

การแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของสายการบินราคาประหยัดโดยใช้วิธีเมตาฮีริสติก



นางสาวกนกพร อารยิกานนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOLVING COCKPIT CREW SCHEDULING PROBLEM OF A LOW COST AIRLINE USING MET
AHEURISTIC



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

กนกพร อารยิกานนท์ : การแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของสายการบินราคา
ประหยัดโดยใช้วิธีเมตาฮีริสติก (SOLVING COCKPIT CREW SCHEDULING PROBLEM
OF A LOW COST AIRLINE USING METAHEURISTIC) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ.
ดร.ปารเมศ ชูติมา, 172 หน้า.

ในปัจจุบันจำนวนเที่ยวบินของสายการบินราคาประหยัดมีเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการ
ของลูกค้าที่นิยมเดินทางด้วยเครื่องบิน ต้นทุนฝ่ายปฏิบัติการด้านพนักงานมีค่าใช้จ่ายสูงเป็นอันดับ
สองรองจากน้ำมันแต่ด้วยทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดจึงจำเป็นต้องจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่าง
เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงเป็นการแก้ปัญหาการจัดสรรนักบินที่สามารถปฏิบัติการบินในแต่ละรูปแบบ
เที่ยวบินในตารางรายเดือนได้ ปัญหานี้มีความซับซ้อนทั้งกฎและข้อบังคับที่ต้องพิจารณาเป็นข้อจำกัด
หลักและรอง ทั้งนี้ จะต้องเป็นไปตามตามประกาศกรมการบินพลเรือนตามประกาศอย่างเคร่งครัด
เนื่องจากเป็นสายการบินราคาประหยัดจึงมุ่งเน้นที่จะลดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้งานวิจัยจึงมีเป้าหมายที่
จะช่วยปรับภาระงาน จัดสรรตารางงานนักบินของระดับงานอาวุโส และปรับการกระจายรูปแบบ
เที่ยวบินให้นักบินแต่ละคนเท่าเทียมกันอีกด้วย

ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และข้อจำกัดหลายด้านจึงเสนอวิธี
เมตาฮีริสติกเพื่อการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของสายการบินราคาประหยัด อัลกอริทึมแบบผสม
ระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับอัลกอริทึมการ
ผสมพันธุกรรม (MOEA/D-HBMO) จึงถูกประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหามากวัตถุประสงค์และการจัดตาราง
ปฏิบัติงานนักบินที่ซับซ้อนนี้ ผลที่ได้จากงานวิจัยพบว่าอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีประสิทธิภาพดี
ที่สุดทั้งปัญหามิติเล็ก กลาง และใหญ่

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5870318221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: COCKPIT CREW / MANY OBJECTIVE OPTIMIZATION PROBLEM / SCHEDULING

KANOKBHORN ARAYIKANON: SOLVING COCKPIT CREW SCHEDULING PROBLEM OF A LOW COST AIRLINE USING METAHEURISTIC. ADVISOR: PROF.PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 172 pp.

Increasing of the customer demand causes an increase in the number of flights for the case study low cost airline. Crew cost is the second largest cost after the fuel cost on the total operating cost of the airline. The airline has limited resources and therefore it is necessary to allocate the available resources as effective as possible. This research attempted solving the assignment of proper individual cockpit crew members to each flight pattern based on monthly basic. This problem is many complex rules and regulations, both being considered as hard and soft constraints, need to be considered and fulfill. In other words, the regulations of department of civil aviation announcement and agreement of airline are strictly requirements. According to low cost airline industry, the airline focuses on minimizing total cost. In addition, this research also aims to rosters satisfying operation are balance workload, minimize the priority of seniority assignment (bidline), and balance distribution of flight pattern assignment.

According to the complexity and large-sized for cockpit crew scheduling problems, the proposed method to solve this problem is metaheuristic. A hybrid multi-objective evolutionary and honey bee mating optimization (MOEA/D-HBMO) is applied the new optimization algorithm to solve many objectives and complex cockpit crew scheduling problem. For the experiments results, the MOEA/D-HBMO showed best performance for small, medium and large problem.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเพราะได้รับความอนุเคราะห์ทุนเพื่อสนับสนุนงานวิจัยในโครงการวิจัยมุ่งเป้าด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ประจำปีงบประมาณ 2560 และได้รับความช่วยเหลือจากหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่ช่วยให้งานวิจัยนี้ดำเนินงานได้สำเร็จตามเป้าหมาย และสายการbinกรณีศึกษาที่ช่วยให้ข้อมูลและคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณนางสาว รมิตา วิสุทธิ์มิตรนาครและนางสาว วรัญญา มหานันท์ สำหรับความช่วยเหลือในด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนความรู้และให้ความเมตตา ตลอดจนบิดามารดา ครอบครัว และเพื่อน ๆ ของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี



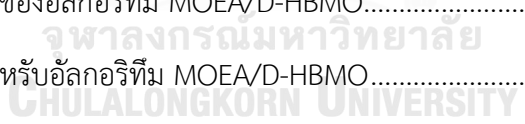
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	9
1.3 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	9
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	9
1.5 ลักษณะของปัญหา.....	11
1.5.1 คำนิยามที่เกี่ยวข้อง.....	11
1.5.2 ข้อจำกัดของปัญหา.....	12
1.5.2.1 กฎของตารางงานตามแนวนอน (Horizontal Rules).....	12
1.5.2.2 กฎของตารางงานตามแนวตั้ง (Vertical Rules).....	14
1.5.2.3 ข้อจำกัดเกี่ยวกับประสบการณ์จากพนักงานวางแผน (Artificial Rules).....	16
1.5.3 ลักษณะปัญหาปัจจุบัน.....	17
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	34
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
2.1 หลักการพื้นฐานของการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	35
2.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables).....	35

2.1.2	ข้อจำกัด (Constraints).....	36
2.1.3	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Functions)	36
2.1.4	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด.....	37
2.2	การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization)	38
2.2.1	การกำหนดค่าความแข็งแรงแบบวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด	38
2.2.2	การสร้างความหลากหลายของประชากรคำตอบด้วยวิธีการวัดระยะความหนาแน่น ..	39
2.3	การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึมของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด.....	41
2.3.1	ด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงของกลุ่มคำตอบเหมาะสมที่สุดที่ได้ (Convergence of the Obtained Non-dominated Solution Set)	41
2.3.2	ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)	42
2.3.3	ด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับ (Ratio of Non-dominated Solutions)	43
2.4	การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	44
2.5	เครื่องมือสำหรับงานวิจัย.....	49
2.5.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมตาฮีริสติก (Metaheuristic).....	49
2.5.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Multiobjective Evolution Algorithm Based on Decomposition (MOEA/D)	52
2.5.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Honey Bee Mating Optimization (HBMO)	53
2.6	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา.....	56
2.7	โปรแกรม OPL CPLEX.....	59
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานเบื้องต้นของโปรแกรม OPL สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตาราง ปฏิบัติงานนักบิน		62
3.1	การแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยโปรแกรมโอพีแอล	62
3.1.1	วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	62

