

# การหาค่าที่เหมาะสม และการประยุกต์

## OPTIMIZATION AND ITS APPLICATION

พิมพ์ครั้งที่

2

คมกฤต เล็กสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

# การหาค่าที่เหมาะสม และการประยุกต์

OPTIMIZATION AND ITS APPLICATION



---

คมกฤต เล็กสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

---

# คำนำ พิมพ์ครั้งที่ 1

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

สุดท้ายผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะได้สะท้อนให้เห็นถึงความตั้งใจ ความพยายาม ความมุ่งมั่น ความเพียรและความอดทน แต่ ลูก ลูกศิษย์และลูกน้อง ของผู้เขียน เพื่อจะได้นำพาให้เขาเหล่านั้นจะได้ประสบความสำเร็จดังที่ได้ตั้งใจไว้ต่อไป

---

คมกฤต เล็กสกุล

---

# คำนำ พิมพ์ครั้งที่ 2

หนังสือการหาค่าที่ดีที่สุดและการประยุกต์ ในการพิมพ์ครั้งที่ 2 ได้ปรับแก้ไขข้อผิดพลาดจากการพิมพ์ในครั้งแรก โดยยังคงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในระดับบัณฑิตศึกษา ดุษฎีบัณฑิต และงานวิจัยที่ได้ดำเนินงานวิจัยร่วมกับนักศึกษาทั้งระดับปริญญาโท และปริญญาเอกของกระผม งานวิจัยส่วนใหญ่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่เป็นที่ยอมรับระดับนานาชาติ ผู้เขียนต้องขอขอบคุณทีมงานของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้อำนวยความสะดวกในการจัดพิมพ์ทั้งสองครั้ง ศูนย์หนังสือต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เป็นช่องทางในการนำเสนอหนังสือเล่มนี้ต่อนิสิต นักศึกษา และนักวิจัย ที่มีความสนใจในศาสตร์ทางด้าน การหาค่าที่ดีที่สุดอีกครั้งหนึ่ง ผู้เขียนขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนร่วมงาน ตลอดจนนักศึกษาที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ประโยชน์อันใดที่จะเกิดขึ้นจากองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาหนังสือเล่มนี้ผู้เขียนขออุทิศให้แด่บิดาที่ได้ล่วงลับไปแล้ว มารดา ภรรยา สมาชิกในครอบครัว ครู อาจารย์ นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ที่มีส่วนร่วมให้ประสบแต่สิ่งดี ๆ และมีสุขภาพที่แข็งแรงตลอดไป

---

คมกฤต เล็กสกุล

# สารบัญ

คำนิยม	
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 การแก้ปัญหาตัวแบบเชิงเส้นตรงด้วยโปรแกรม Lingo	42
แบบฝึกหัดท้ายบท	47
เอกสารอ้างอิง	53

<b>บทที่ 3</b>	<b>ตัวแบบจำนวนเต็ม (Integer Modeling)</b>	55
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>	113
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>	161
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	การประยุกต์โครงข่ายประสาทฟัซซีสำหรับองค์กรรมใหม่	216
5.7	การพยากรณ์ระบบการวัดประสิทธิภาพสำหรับอุตสาหกรรมค้าปลีก ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทฟัซซี (Predictive Performance Measurement System for Retail Industry using Neuro-Fuzzy System)	222
5.8	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทกับปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด (Application of Neural Network to Optimization Problems)	246
5.9	วิธีหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับฟังก์ชันที่ไม่มีเงื่อนไข (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	การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในระบบการทำงานและกระบวนการต่าง ๆ	299
6.11	การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม ในการแก้ปัญหาการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย	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 (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>วิธีการแบบอาณานิคม (Ant Colony Optimization : ACO)</b>	439
8.1	บทนำ	440
8.2	ขั้นตอนการทำงาน	441
8.3	ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP)	446
8.4	การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางโดยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบอาณานิคม (Stochastic Traveling Salesman Problem Solving Using Ant Colony Optimization)	451
8.5	การประยุกต์ใช้วิธีการแบบอาณานิคมในการบริการขนส่งรถบัสสำหรับพนักงานของโรงงานขนาดใหญ่	460
	แบบฝึกหัดท้ายบท	478
	เอกสารอ้างอิง	482
<b>บทที่ 9</b>	<b>วิธีการแบบอาณานิคมผึ้ง (Bee Colony)</b>	485
9.1	บทนำ	486
9.2	ขั้นตอนและการทำงานของวิธีอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony Algorithm)	487
9.3	การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony Algorithm) กับปัญหากระเป๋า (Knapsack Problem)	488
9.4	การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony Algorithm) กับปัญหาการจัดสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์	492
9.5	การดัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโตในการแก้ปัญหากระเป๋าแบบสามมิติหลายวัตถุประสงค์ (A Modified Artificial Bee Colony Algorithm with Pareto Based for Solving Multi-objectives Three Dimensional Knapsack Problem)	501
	แบบฝึกหัดท้ายบท	521
	เอกสารอ้างอิง	525



