเป้าหมาย (Objective Function) และ สมการข้อจำกัด (Constraints) ในแต่ละสมการเป้าหมายหรือสมการข้อจำกัดจะสร้างจากตัวแปร 2 ลักษณะ ตัวแปรที่เป็นพารามิเตอร์ (Parameters) และตัวแปรที่เป็นตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

โครงสร้างของ Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x), g_i(x), h_j(x) \in \text{Linear function} \quad \forall_i \forall_j \\
 & && x \in \Re \quad \Re = \text{real number}
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

โครงสร้างของ Integer Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x), g_i(x), h_j(x) \in \text{Linear function} \quad \forall_i \forall_j \\
 & && x \in \mathbb{Z} \quad \mathbb{Z} = \text{integer number}
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

โครงสร้างของ Binary Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x), g_i(x), h_j(x) \in \text{Linear function} \quad \forall_i \forall_j \\
 & && x \in \{0, 1\}
 \end{aligned} \tag{1.3}$$

โครงสร้างของ Mixed Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x), g_i(x), h_j(x) \in \text{Linear function} \quad \forall_i \forall_j \\
 & && x \in \Re \text{ or } \mathbb{Z}
 \end{aligned} \tag{1.4}$$

โครงสร้างของ Non-Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x) \in \text{NonLinear function} \text{ or} \\
 & && g_i(x) \in \text{at least NonLinear function or} \\
 & && h_j(x) \in \text{at least NonLinear function} \\
 & && x \in \Re \quad \Re = \text{real number}
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

โครงสร้างของ Integer Non-Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x) \in \text{NonLinear function or} \\
 & && g_i(x) \in \text{at least NonLinear function or} \\
 & && h_j(x) \in \text{at least NonLinear function} \\
 & && x \in \mathfrak{I} \quad \mathfrak{I} = \text{integer number}
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

โครงสร้างของ Binary Non-Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x) \in \text{NonLinear function or} \\
 & && g_i(x) \in \text{at least NonLinear function or} \\
 & && h_j(x) \in \text{at least NonLinear function} \\
 & && x \in \{0, 1\}
 \end{aligned} \tag{1.7}$$

โครงสร้างของ Mixed Non-Linear Programming

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimization/Maximization} && f(x) \\
 &\text{Subject to} && g_i(x) \leq 0 \quad \forall_i; i = \{1, \dots, m\} \\
 & && h_j(x) = 0 \quad \forall_j; j = \{1, \dots, n\} \\
 & && f(x) \in \text{NonLinear function or} \\
 & && g_i(x) \in \text{at least NonLinear function or} \\
 & && h_j(x) \in \text{at least NonLinear function} \\
 & && x \in \mathfrak{R} \text{ or } \mathfrak{I}
 \end{aligned} \tag{1.8}$$

สำหรับตัวแบบ Multi-Objectives Model ก็จะมีลักษณะตัวแบบที่มี Objective Function มากกว่า 1 Objective Function ขึ้นไป ซึ่งอาจจะเป็นตัวแบบที่เป็น Multi-Objectives Linear Model หรือ Multi-Objectives Non-Linear Model ก็ได้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของ Function

## แบบฝึกหัดท้ายบท

1. จงบอกความสำคัญของการหาค่าที่ดีที่สุด ที่มีต่องานทางด้านอุตสาหกรรมทั้งอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมบริการ
2. จงบอกความแตกต่างระหว่างตัวแบบชนิด Deterministic กับ Stochastic
3. จงบอกความแตกต่างระหว่างตัวแบบชนิด Single Objective และ Multi-Objectives
4. จงบอกความแตกต่างระหว่างตัวแบบชนิด Linear Programming และ Integer Linear Programming
5. จงบอกความแตกต่างระหว่างตัวแบบชนิด Integer Linear Programming และ Binary Linear Programming
6. จงบอกความแตกต่างระหว่างตัวแบบชนิด Linear Programming และ Nonlinear Programming
7. จงบอกความแตกต่างระหว่างตัวแบบชนิด Binary Linear Programming และ Binary Nonlinear Programming
8. สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ (Large Scale Problem) ตัวแบบชนิดใดที่จะใช้เวลานานในการคำนวณเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- โกสินทร์ ชัยมูติ และคณะ. 2559. ประวัติการวิจัยดำเนินการ. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2559. จากเว็บไซต์ : [http://staff.cs.psu.ac.th/natikan/OR/OR2002/lesson/1/lesson1\\_1.php](http://staff.cs.psu.ac.th/natikan/OR/OR2002/lesson/1/lesson1_1.php)
- นันทปราชญ์ นันทวัฒน์กุล. 2559. การวิจัยดำเนินงานทางเศรษฐศาสตร์ 1 Operation Research Method in Economic Analysis. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2559. จากเว็บไซต์ : <http://www.bus.rmutt.ac.th/~hatthapart/leturce/Or/power/chapter-1.ppt>
- นิกร ดุสิตสิน และ ยศพา ออนทวม. 2546. หลักการและแนวทางสำหรับการวิจัยเชิงปฏิบัติการ. วารสารวิทยาศาสตร์การแพทย์, 17(2), 103-105.
- Bouyssoun, D. 2016. An annotated timeline of Operations Research, An informal history. (file://C:/Users/AP/My%20Documents/Downloads/Timeline%20Review\_EJOR\_Bouyssou.pdf). Accessed 2/1/2016.
- Granja, D. I., and J. J. Ruiz. 2016. History of Operations Research. (<http://phpsimplex.com/en/history.htm>). Accessed 2/1/2016.
- Rajgopal, J. 2016. Principles and Applications of Operations Research Maynard's Industrial Engineering Handbook, 5th Edition, pp.11.27-11.44 MBA-H2040 Introduction to Operations Research. ([http://www.pondiuni.edu.in/stroage/dde/downloads/mbaii\\_qt.pdf](http://www.pondiuni.edu.in/stroage/dde/downloads/mbaii_qt.pdf)). Accessed 2/1/2016.
- Russell L. 2016. Ackoff operational research. (<http://www.britannica.com/topic/oprationsresearch/History>). Accessed 2/1/2016.
- Saul I. Gass. et al. 2016. An annotated timeline of Operations Research, An informal history. ([http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/po\\_2/literature/historia/operation%20research.pdf](http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/po_2/literature/historia/operation%20research.pdf)). Accessed 2/1/2016.