3.1.2	วิธีการเขียนรหัสโปรแกรมไอพีแอลของปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	69
3.1.3	ผลจากการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยโปรแกรมไอพีแอล	73
บทที่ 4	วิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน.....	75
4.1	ทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึม MOEA/D	75
4.2	พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D	76
4.3	ขั้นตอนการทำงานของ MOEA/D สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	76
บทที่ 5	วิธีการผสมพันธุ์ฝิ่งสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน.....	85
5.1	ทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึม HBMO	85
5.2	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอัลกอริทึม HBMO	85
5.3	ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม HBMO สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	86
บทที่ 6	วิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับวิธีการผสมพันธุ์ฝิ่งสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน.....	91
6.1	ทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO.....	91
6.2	พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO.....	92
6.3	ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	92
บทที่ 7	การทำงานโปรแกรมไพธอนเบื้องต้นสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินและอัลกอริทึม.....	101
7.1	โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสำหรับการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ .	101
7.2	โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยอัลกอริทึม MOEA/D.....	102
7.3	โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยอัลกอริทึม HBMO	105
7.4	โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO ...	108



7.5 การนำผลจากโปรแกรมไปใช้ในการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	112
บทที่ 8 การเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆสำหรับการแก้ปัญหา การจัดตาราง ปฏิบัติงานนักบิน	114
8.1 ปัญหาที่ในการทดลองสำหรับงานวิจัย.....	114
8.2 วิธีการทดลองของงานวิจัย	114
8.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในอัลกอริทึม.....	115
8.3.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองสำหรับอัลกอริทึมต่างๆ	115
8.3.1.1 พารามิเตอร์สำหรับทุกอัลกอริทึม	115
8.3.1.2 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D.....	116
8.3.1.3 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม HBMO	117
8.3.1.4 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO	118
8.3.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments).....	118
8.3.2.1 ขั้นตอนการทดสอบค่าพารามิเตอร์.....	119
8.3.2.2 รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบ	119
8.3.2.3 โจทย์ปัญหาที่นำมาทดสอบพารามิเตอร์	120
8.3.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	120
8.3.2.5 ตัวอย่างการทดสอบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ผล	122
8.3.3 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลอง.....	128
8.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาตัวอย่างและสมรรถนะของอัลกอริทึม	129
8.4.1 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดเล็ก (S1).....	129
8.4.2 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดเล็ก (S2).....	130
8.4.3 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดเล็ก (S3).....	131
8.4.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดกลาง (M1).....	133

8.4.5 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดกลาง (M2).....	134
8.4.6 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดกลาง (M3).....	135
8.4.7 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ (L)	136
8.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	138
บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	142
9.1 บทสรุปงานวิจัย	142
9.1.1 ลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง	142
9.1.2 ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีจำนวนวัตถุประสงค์มาก.....	143
9.1.3 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัย	143
9.1.4 ผลการนำอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มาใช้ในการแก้ปัญหา.....	144
9.2 ข้อเสนอแนะ	144
รายการอ้างอิง	145
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	150
ภาคผนวก ข รหัสเทียมของอัลกอริทึม.....	153
ภาคผนวก ค ข้อมูลโจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง	156
ภาคผนวก ง การนำผลคำตอบการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินไปใช้งาน	168
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	172

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	เงื่อนไขเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินและเวลาพักผ่อน	13
ตารางที่ 1.2	จำนวนชั่วโมงบินสูงสุดที่สามารถปฏิบัติได้ต่อวัน	14
ตารางที่ 1.3	ความเป็นไปได้ของคู่นักบินแต่ละตำแหน่งงาน	16
ตารางที่ 1.4	Hard Constraints และ Soft Constraints	17
ตารางที่ 3.1	อัตราค่าจ้างตามตำแหน่งงานนักบิน (Position Rate)	63
ตารางที่ 3.2	รูปแบบเที่ยวบินของปัญหาขนาดเล็ก	70
ตารางที่ 3.3	รายละเอียดชั่วโมงสะสม เวลาปฏิบัติหน้าที่นักบินของปัญหาขนาดเล็ก	70
ตารางที่ 3.4	ชั่วโมงบินสะสมรายสัปดาห์ ของ 6 วันที่ผ่านมา (นาทีก)	71
ตารางที่ 3.5	ชั่วโมงบินสะสมรายเดือน ของ 27 วันที่ผ่านมา (นาทีก)	71
ตารางที่ 3.6	เวลาสิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่ (นาทีก)	71
ตารางที่ 3.7	เวลาพักผ่อน (นาทีก).....	72
ตารางที่ 3.8	ค่าจ้างนักบินแต่ละตำแหน่ง	72
ตารางที่ 4.1	ค่าถ่วงน้ำหนัก λ_{im} ในแต่ละจุดค่าถ่วงน้ำหนัก λ_i	78
ตารางที่ 4.2	ตัวอย่างจุดเพื่อนบ้านมีจำนวน 9 จุด.....	79
ตารางที่ 4.3	การกำหนดช่วงการตัดของการแลกเปลี่ยนพันธุกรรม.....	81
ตารางที่ 4.4	ค่าวัตถุประสงค์ (f) และค่ามาตรฐาน (f') ของตัวอย่างที่ 4.1	83
ตารางที่ 6.1	ค่าถ่วงน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละจุด	94
ตารางที่ 6.2	การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของช่วงการเลือกสตริงฝั่งตัวผู้	95
ตารางที่ 6.3	ค่าช่วงความน่าจะเป็นตัวอย่างของสตริงราชินี	95
ตารางที่ 6.4	ค่าช่วงความน่าจะเป็นตัวอย่างของสตริงฝั่งตัวผู้	96
ตารางที่ 6.5	สตริงตัวอ่อนที่ได้จากวิธี Conventional	96
ตารางที่ 6.6	ตัวอย่างพื้นที่จัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุดของกระบวนการค้นหาคำตอบ (Elitist)	98

ตารางที่ 8.1 จำนวนนักบินและรูปแบบเที่ยวบินในแต่ละโจทย์ปัญหา.....	115
ตารางที่ 8.2 จำนวนเจเนอเรชันในแต่ละโจทย์ปัญหา	116
ตารางที่ 8.3 จำนวนปัจจัยและระดับปัจจัยของอัลกอริทึม MOEA/D	119
ตารางที่ 8.4 จำนวนปัจจัยและระดับปัจจัยของอัลกอริทึม HBMO	120
ตารางที่ 8.5 จำนวนปัจจัยและระดับปัจจัยของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO.....	120
ตารางที่ 8.6 โจทย์ปัญหาที่ใช้ทดสอบพารามิเตอร์.....	121
ตารางที่ 8.7 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะค่าพารามิเตอร์ที่ระดับต่างๆของ MOEA/D.....	122
ตารางที่ 8.8 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะค่าพารามิเตอร์ที่ระดับต่างๆของ HBMO.....	124
ตารางที่ 8.9ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะค่าพารามิเตอร์ที่ระดับต่างๆของ MOEA/D-HBMO.....	126
ตารางที่ 8.10 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาแต่ละโจทย์ปัญหาของทุก อัลกอริทึม	128
ตารางที่ 8.11 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหาขนาดเล็ก (S1).....	129
ตารางที่ 8.12 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดเล็ก (S1).....	130
ตารางที่ 8.13 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดเล็ก (S1).....	130
ตารางที่ 8.14 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆที่ทำได้ในปัญหาขนาดเล็ก (S2)	130
ตารางที่ 8.15 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดเล็ก (S2).....	131
ตารางที่ 8.16 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดเล็ก (S2).....	131
ตารางที่ 8.17 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหาขนาดเล็ก (S3).....	132
ตารางที่ 8.1819 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดเล็ก (S3).....	132
ตารางที่ 8.20 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดเล็ก (S3).....	132
ตารางที่ 8.21 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆที่ทำได้ในปัญหาขนาดกลาง (M1).....	133
ตารางที่ 8.22 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดกลาง (M1).....	133
ตารางที่ 8.23 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดกลาง (M1)	134
ตารางที่ 8.24 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหาขนาดกลาง (M2)	134