<b>บทที่ 10</b>	<b>วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมัยเซชัน (Particle Swarm Optimization)</b>	527
10.1	บทนำ	528
10.2	วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมัยเซชัน (PSO)	528
10.3	การหาค่าคำตอบด้วยวิธีพาทิกอลสวอมมออปติมัยเซชัน (PSO)	530
10.4	การประยุกต์ใช้วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมัยเซชัน (PSO) ในการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบสโตแคสติกภายใต้ข้อจำกัดกรอบเวลาเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	533
10.5	การประยุกต์ใช้วิธีพาทิกอลสวอมมออปติมัยเซชัน (PSO) ในการจัดเส้นทางเฮลิคอปเตอร์สำหรับตรวจสอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง	558
	แบบฝึกหัดท้ายบท	571
	เอกสารอ้างอิง	578
ดัชนี		585

# สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1	แสดงรูปแบบการขนส่งสินค้า (Classical Transportation Problem)	36
รูปที่ 2.2	แสดงรูปแบบการขนส่งที่มีการถ่ายสินค้า (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 ในกรณีต่อเนื่อง	106
รูปที่ 3.24	แสดงการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการกราฟของปัญหา 3.14 เมื่อมีการเพิ่มระนาบตัด	106

รูปที่ 4.1	กราฟและค่าที่ดีที่สุดของตัวแบบไม่เชิงเส้น	114
รูปที่ 4.2	แสดงตัวอย่างของฟังก์ชันนูน ฟังก์ชันเว้า และฟังก์ชันที่ไม่ใช่ฟังก์ชันนูนและเว้า	116
รูปที่ 4.3	แสดงการหาค่าตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการค้นหาแบบมีรูปแบบ	121
รูปที่ 4.4	แสดงการค้นหาแบบวิวิธุกและจีป	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 การตรวจสอบความถูกต้อง และการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบเต็มกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง	186
รูปที่ 5.22	ความสัมพันธ์ของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบเต็มเทียบกับค่าเป้าหมาย	187
รูปที่ 5.23	แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบย่อ	191
รูปที่ 5.24	ความสัมพันธ์ระหว่างรอบของการสอน การตรวจสอบความถูกต้อง และการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบย่อกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง	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 Defuzzyfication	201
รูปที่ 5.33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและ การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบความคลุมเครือกับค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง	203
รูปที่ 5.34	ความสัมพันธ์ของการสอน การตรวจสอบความถูกต้องและการทดสอบ ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบความคลุมเครือเทียบกับค่าเป้าหมาย	204
รูปที่ 5.35	แสดงการปรับของ PSO ของตำแหน่งและความเร็วของอนุภาค	215
รูปที่ 5.36	แผนการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทฟัซซี (Neuro-Fuzzy Symbolic Network)	217
รูปที่ 5.37	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทฟัซซี	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	แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณฟัซซีรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	307