ตัวแบบเชิงเส้นตรง  
Linear Modeling



## 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาต่างๆ อาทิเช่น ปัญหาการวางแผนการผลิต ปัญหาการจัดการโภชนาการ ปัญหาการจัดกำลังคน ปัญหาการจัดการการลงทุน ปัญหาการผสม ปัญหาการตัด ปัญหาการขนส่งปกติ ปัญหาการขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้า ปัญหาที่มีการบริหารหลายคาบเวลา รวมถึงการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดของตัวแปรตัดสินใจโดยใช้โปรแกรม Lingo ซึ่งการสร้างตัวแบบจะเน้นการสร้างตัวแบบสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ (Large Scale Problem)

## 2.2 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาการจัดการการผลิต (Production Management)

โดยในการสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับการเรียนรู้ จะได้อ้างอิงปัญหาดังต่อไปนี้ และขยายปัญหาให้มีลักษณะทั่วไป (General) มากขึ้น โดยปัญหาการจัดการการผลิตจะมุ่งเน้นในเรื่องการสร้างกำไรให้ได้มากที่สุด หรือจะมุ่งเน้นในการบริหารต้นทุนให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยมีเงื่อนไขในการผลิตต่างๆ อาทิ ความต้องการสินค้าแต่ละชนิดของลูกค้า ชั่วโมงแรงงาน ชั่วโมงเครื่องจักรในแต่ละแผนกผลิต รวมถึงความสามารถในการส่งวัตถุดิบ

**ปัญหาที่ 2.1** บริษัทผลิตของเล่นเด็กจากไม้แห่งหนึ่ง ผลิตสินค้าประเภทของเล่นไม้แกะสลัก 2 แบบคือ ทหารและรถไฟ ของเล่นไม้แกะสลักรูปทหารขายในราคาชิ้นละ 27 \$ โดยมีต้นทุนค่าวัตถุดิบ 10 \$/ชิ้น และต้นทุนค่าแรงงาน 14 \$/ชิ้น ส่วนของเล่นไม้แกะสลักรูปรถไฟราคาชิ้นละ 21 \$ มีต้นทุนค่าวัตถุดิบ 9 \$/ชิ้น และต้นทุนค่าแรงงาน 10 \$/ชิ้น ขั้นตอนผลิตมีทั้งหมด 2 ขั้นตอนประกอบด้วย ขั้นตอนการตัดไม้ให้ได้ตามขนาดและขั้นตอนขัดผิว ของเล่นไม้แกะสลักรูปทหารหนึ่งชิ้นต้องใช้เวลาในขั้นตอนการตัดไม้ 1 ชั่วโมง และขั้นตอนการขัดผิว 2 ชั่วโมง ส่วนของเล่นไม้แกะสลักรูปรถไฟหนึ่งชิ้นต้องใช้เวลาในขั้นตอนการตัดไม้ 1 ชั่วโมง และขั้นตอนการขัดผิว 1 ชั่วโมง

ในแต่ละสัปดาห์บริษัทสามารถจัดหาวัตถุดิบได้ตามความต้องการ แต่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต คือสามารถตัดไม้ได้เพียงแค่ 80 ชั่วโมง และขัดผิวได้เพียง 100 ชั่วโมง โดยของเล่นไม้แกะสลักรูปรถไฟมีความต้องการไม่จำกัด ส่วนของเล่นไม้แกะสลักรูปทหารขายได้อย่างมาก 40 ชิ้นใน 1 สัปดาห์ บริษัทต้องการกำไรมากที่สุดในแต่ละสัปดาห์ (รายได้ – ค่าใช้จ่าย) จงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้ได้กำไรมากที่สุด ตามเงื่อนไขที่กำหนด