ตารางที่ 8.25	กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดกลาง (M2).....	134
ตารางที่ 8.26	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดกลาง (M2)	135
ตารางที่ 8.27	คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่หาได้ในปัญหาขนาดกลาง (M3)	135
ตารางที่ 8.28	กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดกลาง (M3).....	136
ตารางที่ 8.29	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดกลาง (M3)	136
ตารางที่ 8.30	คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆที่หาได้ในปัญหาขนาดใหญ่ (L).....	137
ตารางที่ 8.31	กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดใหญ่ (L)	137
ตารางที่ 8.32	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดใหญ่ (L).....	137
ตารางที่ 8.33	สรุปผลค่าวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง	139
ตารางที่ 8.34	สรุปผลค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง	140
ตารางที่ 8.35	สรุปผลภาพรวมของตัวชี้วัดสมรรถนะของทุกอัลกอริทึม	140

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 แผนการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินรูปแบบเดิม	3
รูปที่ 1.2 แผนการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินรูปแบบใหม่ที่จัดสรรคู่นักบินที่แตกต่างกัน	3
รูปที่ 1.3 ตารางคำนวณก่อนจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน	4
รูปที่ 1.4 การกำหนดพารามิเตอร์ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน	4
รูปที่ 1.5 รายงานสถานะผลโปรแกรม Solver Excel ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน	5
รูปที่ 1.6 ตารางการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน	5
รูปที่ 1.7 ตารางคำนวณก่อนจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วยนักบิน	6
รูปที่ 1.8 การกำหนดพารามิเตอร์ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วยนักบิน	6
รูปที่ 1.9 การรายงานสถานะผลโปรแกรม Solver Excel ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วย นักบิน	6
รูปที่ 1.10 ตารางการจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วยนักบิน	7
รูปที่ 1.11 การกำหนดพารามิเตอร์ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตันปัญหาใหม่	7
รูปที่ 1.12 การรายงานสถานะผลโปรแกรม Solver Excel ของการจัดสรรนักบิน ตำแหน่งกัปตัน ปัญหาใหม่	8
รูปที่ 1.13 คำตอบที่เหมาะสมเชิงพาเรโต	8
รูปที่ 1.14 แผนผังการไหลของวิธีการดำเนินงานจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	18
รูปที่ 1.15 ส่วนประกอบของตารางปฏิบัติงานนักบินหน้าหลัก	19
รูปที่ 1.16 รายละเอียดนักบิน	19
รูปที่ 1.17 ประวัติจำนวนชั่วโมงบิน	19
รูปที่ 1.18 ตารางกิจกรรมอื่น ๆ	20
รูปที่ 1.19 หมายเลขเที่ยวบิน	20
รูปที่ 1.20 ตารางปฏิบัติงานนักบิน	21
รูปที่ 1.21 แผนผังการไหลขั้นตอนการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน	22

รูปที่ 1.22 ตัวอย่างรายชื่อนักบิน.....	23
รูปที่ 1.23 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน	23
รูปที่ 1.24 แผนผังเวลาของรูปแบบเที่ยวบิน O1	24
รูปที่ 1.25 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 1	25
รูปที่ 1.26 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 2	25
รูปที่ 1.27 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 3	25
รูปที่ 1.28 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 4	25
รูปที่ 1.29 รูปแบบเที่ยวบินที่เริ่มงานในช่วงเวลาที่เป็นไปได้.....	26
รูปที่ 1.30 รูปแบบเที่ยวบินที่เริ่มงานในช่วงเวลาที่เป็นไปไม่ได้	27
รูปที่ 1.31 เวลาพักผ่อนที่ต้องการของแต่ละรูปแบบเที่ยวบิน	27
รูปที่ 1.32 รูปแบบเที่ยวบินที่มีเวลาพักผ่อนเพียงพอ	28
รูปที่ 1.33 รูปแบบเที่ยวบินที่มีเวลาพักผ่อนไม่เพียงพอ	28
รูปที่ 1.34 ตารางคู่เที่ยวบิน.....	29
รูปที่ 1.35 นักบินที่มีกิจกรรมอื่น ๆ	30
รูปที่ 1.36 ตรวจสอบจำนวนชั่วโมงบินสะสม.....	31
รูปที่ 1.37 จัดตารางปฏิบัติงานนักบินตำแหน่งกัปตัน	32
รูปที่ 1.38 จัดตารางปฏิบัติงานนักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วย	33
รูปที่ 1.39 การตรวจสอบการจัดวางจำนวนนักบินที่ครบจำนวน.....	33
รูปที่ 1.40 การตรวจสอบการจัดวางจำนวนนักบินที่ไม่ครบตามจำนวน	33
รูปที่ 2.1 วิธีการจัดอันดับของโกลด์เบิร์ก (Goldberg ,1989).....	39
รูปที่ 2.2 ระยะของการวัดระยะความหนาแน่น (Dep et al. , 2002)	39
รูปที่ 2.3 ขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Dep et al. , 2002)	42
รูปที่ 2.4 ระยะห่างระหว่างคำตอบปลายสุด (Dep et al. , 2002).....	43
รูปที่ 2.5 การเลือกเมนูการสร้างโครงงานใหม่	59

รูปที่ 2.6 การเลือกรายละเอียดการสร้างโครงการใหม่.....	60
รูปที่ 2.7 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์หรือโมเดล (.mod)	60
รูปที่ 2.8 หน้าต่างข้อมูล (.dat)	61
รูปที่ 2.9 รูปแบบการเขียนสมการผลรวมในโปรแกรมโอพีแอล.....	61
รูปที่ 3.1 การกำหนดตัวแปร พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจในโปรแกรม OPL ของปัญหา ขนาดเล็ก	72
รูปที่ 3.2 การกำหนดสมการวัตถุประสงค์ในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก	73
รูปที่ 3.3 การกำหนดสมการข้อจำกัดในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก	73
รูปที่ 3.4 ข้อมูลในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก	73
รูปที่ 3.5 ผลการรันคำตอบในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก.....	74
รูปที่ 4.1 แผนผังการไหลของวิธี MOEA/D.....	77
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งเวกเตอร์ของสตริงคำตอบชุดที่ 1 และชุดที่ 2	78
รูปที่ 4.3 สตริงคำตอบชุดที่ 1 และชุดที่ 2.....	80
รูปที่ 4.4 สตริงลูกตัวที่ 1 จากการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียว.....	81
รูปที่ 4.5 สตริงลูกตัวที่ 2 จากการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียว.....	82
รูปที่ 5.1 แผนผังการไหลของอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผู้	87
รูปที่ 5.2 การแบ่งช่วงของการเลือกสตริงคำตอบผู้	89
รูปที่ 5.3 การมิวเตชันบิตของสตริงคำตอบตัวอ่อนชุดที่ 1.....	90
รูปที่ 5.4 การมิวเตชันบิตของสตริงคำตอบตัวอ่อนชุดที่ 2.....	90
รูปที่ 5.5 การสลับสองตำแหน่งของสตริงคำตอบตัวอ่อน	90
รูปที่ 6.1 แผนผังการไหลของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO	93
รูปที่ 6.2 สตริงตัวอ่อนที่ได้จากวิธี Unconventional.....	97
รูปที่ 6.3 การมิวเตชันบิตของสตริงคำตอบ	98
รูปที่ 7.1 คำตอบคู่หนักบินที่ถูกจัดสรรด้วยสตริงของประชากรตัวอย่าง	101