รูปที่ 6.5	ตัวอย่างการเข้ารหัสของโครโมโซม	308
รูปที่ 6.6	แสดงตัวอย่างรูปแบบการโครสโอเวอร์แบบจุดเดียว	308
รูปที่ 6.7	แสดงตัวอย่างรูปแบบการโครสโอเวอร์แบบวงรอบ	309
รูปที่ 6.8	แสดงตัวอย่างรูปแบบการมิวเทชันที่ใช้ในงานวิจัย	310
รูปที่ 6.9	กราฟผลการทดสอบของต้นทุนรวมของการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย	311
รูปที่ 6.10	กราฟผลการทดสอบของต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรง	312
รูปที่ 6.11	กราฟผลการทดสอบของต้นทุนค่าขนส่ง	312
รูปที่ 6.12	กราฟผลการทดสอบของต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูงเสียดในขดลวด	313
รูปที่ 6.13	แสดงเส้นทางการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย	315
รูปที่ 6.14	แบบจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมอาร์พา	322
รูปที่ 6.15	รูปแบบการสร้างรหัสโครโมโซม	326
รูปที่ 6.16	แสดงให้เห็นว่าข้อมูลถูกกระจายอย่างต่อเนื่องเป็นปกติปราศจากการโน้มเอียง และสามารถใช้นำมาพยากรณ์ผลภายหน้าได้	326
รูปที่ 6.17	แสดงโครงสร้างของผลตอบ	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	แผนภูมิแสดงประมาณการปัจจัยที่มีผลกระทบต่อรายได้รวมในสัปดาห์ที่ 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	โครงสร้างลำดับขั้นของการคัดเลือกเส้นทางการขนส่ง จากตอนเหนือของประเทศไทย ไปยังตอนใต้ของประเทศไทย	387
รูปที่ 7.29	ขั้นตอนการหาค่า OFM <sub>1</sub>	388
รูปที่ 7.30	ขั้นตอนการหาค่า SFM <sub>1</sub>	388
รูปที่ 7.31	ขั้นตอนการหาค่า RSI <sub>1</sub>	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	แสดงธรรมชาติการเดินของมด	440
รูปที่ 8.2	แผนผังลักษณะของโปรแกรมตามอัลกอริทึมของวิธีการหาค่าตอบแบบอาณานิคมมด	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	ผลการหาจำนวนจุดจอดรถรับ-ส่ง ด้วยวิธี AI ทั้ง 6 วิธี	473
รูปที่ 8.9	แสดง 21 เส้นทาง กรณีศึกษาซึ่งครอบคลุม 400 จุดจอดรถรับ-ส่ง	477
รูปที่ 9.1	การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของการตัดแบบของชิ้นส่วน $p_i$ ขึ้น ในปัญหาแนบแซกสองมิติ	489
รูปที่ 9.2	แนบแซกและการวางสิ่งของในระบบสามมิติ	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 $Y_{ir}^\delta$	495
รูปที่ 9.11	แสดงตำแหน่งของจุด $X_i^\delta$	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 เพื่อแก้ปัญหา แนบแซกสามมิติหลายวัตถุประสงค์	506
รูปที่ 9.18	แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสม ด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(Colony Size) ที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาที่ 4	508
รูปที่ 9.19	แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสม ด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(Colony Size) ที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาที่ 5	509
รูปที่ 9.20	แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสม ด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(Colony Size) ที่แตกต่างกัน ในกรณีศึกษาที่ 6	510
รูปที่ 9.21	แสดงกำไร (Profit) และพื้นที่ว่าง (Broken Space) ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสม ด้วยจำนวนฝูงผึ้ง(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	แสดงแนวคิดเชิงยุทธศาสตร์สำหรับการจัดทำแผนหลักการพัฒนาาระบบขนส่ง และจราจรปี 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 ในการแก้ปัญหา การจัดเส้นทางแบบสโตแคสติกเพื่อลดมลภาวะและการใช้พลังงานเชื้อเพลิง โดยพิจารณาเงื่อนไขของกรอบเวลาร่วมด้วย	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 ได้จากวิธีการพาดิคอลสวอมออปติมิซเซชัน แบบมีเงื่อนไขของความไม่แน่นอนของความเร็วและเวลาในการเดินทางโดยคำนึง กรอบเวลาร่วมด้วย เพื่อหาการปลดปล่อยมลภาวะและการใช้เชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด โดยอ้างอิงตามการปล่อยมลภาวะที่น้อยที่สุด	558
รูปที่ 10.16	แสดงตัวอย่างการสร้างชุดข้อมูลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	563
รูปที่ 10.17	แสดงผลรวมการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ที่เหมาะสม ด้วยโปรแกรม Minitab	564
รูปที่ 10.18	แสดงผลการทดสอบเพื่อหาค่า $C_p$ , $C_g$ ของ Particle = 10000 and Iteration = 10	564