**ตัวแบบทางคณิตศาสตร์**

กำหนดตัวแปรตัดสินใจ

 $x_1$  = ปริมาณการผลิตของเล่นไม้แกะสลักรูปทหาร ขึ้นต่อสัปดาห์ $x_2$  = ปริมาณการผลิตของเล่นไม้แกะสลักรูปรถไฟ ขึ้นต่อสัปดาห์

$$\text{Max } z = 27x_1 + 21x_2 - 10x_1 - 14x_1 - 9x_2 - 10x_2 = 3x_1 + 2x_2$$

s.t.

$$1x_1 + 1x_2 \leq 80$$

$$2x_1 + 1x_2 \leq 100$$

$$x_1 \leq 40$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

(2.1)

**ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ทั่วไป ในรูป Matrix** $x_i$  = ปริมาณการผลิตของเล่นไม้แกะสลักชนิด  $i$  ขึ้นต่อสัปดาห์

$$\text{Max } z = CX$$

s.t.

$$AX \leq B$$

$$C = [c_1, c_2, \dots, c_m]_{1 \times m}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}_{m \times 1}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{m1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}_{n \times m}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

(2.2)

### ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ทั่วไป ในรูป Summation

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^m c_i x_i$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_i \leq b_j \quad \forall j; j = \{1, 2, \dots, n\}$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i; i = \{1, 2, \dots, m\}$$

$$\text{Max } z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_m x_m = \sum_{i=1}^m c_i x_i$$

s.t.

$$a_{11} x_1 + a_{21} x_2 + \dots + a_{m1} x_m \leq b_1$$

$$a_{12} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{m2} x_m \leq b_2$$

⋮

$$a_{1n} x_1 + a_{2n} x_2 + \dots + a_{mn} x_m \leq b_n$$

$$x_1 \geq 0$$

⋮

$$x_m \geq 0$$

(2.3)

## 2.3 การสร้างตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาโภชนาการ (Nutritional Problem)

ตัวแบบเชิงเส้นตรงสำหรับปัญหาโภชนาการ จะพิจารณาถึงปริมาณสิ่งที่จะบริโภคเพื่อให้ผู้บริโภคได้คุณค่าทางโภชนาการที่ครบถ้วนตามความต้องการของร่างกาย ด้วยต้นทุนการบริโภคที่ต่ำโดยมีข้อจำกัดอื่นๆ อาทิ งบประมาณ

**ปัญหาที่ 2.2** รายการอาหารที่ผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคได้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย แค็กชีกโกแลต ไอศกรีม น้ำอัดลม และซีสเค้ก ซึ่งในปัจจุบันอาหารทั้ง 4 กลุ่มมาจากอาหารต่างๆ ดังนี้ บราวนี่ ไอศกรีมชีกโกแลต น้ำอัดลม และซีสเค้กสับปะรด โดยบราวนี่ราคาชิ้นละ 50 บาท ไอศกรีมชีกโกแลตราคาชิ้นละ 20 บาท น้ำอัดลมราคาขวดละ 30 บาท ซีสเค้กสับปะรดราคาชิ้นละ 80 บาทในแต่ละวันต้องการพลังงานอย่างน้อย 500 Calorie ปริมาณชีกโกแลตอย่างน้อย 6 Oz ปริมาณน้ำตาลอย่างน้อย 10 Oz ปริมาณไขมันอย่างน้อย 8 Oz โดยสารอาหารของอาหารแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 2.1 จงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้ได้สารอาหารตามต้องการโดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณสารอาหารในอาหารแต่ละชนิด

| อาหาร                     | แคลอรี | ซีอิ๊วโกแลต (Oz) | น้ำตาล (Oz) | ไขมัน (Oz) |
|---------------------------|--------|------------------|-------------|------------|
| บราวนี่ 1 ชิ้น            | 400    | 3                | 2           | 2          |
| ไอศกรีมซีอิ๊วโกแลต 1 ก้อน | 200    | 2                | 2           | 4          |
| น้ำอัดลม 1 ขวด            | 150    | 0                | 4           | 1          |
| ชีสเค้กสับปะรด 1 ชิ้น     | 500    | 0                | 4           | 5          |

## ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

กำหนดตัวแปรตัดสินใจ

- $x_1$  = ปริมาณการบริโภคบราวนี่                      ชิ้นต่อวัน  
 $x_2$  = ปริมาณการบริโภคไอศกรีมซีอิ๊วโกแลต                      ก้อนต่อวัน  
 $x_3$  = ปริมาณการบริโภคน้ำอัดลม                      ขวดต่อวัน  
 $x_4$  = ปริมาณการบริโภคชีสเค้กสับปะรด                      ชิ้นต่อสัปดาห์

$$\text{Min } z = 50x_1 + 20x_2 + 30x_3 + 80x_4$$

s.t.

$$400x_1 + 200x_2 + 150x_3 + 500x_4 \geq 500$$

$$3x_1 + 2x_2 + 0x_3 + 0x_4 \geq 6$$

$$2x_1 + 2x_2 + 4x_3 + 4x_4 \geq 10$$

$$2x_1 + 4x_2 + 1x_3 + 5x_4 \geq 8$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

$$x_3 \geq 0$$

$$x_4 \geq 0$$

(2.4)