รูปที่ 7.2 ชุดค่าถ่วงน้ำหนัก (แลมดา).....	102
รูปที่ 7.3 เลขสตริงเพื่อนบ้าน	102
รูปที่ 7.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม MOEAD	103
รูปที่ 7.5 การปรับปรุงสตริงด้วยการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม แบบจุดเดียว (Single Point Crossover).....	103
รูปที่ 7.6 ค่าเซบิเชฟของสตริงตั้งต้นและสตริงลูก	103
รูปที่ 7.7 สตริงลูกที่ 1 เป็นคำตอบที่ดีกว่าสตริงตั้งต้น	104
รูปที่ 7.8 การเทียบค่าเซบิเชฟระหว่างสตริงตั้งต้นและสตริงลูก	104
รูปที่ 7.9 การแทนที่สตริงตั้งต้นด้วยสตริงลูก.....	104
รูปที่ 7.10 การเทียบค่าเซบิเชฟระหว่างสตริงเพื่อนบ้านและสตริงลูก	104
รูปที่ 7.11 ประชากรของรังผึ้งและค่าพารามิเตอร์	105
รูปที่ 7.12 สตริงราชินี.....	105
รูปที่ 7.13 หมายเลขสตริงผึ้งตัวผู้และค่าความแข็งแรง.....	105
รูปที่ 7.14 ค่าความน่าจะเป็นของการเลือกสตริงผึ้งตัวผู้.....	106
รูปที่ 7.15 ค่าพลังงานและความเร็วที่ลดลง.....	106
รูปที่ 7.16 สตริงผึ้งตัวผู้ที่ถูกเก็บในถูงเก็บเชื้อ.....	106
รูปที่ 7.17 สตริงตัวอ่อนใหม่.....	107
รูปที่ 7.18 ค่าวัตถุประสงค์ของสตริงตัวอ่อนใหม่	107
รูปที่ 7.19 ค่าความแข็งแรงของการเทียบระหว่างสตริงราชินีกับสตริงตัวอ่อนใหม่ที่ด้อยกว่า.....	107
รูปที่ 7.20 สตริงราชินีที่ไม่ถูกแทนที่คำตอบ	107
รูปที่ 7.21 สตริงตัวอ่อนชุดใหม่ที่ดีกว่าสตริงราชินี.....	108
รูปที่ 7.22 ค่าความแข็งแรงของการเทียบระหว่างสตริงราชินีกับสตริงตัวอ่อนใหม่ที่ดีกว่า	108
รูปที่ 7.23 สตริงราชินีที่ถูกแทนที่คำตอบ	108
รูปที่ 7.24 การสร้างสตริงตัวอ่อนในกลุ่มเพื่อนบ้าน	109

รูปที่ 7.25 การคำนวณค่าเซบิเซฟเพื่อหาคำตอบสตริงดีที่ 1	110
รูปที่ 7.26 การคำนวณค่าเซบิเซฟเพื่อหาคำตอบสตริงดีที่ 2	110
รูปที่ 7.27 การคำนวณค่าเซบิเซฟเพื่อหาคำตอบสตริงดีที่ 3	111
รูปที่ 7.28 การเปรียบเทียบคำตอบที่ดีกับสตริงคำตอบในกลุ่มเพื่อนบ้าน	112
รูปที่ 7.29 สตริงคำตอบประชากรสุดท้าย.....	112
รูปที่ 7.30 ผลการจัดสรรรูปแบบเที่ยวบินของนักบินแต่ละคน.....	113
รูปที่ 8.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองด้าน Convergence ในปัญหาขนาดเล็ก (S2).....	123
รูปที่ 8.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง ด้าน Spread ในปัญหาขนาดเล็ก (S2).....	123
รูปที่ 8.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยร่วมทั้งสอง ด้วยวิธี Response Optimizer ใน ปัญหาขนาดเล็ก (S2).....	124
รูปที่ 8.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของตัวชี้วัดด้าน Convergence ในปัญหาขนาดกลาง (M1).....	125
รูปที่ 8.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของอัลกอริทึม MOEA/D- HBMO กับตัวแปรตอบสนองด้าน Convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L)	126
รูปที่ 8.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO กับตัวแปรตอบสนองด้าน convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L).....	127
รูปที่ 8.7 กราฟอิทธิพลหลัก (Main Effects Plot) ของปัจจัย Neighborhood ของตัวชี้วัดด้าน Convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L).....	127
รูปที่ 8.8 กราฟความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Plot) Neighborhood กับ %Replace ของตัวชี้วัดด้าน Convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L).....	128



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาและความสำคัญของการจัดตารางปฏิบัติงาน นักบินในอุตสาหกรรมสายการบิน วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ขอบเขต การดำเนินการวิจัย ลักษณะปัญหาในปัจจุบัน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากอุตสาหกรรมสายการบินเป็นอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ และต้นทุนสูง การลด ต้นทุนจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสายการบินราคา ประหยัด (Low Cost Airline) สายการบินซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับใบรับรองผู้ดำเนินการเดินอากาศจะต้อง ปฏิบัติหน้าที่ตามกฎหมาย ระเบียบข้อบังคับ และวิธีปฏิบัติ ตามที่กรมการขนส่งทางอากาศได้ ประกาศไว้ การจัดตารางนักบินของสายการบินจึงต้องให้ความสำคัญและปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด เพราะนักบินมีหน้าที่เป็นผู้ขับเครื่องบินให้ผู้โดยสารที่อยู่ในเครื่องบินไปสู่จุดหมายปลายทางได้ อย่างปลอดภัย โดยนักบินจะต้องมีหน้าที่รับผิดชอบทั้งชีวิตและทรัพย์สินของทั้งผู้โดยสารและสายการ บิน ดังนั้นนักบินจึงต้องมีความพร้อมสำหรับการบินทุกครั้ง สายการบินจะต้องเก็บรักษาบันทึกประวัติ ของนักบิน และพร้อมให้กรมการขนส่งทางอากาศตรวจสอบเพื่อให้มั่นใจว่านักบินมีคุณสมบัติครบถ้วน การตรวจสอบจำนวนชั่วโมงบินและเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินเพื่อให้เป็นไปตามประกาศของกรมการ บินพลเรือนนั้นจะถูกตรวจสอบทุกช่วงเวลาของแต่ละคน ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทุกประการ

ปัจจุบันการจัดตารางปฏิบัติงานของนักบินของสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษานั้น ไม่ได้ถูกจัดตารางด้วยโปรแกรมใด ๆ ทั้งสิ้น ด้วยเหตุผลว่าผู้บริหารไม่ยากที่จะลงทุนเพิ่มเติมเพื่อ ประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของซอฟต์แวร์ และเนื่องจากจำนวนเครื่องบิน เที่ยวบิน และนักบิน ยังไม่มากเกินไปนัก จึงยังสามารถดำเนินการด้วยพนักงานวางแผนได้ สายการบินกรณีศึกษานี้ได้มีการ พัฒนาโปรแกรมอย่างง่ายบนโปรแกรม Excel เพื่อจัดการเกี่ยวกับการจัดการตารางบินขึ้นมา เพื่อ ไม่ให้เกิดปัญหาและละเมิดกฎข้อบังคับ แต่กลับพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเป็นเพียงโปรแกรม ช่วยในการจัดทำบันทึกตารางนักบิน ซึ่งเป็นฐานข้อมูลให้แก่ฝ่ายอื่นที่เกี่ยวข้องเท่านั้น นอกจากนี้ การจัดการตารางบินนั้นยังอาศัยประสบการณ์ของพนักงานวางแผนเป็นหลัก โดยยังไม่มีเครื่องมือช่วย ที่จะคอยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการตารางนักบินแต่ประการใด เมื่อสายการบินมีผล ประประกอบการที่ดีขึ้นทำให้ต้องเพิ่มจำนวนเครื่องบินเพื่อสนองต่อความต้องการของลูกค้า ส่งผลให้ มีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มมากขึ้น และเนื่องจากจำนวนของข้อมูลที่เพิ่มขึ้นนี้เอง ทำให้พนักงานวางแผน