# สารบัญตาราง

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 ชั่วโมงแรงงาน 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 ชั่วโมงแรงงาน และกำไรต่อหน่วยของรถแต่ละขนาด	71
ตารางที่ 3.7	แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 1	86
ตารางที่ 3.8	แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 1	86
ตารางที่ 3.9	แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 2	87
ตารางที่ 3.10	แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 2	87
ตารางที่ 3.11	แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 3	88
ตารางที่ 3.12	แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 3	88
ตารางที่ 3.13	แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 4	89
ตารางที่ 3.14	แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 4	89
ตารางที่ 3.15	แสดงตาราง Simplex เริ่มต้นสำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 5	90
ตารางที่ 3.16	แสดงตาราง Simplex ที่ Optimal Solution สำหรับการแก้ปัญหาที่ย่อยที่ 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	แสดงระยะทางสำหรับปัญหาที่ย่อยที่ 2	97
ตารางที่ 3.21	แสดงระยะทางสำหรับปัญหาที่ย่อยที่ 4	98
ตารางที่ 3.22	แสดงระยะทางสำหรับปัญหาที่ย่อยที่ 5	99
ตารางที่ 3.23	แสดงระยะทางสำหรับปัญหาที่ย่อยที่ 3	100
ตารางที่ 3.24	แสดงระยะทางสำหรับปัญหาที่ย่อยที่ 6	101
ตารางที่ 3.25	แสดงระยะทางสำหรับปัญหาที่ย่อยที่ 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	การค้นหาแบบวิธีพิทาคอรัสสำหรับตัวอย่าง 4.10	130
ตารางที่ 4.5	การค้นหาแบบวิธีสุกและจีบเชิงเส้นสำหรับตัวอย่างที่ 4.10	130
ตารางที่ 4.6	การค้นหาแบบวิธีสุกและจีบแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับตัวอย่างที่ 4.10	131
ตารางที่ 4.7	การค้นหาแบบการค้นหาแบบวิธีโรเซนบล็อคเชิงเส้นสำหรับตัวอย่างที่ 4.10	132
ตารางที่ 4.8	การค้นหาแบบการค้นหาแบบวิธีโรเซนบล็อคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับตัวอย่างที่ 4.10	132
ตารางที่ 4.9	การค้นหาแบบการค้นหาแบบวิธี DFP สำหรับตัวอย่างที่ 4.13	137
ตารางที่ 5.1	ตารางสรุปการค้นคว้งานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม	175
ตารางที่ 5.2	แสดงข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ในเขตอำเภอจอมทอง ในเดือนธันวาคม	179
ตารางที่ 5.3	แสดงข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ในเขตอำเภอพร้าว 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	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทฟuzzy ในองค์กรสมัยใหม่	220
ตารางที่ 5.23	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทฟuzzyระหว่าง 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-หลังการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย	311
ตารางที่ 6.7	แสดงค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่	313
ตารางที่ 6.8	แสดงพิสัยของหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่	314
ตารางที่ 6.9	แสดงระยะทางของเส้นทางการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย	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/มิวเทชั่น 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	ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อปัจจัยหลักและประมาณการปัจจัยที่มีผลกระทบด้วยโปรแกรม Minitab ในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) ในสัปดาห์ที่ 3	382
ตารางที่ 7.9	ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อรายได้รวมจากการผลิตหลังจากลบผลลัพธ์จากการปฏิสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 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	แสดงค่าจำกัดความของตัวแปรต่าง ๆ	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 7.47	ผลลัพธ์ของความพร้อมทรัพยากรต่อผลตอบแทนโดยรวมสำหรับตัวแบบ FLPM สำหรับปัญหาที่ 3	425
ตารางที่ 7.48	ผลลัพธ์ของการเพิ่มขึ้นในทันทีหรือการลดลงของทรัพยากรทั้งหมดสำหรับตัวแบบ FLPM สำหรับปัญหาที่ 2	425
ตารางที่ 7.49	การเปรียบเทียบระหว่างความเสี่ยง 2 ประเภท	425
ตารางที่ 7.50	การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่ไม่ใช่พีชคณิตและแบบจำลองพีชคณิต	426
ตารางที่ 7.51	การเปรียบเทียบระหว่างตัวดำเนินการค่าน้อยที่สุดและตัวดำเนินการค่ามากที่สุด/น้อยที่สุด	426
ตารางที่ 7.52	แสดงความพร้อมด้านทรัพยากรที่มีผลต่อผลตอบแทนโดยรวม	428
ตารางที่ 8.1	สรุปผลที่ได้จากแก้ปัญหาในปัญหาจำนวน 5 10 15 20 และ 25 สถานีที่มีค่าที่ไม่แน่นอน หรือมีตัวแบบจำลองโอกาส-ข้อจำกัด โดยวิธี EXACT (โปรแกรมหาค่าที่ดีที่สุด)	456
ตารางที่ 8.2	ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แก้ปัญหาในแต่ละกรณี	458
ตารางที่ 8.3	สรุปผลที่ได้จากแก้ปัญหาในปัญหาจำนวน 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	ผลการคำนวณของปัญหาจำนวน 112 ปัญหา	469
ตารางที่ 8.7	คำตอบที่ดีที่สุดในการหาตำแหน่งจุดจอตริบ-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	แสดงรายละเอียดของผลเฉลยพาเรโตเหมาะสมที่สุดที่แท้จริง (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	การหาค่าที่เหมาะสมของการตัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโต 32 กรณีศึกษา	517
ตารางที่ 9.13	แสดงขนาดและจำนวนของคอนเทนเนอร์ และกล่องสินค้า	519
ตารางที่ 9.14	แสดงการเปรียบเทียบคำตอบของวิธีตรง (Exact Method) กับการตัดแปลงวิธีอาณานิคมผึ้งเทียมด้วยวิธีพื้นฐานพาเรโต (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	แสดงค่าคำตอบที่เหมาะสมที่ได้จากวิธีการพาดิโกลสวอมออปติมิซเซชันที่มีข้อจำกัดเรื่องความไม่แน่นอนของความเร็วและเวลาในการเดินทาง 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	แสดงค่าคำตอบที่เหมาะสมที่ได้จากวิธีการ 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	แสดงค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ ACO PSO และแผนการบินปัจจุบันเปรียบเทียบกับแผนการบินจริง	570