สามารถวางแผนให้นักบินสามารถบินได้ครบตามคู่เที่ยวบินที่กำหนดให้เท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวบินที่เกิดจากการวางแผนงานของคู่นักบินแต่ประการใด ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สายการบินต้องจ่ายสูงขึ้น ในความเป็นจริงแล้วปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานของนักบินที่กล่าวมานี้ เป็นปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด(Non-deterministic Polynomial Hard: NP-Hard) ที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้การแก้ปัญหาขนาดใหญ่หากใช้สมการเชิงคณิตศาสตร์แบบดั้งเดิมจะต้องใช้เวลานานมาก และบางครั้งไม่สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปคำนวณได้ ซึ่งจะไม่เหมาะสมกับการทำงานในภาคปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้หาวิธีการแก้ปัญหาที่จะได้คำตอบที่รวดเร็วกว่าการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ ทั้งนี้ยังรองรับการทำงานที่เกิดขึ้นจริงของสายการบินและได้คำตอบที่น่าเชื่อถืออีกด้วย

สำหรับปัญหาการจัดการตารางปฏิบัติงานของนักบินนั้นหากเราสามารถจัดการงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยลดค่าใช้จ่าย ไม่มีข้อผิดพลาดจากกฎการบินพลเรือน และนักบินสามารถปฏิบัติงานได้เท่าเทียมกัน สายการบินก็จะสามารถให้บริการเส้นทางได้อย่างครบถ้วนตามที่แผนคู่เที่ยวบินเปิดออกจำหน่าย สาเหตุส่วนหนึ่งของการเปิดเส้นทางที่ไม่ได้ตามแผนเพราะมีจำนวนบุคคลากรที่ทำหน้าที่ขับเครื่องบินไม่เพียงพอ เนื่องจากชั่วโมงบินเกินกำหนด นักบินไม่พร้อม หรือการจัดตารางผิดพลาดที่ต้องแก้ไขหน้างาน ปัญหาเหล่านี้จะทำให้สายการบินขาดความน่าเชื่อถือและขาดความไว้วางใจจากลูกค้าได้ นอกจากนี้ การจัดการตารางปฏิบัติงานของนักบินที่จะทำการศึกษานี้สามารถนำไปต่อยอดปรับปรุงงานสำหรับการจัดการตารางงานได้หลายฝ่าย เช่น ฝ่ายบำรุงรักษา ฝ่ายพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน ฝ่ายพนักงานต้อนรับภาคพื้น และฝ่ายจัดการคู่เที่ยวบินได้อีกด้วยการดำเนินการปรับปรุงการจัดการตารางงานนักบินนี้ส่งผลให้การภาพลักษณ์องค์กรมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น หากไม่ได้ใช้ระบบที่ช่วยลดข้อผิดพลาดในการจัดการตารางงานจะเกิดข้อผิดพลาดได้ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงงานจัดการตารางบ่อย การใช้เวลานานในการดำเนินงานจะส่งผลให้เกิดความล่าช้าของข้อมูลและการประสานงานด้วย การที่เกิดความล่าช้าในการดำเนินงานนี้จะส่งผลให้ความพึงพอใจลูกค้าลดลง ทำให้ลูกค้าเลิกใช้บริการสายการบินลดลง หรือที่แย่กว่านั้นก็คือ ลูกค้าหันไปใช้บริการของสายการบินอื่น ดังแสดงรายละเอียดตารางปฏิบัติงานนักบินรูปแบบเดิมที่มีอยู่เป็นอย่างไร มีปัญหาอะไรจึงนำประเด็นนี้มาศึกษา

1-ก.ค.-16 On-duty				8-ก.ค.-16 Week 2							14-ก.ค.-16 Week 3							21-ก.ค.-16 Week 4							28-ก.ค.-16		29-ก.ค.-16							
ID	POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	Total Nautical Miles	ห.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.		
1	Captain 738	FCIP	80:40	24,218	O3		T22	T21	O3	O5		O2	O4	O1		SM31	O2	SM31	O8		O7	O4	SM31	O2		O4					O9			
2	Captain 738	FCIP	83:50	24,908	O2	O2	T22	T21	O4		O3	O2	O4	O1		O4	O10	O9		O7	O8	O5	O7	O3	O2					O3				
3	Captain 738	FCIP	84:05	25,007	O7	O5	T22	T21	O2	O3	O1	O10	O9	O3		O3	O1	T42	O1		O8	O8	O9		O5	O8	O1		O8	O1				
4	Captain 738	FCIP	76:55	23,027	O2		O5	T22	T21	O2	O3	O1	O3	O7		O4	O5	O7	O1		SM41		DCP RC 1	SM41	O2	O1	O3		O8	O1				
5	Captain 738	FCIP	58:25	16,884	O7		DCP RC	CP RC	DCP SF		DCP RC	O9		O7	O8	O2	O5	O2	O9	O3		O1	O3	O2	O1		O5	O7		O1				
6	Captain 738	FCIP	81:15	24,770	O4		SM31	O2	SM31		O7	O7	O8	O2		O5	O8	O3		O3	O8	O8	O10	O10		SM31	O2	SM21						
7	Captain 738	FCIP	78:35	23,108	O1	O1	T22	T21		T12	O2	O5		O2	O3	O1	O9	O3		O1	O3	O2	O1		O5	O7								
8	Captain 738	FCIP	81:35	24,868	O5	O3		O15	O16	O1	O7	O3	O8		O2	O5	O2	O9	O3		O1	O3	O2	O1		O5	O7							
9	Captain 738	FCS	88:00	20,284			O9	O2	O12	O8	O2	O8		P3	O35	O53	O2	O7		O14	O38	O39	O1		O53					O2				
10	Captain 738	FCS	83:40	#VALUE!			O7	O9	O2	O12	O8	O2	O8		P3	O35	O53	O2	O7		O14	O38	O39	O1		O53					O2			
11	Captain 738	FCIP	85:05	26,570	O7		O7	O5	O5	O9		O1				O9	O10	O1	O7		O2	O4		O3	O9	T42	T42	O4	O29		O26			
12	Captain 738	FCS	88:15	20,392			O12	O13		T12	O5	O4	O16		O9	P3	O35	SM4	O35		O10	O1	O2		O12	O3	O3	O12			O15			
13	Captain 738	FCS	85:00	26,556			SM3	O51		P5	O36	SM4	O36	P6		O6	O8	O6		O4	O17	O16	O26	O21	O4	O1		O6		O38	O39	O15		
14	Captain 738	FCS	76:35	#VALUE!			T22	T21	O38	O40	O25		O6	O10	O11	O17	O15		O12	O8	O11	O8		O5	O13	O42	O4	O34		O6		O38	O39	O15
15	Captain 738	FCS	82:00	19,005			P3	O35	SM4	O35				O6	O10	O11	O17	O15		O12	O8	O11	O8		O5	O11	O14	O18		O12	O3	O37	O41	O4
16	Captain 738	FCS	78:10	18,968			O8		T22	T21	O10	O4		P1	O47				O12	O5	O33		O9	P3	O35	O22		P1	O47		O37	O41	O4	
17	Captain 738	FCIP	77:40	23,718			O8	O8	O10		T12	O3	O7	O5		O7	O4	O7		O6	O53	O3	T42	O5	T42	T42	O8		O10	O2	O8	O4	O4	
18	Captain 738	FCS	82:50	#VALUE!			O11	T22	T21	O9	O6	O11	O11	O18		O17	O15	O16		O6	O53	O38	O39	O33	O20	O8	O42		O10	O2	O8	O4	O4	
19	Captain 738	FCS	86:10	#VALUE!			O7	O11	O30	SM3	O32	O11	O18		O30	SM3	O32	O33		O14	O11	O9	O6	O37	O38	O13	O5	O28	O8	O42	O37	O4	O4	
20	Captain 738	FCS	78:50	17,438			O13	O10	O11	O6		O10	O20	O20		O15	O14	O11		O10	O17			O5	O17	O25	P3	O35	SM4	O35	O37	O4	O4	
21	Captain 738	FCS	74:00	#VALUE!			O14		P1	O47			O9	O10	O16				O9	O10	O16			O11	O28	O26	O16	O15	O2	P3	O35	O4	O4	
22	Captain 738	FCS	73:20	#VALUE!			PDATE	PDATE	O6	O39	O22	O28	O18		O27	O18	O16	O15		O15	O17	O25	O5	O17	O25	O25	O25	O16	O15	P3	O35	O4	O4	
23	Captain 738	FCS	83:05	#VALUE!			O10	O30	SM3	O31	O8	O20		O30	SM3	O32	O33		O17	O22	O23		O10		O6	O24	O17	O16	O21	O21	O3	O35	O4	O4
24	Captain 738	FCS	81:25	24,619			O4	O10	O4	T12	O10	O13		O20	O18	O17	O26						O10	O27	O23	O23	O17		O10	O2	O8	O4	O4	
25	Captain 738	FCS	79:35	23,679			O30	SM3	O51		O8	O14		O41	O28	O19		O24				O16	O18	O53	SM32	SM33		O9	O37	O37	O41	O4	O4	
26	Captain 738	FCS	79:25	23,271			O52		O42		O6			O23	O30	SM3	O32		O16				O18	O15	O9		O37		O37	O41	O4	O4		
27	Captain 738	FCS	78:00	#VALUE!			O13	P1	O47		T12	O12		O23	O30	SM3	O32		P1	O47			O15	O19	O41	O19	O15		O12	O77	O77	O77	O77	

รูปที่ 1.1 แผนการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินรูปแบบเดิม

1-ก.ค.-16 On-duty				8-ก.ค.-16 Week 2							14-ก.ค.-16 Week 3							21-ก.ค.-16 Week 4							28-ก.ค.-16		29-ก.ค.-16							
ID	POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	Total Nautical Miles	ห.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.	อ.	ส.	อ.	จ.		
1	Captain 738	FCIP	80:40	24,218	O3		T22	T21	O3	O5		O2	O4	O1		SM31	O2	SM31	O8		O7	O4	SM31	O2		O4					O9			
2	Captain 738	FCIP	83:50	24,908	O2	O2	T22	T21	O4		O3	O2	O4	O1		O4	O10	O9		O7	O8	O5	O7	O3	O2					O3				
3	Captain 738	FCIP	84:05	25,007	O7	O5	T22	T21	O2	O3	O1	O10	O9	O3		O3	O1	T42	O1		O8	O8	O9		O5	O8	O1		O8	O1				
4	Captain 738	FCIP	76:55	23,027	O2		O5	T22	T21	O2	O3	O1	O3	O7		O4	O5	O7	O1		SM41		DCP RC 1	SM41	O2	O1	O3		O8	O1				
5	Captain 738	FCIP	58:25	16,884	O7		DCP RC	CP RC	DCP SF		DCP RC	O9		O7	O8	O2	O5	O2	O9	O3		O1	O3	O2	O1		O5	O7		O1				
6	Captain 738	FCIP	81:15	24,770	O4		SM31	O2	SM31		O7	O7	O8	O2		O5	O8	O3		O3	O8	O8	O10	O10		SM31	O2	SM21						
7	Captain 738	FCIP	78:35	23,108	O1	O1	T22	T21		T12	O2	O5		O2	O3	O1	O9	O3		O1	O3	O2	O1		O5	O7								
8	Captain 738	FCIP	81:35	24,868	O5	O3		O15	O16	O1	O7	O3	O8		O2	O5	O2	O9	O3		O1	O3	O2	O1		O5	O7							
9	Captain 738	FCS	88:00	20,284			O9	O2	O12	O8	O2	O8		P3	O35	O53	O2	O7		O14	O38	O39	O1		O53						O2			
10	Captain 738	FCS	83:40	#VALUE!			O7	O9	O2	O12	O8	O2	O8		P3	O35	O53	O2	O7		O14	O38	O39	O1		O53						O2		
11	Captain 738	FCIP	85:05	26,570	O7		O7	O5	O5	O9		O1				O9	O10	O1	O7		O2	O4		O3	O9	T42	T42	O4	O29		O26			
12	Captain 738	FCS	88:15	20,392			O12	O13		T12	O5	O4	O16		O9	P3	O35	SM4	O35		O10	O1	O2		O12	O3	O3	O12			O15			
13	Captain 738	FCS	85:00	26,556			SM3	O51		P5	O36	SM4	O36	P6		O6	O8	O6		O4	O17	O16	O26	O21	O4	O1		O6		O38	O39	O15		
14	Captain 738	FCS	76:35	#VALUE!			T22	T21	O38	O40	O25		O6	O10	O11	O17	O15		O12	O8	O11	O8		O5	O13	O42	O4	O34		O6		O38	O39	O15
15	Captain 738	FCS	82:00	19,005			P3	O35	SM4	O35				O6	O10	O11	O17	O15		O12	O8	O11	O8		O5	O11	O14	O18		O12	O3	O37	O41	O4
16	Captain 738	FCS	78:10	18,968			O8		T22	T21	O10	O4		P1	O47				O12	O5	O33		O9	P3	O35	O22		P1	O47		O37	O41	O4	
17	Captain 738	FCIP	77:40	23,718			O8	O8	O10		T12	O3	O7	O5		O7	O4	O7		O6	O53	O3	T42	O5	T42	T42	O8		O10	O2	O8	O4	O4	
18	Captain 738	FCS	82:50	#VALUE!			O11	T22	T21	O9	O6	O11	O11	O18		O17	O15	O16		O6	O53	O38	O39	O33	O20	O8	O42		O10	O2	O8	O4	O4	
19	Captain 738	FCS	86:10	#VALUE!			O7	O11	O30	SM3	O32	O11	O18		O30	SM3	O32	O33		O14	O11	O9	O6	O37	O38	O13	O5	O28	O8	O42	O37	O4	O4	
20	Captain 738	FCS	78:50	17,438			O13	O10	O11	O6		O10	O20	O20		O15	O14	O11		O10	O17			O5	O17	O25	P3	O35	SM4	O35	O37	O4	O4	
21	Captain 738	FCS	74:00	#VALUE!			O14		P1	O47			O9	O10	O16				O9	O10	O16			O11	O28	O26	O16	O15	O2	P3	O35	O4	O4	
22	Captain 738	FCS	73:20	#VALUE!			PDATE	PDATE	O6	O39	O22	O28	O18		O27	O18	O16	O15		O15	O17	O25	O5	O17	O25	O25	O25	O16	O15	P3	O35	O4	O4	
23	Captain 738	FCS	83:05	#VALUE!			O10	O30	SM3	O31	O8	O20		O30	SM3	O32	O33		O17	O22	O23		O10		O6	O24	O17	O16	O21	O21	O3	O35	O4	O4
24	Captain 738	FCS	81:25	24,619			O4	O10	O4	T12	O10	O13		O20	O18	O17	O26					O10	O27	O23	O23	O17		O10	O2	O8	O4	O4	O4	
25	Captain 738	FCS	79:35	23,679			O30	SM3	O51		O8	O14		O41	O28	O19		O24				O16	O18	O53	SM32	SM33		O9	O37	O37	O41	O4	O4	
26	Captain 738	FCS	79:25	23,271			O52		O42		O6			O23	O30	SM3	O32		O16				O18	O15	O9		O37		O37	O41	O4	O4		
27	Captain 738	FCS	78:00	#VALUE!			O13	P1	O47		T12	O12		O23	O30	SM3	O32		P1	O47			O15	O19	O41	O19	O15		O12	O77	O77	O77	O77	