“ การออกแบบระบบการขนส่งพนักงานที่มีประสิทธิภาพ จะต้องเลือกจุดจอดรถบัสที่เหมาะสมภายในระยะทางที่พนักงานยอมรับได้พร้อมทั้งกำหนดเส้นทางเดินรถที่ดีที่สุด การกำหนดเส้นทางเดินรถที่ดีที่สุดสำหรับการรับ-ส่งพนักงานไปทำงาน ”

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

## การหาตำแหน่งที่เหมาะสม และการประยุกต์

OPTIMIZATION AND ITS APPLICATION



CHIANG MAI UNIVERSITY PRESS

ISBN: 978-616-398-495-1



9 786163 984951

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 แต่แนวความคิดของการวิจัยดำเนินงานนี้เริ่มมีหลักฐานปรากฏขึ้นในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่ 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) (นัทรปราชัญญ์, 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>- กองทัพอากาศอังกฤษจัดตั้งหน่วยวิจัยขั้นดำเนินงานทางทหาร (ปี ค.ศ. 1941)</li> <li>- รัฐบาลสหรัฐอเมริกาจัดตั้งหน่วยวิจัยขั้นดำเนินงาน 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>

ต่อมาจึงได้ขยายตัวเข้าไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ ทั้งด้านการขนส่ง เกษตรกรรม รวมไปถึงได้มีการจัดตั้งสมาคม และจัดสอนขึ้นในมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาชั้นสูง โดยทั่วไป ส่วนประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย ได้นำแนวความคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการพัฒนาด้านสาธารณสุขของประชาชน เช่น โครงการวางแผนครอบครัวแห่งชาติ ในช่วง 20 ปี พ.ศ. 2513 – 2523 ประเทศไทยสามารถลดอัตราการเพิ่มของประชากรจากร้อยละ 3.2 เหลือร้อยละ 1.1 นับเป็นผลสำเร็จอย่างสูง และได้ชื่อว่าเป็นแบบอย่างของความสำเร็จของโครงการอื่น ๆ 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 ยังประกอบไปด้วยตัวแบบต่าง ๆ 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) และอื่น ๆ โครงสร้างของตัวแปรต่าง ๆ จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ สมการเป้าหมาย (Objective Function) และ สมการข้อจำกัด (Constraints) ในแต่ละสมการเป้าหมายหรือสมการข้อจำกัดจะสร้างจากตัวแปร 2 ลักษณะ ตัวแปรที่เป็นพารามิเตอร์ (Parameters) และตัวแปรที่เป็นตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

โครงสร้างของ Linear Programming

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

โครงสร้างของ Integer Linear Programming

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

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

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

โครงสร้างของ Non-Linear Programming

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

โครงสร้างของ Integer Non-Linear Programming

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

โครงสร้างของ Binary Non-Linear Programming

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

โครงสร้างของ Mixed Non-Linear Programming

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

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