</

คณิตศาสตร์โดยตรง จึงได้ทดลองใช้โปรแกรม Excel แก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ ตารางข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ดังรูปที่ 1.3 จะเกี่ยวข้องกับการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตันเพื่อโปรแกรมนำไปคำนวณหาคำตอบ จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์โดยเลือกช่องในเซลล์ให้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งตัวอย่างนี้กำหนดให้เป็นแบบหาค่าที่ต่ำที่สุด และกำหนดข้อจำกัด ดังรูปที่ 1.4

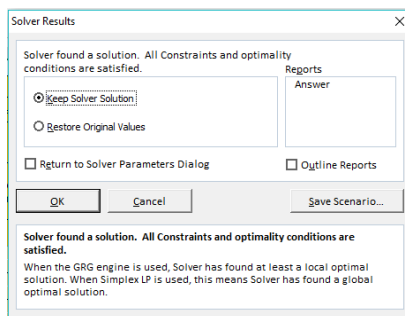
Left hand seat													
Model						$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i = 1$				$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i = 1$	$\sum_{i=1}^n d_{ij}x_{ij} \leq 34$		
Definition	Rotation	Range of rotation	Captain	Position	Cost	Binary	Position of selected captain	Acc. FH on last 6 days	FH Condition	Factor	Acc. FH limitation in weekly	Acc. captain cost on last 6 days	Cost of selected pilot
Detail and Condition	Route in consider	Range in consider	ID of captain	Rank of captain position	Cost of each rank	To selected captain	Selected captain	Sumation of days t to t+5	Acc. FH no more than 25 hrs	Captain * Selected co-pilot * FH condition must be 1	Acc. FH no more than 34 hrs	Sumation cost of days t to t+5	FH * Cost
Parameter	j	d _j	x _j	c _j									
1	7	1	FCIP	4600		0	10	1	0	17	46000	0	
1	7	2	FCIP	4600		0	13	1	0	20	59600	0	
1	7	3	FCIP	4600		0	10	1	0	17	46000	0	
1	7	4	FCIP	4600		0	21	1	0	28	96600	0	
1	7	12	FCS	4400		0	18	1	0	25	79200	0	
1	7	13	FCS	4400		0	14	1	0	21	61600	0	
1	7	14	FCS	4400		0	12	1	0	19	52800	0	
1	7	15	FCS	4400		0	5	1	0	12	22000	0	
1	7	16	FCS	4400		0	10	1	0	17	44000	0	
1	7	17	FCIP	4600		0	5	1	0	12	23000	0	
1	7	18	FCS	4400		0	19	1	0	26	83600	0	
1	7	19	FCS	4400		0	17	1	0	24	74800	0	
1	7	20	FCS	4400		0	19	1	0	26	83600	0	
1	7	21	FCS	4400		0	20	1	0	27	88000	0	
1	7	22	FCS	4400		0	14	1	0	21	61600	0	

รูปที่ 1.3 ตารางคำนวณก่อนจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน

รูปที่ 1.4 การกำหนดพารามิเตอร์ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน

โปรแกรม Solver ใน Excel เป็นชุดคำสั่งที่ช่วยหาค่าสูงสุด ต่ำสุด หรือค่าที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่ศึกษาอยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนดไว้ในแต่ละเซลล์ จึงได้กำหนดข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินนี้เพื่อหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดของคู่นักบิน จึงเริ่มจากการเลือกนักบินตำแหน่งกัปตันสำหรับเส้นทางที่กำลังพิจารณาอยู่ คือ j เท่ากับ 1 มีจำนวนชั่วโมงบินเท่ากับ 7 ชั่วโมง ข้อมูลในเซลล์ที่เตรียมไว้ได้แก่ จำนวนชั่วโมงบินสะสม 6 วันล่าสุดสำหรับพิจารณาชั่วโมงบินที่เหมาะสมในวันที่ 7 ให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดชั่วโมงบินรายสัปดาห์ต้องไม่เกิน 34 ชั่วโมง เมื่อรันโปรแกรมเพื่อหาคำตอบจะปรากฏหน้าต่างเพื่อบอกถึงสถานะผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ดังรูปที่ 1.5 ใน

การทดลองใช้โปรแกรมนี้ได้กำหนดจำนวนนักบินไว้ 41 คน สำหรับนักบินตำแหน่งกัปตัน โดยการเลือกนักบินที่เหมาะสมตามข้อจำกัดที่กำหนดในโปรแกรมสามารถให้คำตอบได้ตามข้อจำกัดที่ได้ทดลองทำ จึงได้นักบินตำแหน่ง FCT คือ นักบินฝึกหัด ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.5 รายงานสถานะผลโปรแกรม Solver Excel ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน

Couple	Left hand seat												
Model						$\sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} = 1$				$\sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} = 1$	$\sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} \leq 34$		
Definition	Rotation	Range of rotation	Captain	Position	Cost	Binary	Position of selected captain	Acc. FH on last 6 days	FH Condition	Factor	Acc. FH limitation in weekly	Acc. captain cost on last 6 days	Cost of selected pilot
Detail and Condition	Route in consider	Range in consider	ID of captain	Rank of captain position	Cost of each rank	To selected captain	Selected captain	Sumation of days t to t+5	Acc. FH no more than 25 hrs	Captain*Selected co-pilot*FH condition must be 1	Acc. FH no more than 34 hrs	Sumation cost of days t to t+5	FH*Cost
Parameter	j	d _j	x _{ij}		C _j	x _{ij}							
	1	7	65 FCT		4000	0	0	24	1	0	31	96000	0
	1	7	66 FCT		3800	0	0	9	1	0	16	34200	0
	1	7	67 FCT		3800	0	0	10	1	0	17	38000	0
	1	7	68 FCT		3800	0	0	11	1	0	18	41800	0
	1	7	69 FCT		3800	0	0	16	1	0	23	60800	0
	1	7	70 FCT		3800	0	0	0	1	0	7	0	0
	1	7	71 FCT		3800	0	0	10	1	0	17	38000	0
	1	7	72 FCT		3800	0	0	10	1	0	17	38000	0
	1	7	73 FCT		3800	0	0	10	1	0	17	38000	0
	1	7	74 FCT		3800	1	FCT	11	1	1	18	41800	26600
	1	7	75 FCT		3800	0	0	5	1	0	12	19000	0
						1				1	TTL		26600

รูปที่ 1.6 ตารางการจัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน

การใช้โปรแกรม Solver Excel เพื่อหาค่าต่ำสุดที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินในการเลือกนักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วยให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนดไว้ในแต่ละเซลล์ ดังรูปที่ 1.7 จึงได้กำหนดข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหานี้ ดังรูปที่ 1.8 สำหรับเส้นทางที่กำลังพิจารณาอยู่ คือ j เท่ากับ 1 มีจำนวนชั่วโมงบินเท่ากับ 7 ชั่วโมง ข้อมูลในเซลล์ที่เตรียมไว้ ได้แก่ จำนวนชั่วโมงบินสะสม 6 วันล่าสุดสำหรับพิจารณาชั่วโมงบินที่เหมาะสมในวันที่ 7 ให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดชั่วโมงบินรายสัปดาห์ต้องไม่เกิน 34 ชั่วโมง และจะต้องเป็นตำแหน่งที่สอดคล้องกับกัปตันที่ถูกเลือกไปก่อนหน้านี้ ผลของการค้นหาคำตอบตำแหน่งนักบินผู้ช่วยเป็นไปได้โดยแสดงสถานะผลดังรูปที่ 1.9

Couple	Right hand seat										Decision		
Model	$\sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 25$ $\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = 1$ $\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = 1$ $\sum_{i=1}^n d_i x_i \leq 34$										Min $\sum_{j=1}^n c_j x_j$		
Definition	Co-pilot	Position	Cost	Available	Acc. FH on last 6 days	FH Condition	Binary	Factor	Acc. FH limitation in weekly	Co-pilot cost in last 6 days	Selected co-pilot cost	Total cost of a pairing selected	
Detail and Codition	ID of co-pilot	Rank of co-pilot position	Cost of each rank	Available match to captain	Sumation of days t to t+5	Acc. FH no more than 25 hrs	To selected co-pilot	Captain*Selected co-pilot*FH condition must be 1	Acc. FH no more than 34 hrs	Sumation cost of days t to t+5	Cost*Range of rotation	A selected co-pilot cost+A selected captain cost	Selected co-pilot cost+Selected captain cost for all
Parameter	x_{i2}	c_i	d_i	a_{ij}	a_{ij}	a_{ij}	$x_{i,j}$	a_{ij}	a_{ij}	a_{ij}	a_{ij}	a_{ij}	a_{ij}
82	FOS	3500	0	7	1	1	0	7	24500	0	0	24500	
83	FOS	3500	0	18	1	1	0	18	63000	0	0	63000	
84	FOS	3500	0	23	1	1	0	23	80500	0	0	80500	
85	FOS	3500	0	24	1	1	0	24	84000	0	0	84000	
86	FOS	3500	0	25	1	1	0	25	87500	0	0	87500	
87	FOS	3500	0	24	1	1	0	24	84000	0	0	84000	
88	FOS	3500	0	25	1	1	0	25	87500	0	0	87500	
89	FOS	3500	0	23	1	1	0	23	80500	0	0	80500	
90	FOS	3500	0	9	1	1	0	9	31500	0	0	31500	
120	FOJ	3000	0	30	0	0	0	30	90000	0	0	90000	
121	FOJ	3000	0	12	1	1	0	12	36000	0	0	36000	
130	FOT	2800	0	14	1	1	0	14	39200	0	0	39200	
131	FOT	2800	0	15	1	1	0	15	42000	0	0	42000	
132	FOJ	3000	0	30	0	0	0	30	90000	0	0	90000	
133	FOJ	3000	0	29	0	0	0	29	87000	0	0	87000	

รูปที่ 1.7 ตารางคำนวณก่อนจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วยนักบิน

Solver Parameters

Set Objective: \$A\$530

To: Max Min Value Of: 0

By Changing Variable Cells: \$U\$7:\$U\$29

Subject to the Constraints:

\$U\$30 = 1
\$U\$7:\$U\$29 = binary
\$V\$30 = 1
\$W\$7:\$W\$29 <= 34

Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method: Simplex LP

Solving Method
Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Buttons: Help, Solve, Close

รูปที่ 1.8 การกำหนดพารามิเตอร์ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วยนักบิน

Solver Results

Solver found a solution. All Constraints and optimality conditions are satisfied.

Keep Solver Solution
 Restore Original Values

Return to Solver Parameters Dialog Outline Reports

Buttons: OK, Cancel, Save Scenario...

Solver found a solution. All Constraints and optimality conditions are satisfied.
When the GRG engine is used, Solver has found at least a local optimal solution. When Simplex LP is used, this means Solver has found a global optimal solution.

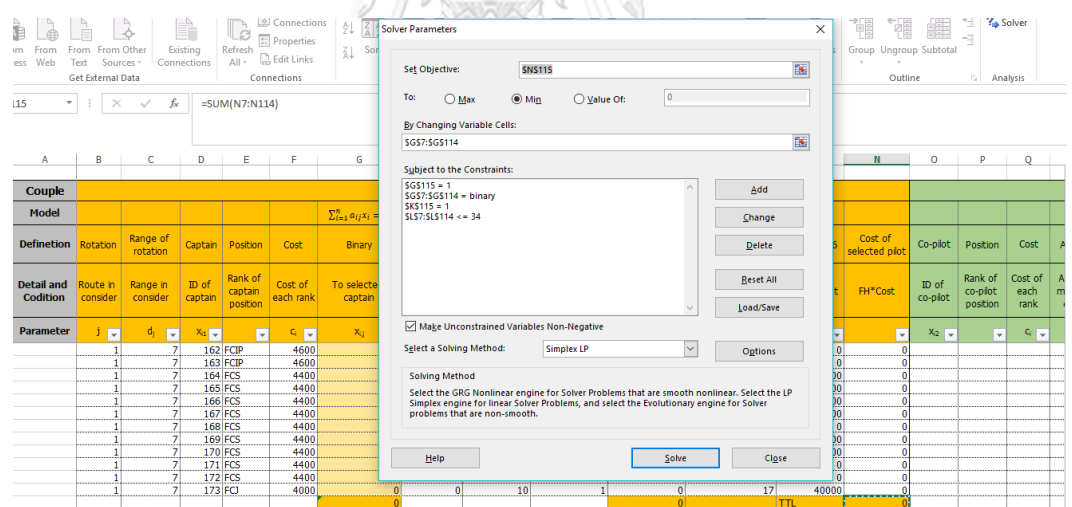
รูปที่ 1.9 การรายงานสถานะผลโปรแกรม Solver Excel ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วยนักบิน

ตำแหน่งของผู้ช่วยนักบินทำการพิจารณา 23 คน ในทุกตำแหน่งงานที่เป็นไปได้ตามตารางคู่งานที่กำหนดไว้จากสายการบิน การรันโปรแกรมนี้ทำให้เลือกนักบินผู้ช่วยในตำแหน่ง FCIP คือ ครูฝึกการบิน ดังรูปที่ 1.10 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวที่สามารถบินคู่กับ FCT ได้และนักบินหมายเลขที่ 1 นี้มีจำนวนชั่วโมงบินรวม 7 วันไม่เกิน 34 ชั่วโมง

Couple		Right hand seat										Decision	
Model	$\sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 25$ $\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = 1$ $\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i = 1$ $\sum_{i=1}^n d_i x_{ij} \leq 34$										Min $\sum_{i=1}^n c_i x_{ij}$		
Definition	Co-pilot	Position	Cost	Available	Acc. FH on last 6 days	FH Condition	Binary	Factor	Acc. FH limitation in weekly	Co-pilot cost in last 6 days	Selected co-pilot cost	Total cost of a pairing selected	Total cost of this pairing
Detail and Condition	ID of co-pilot	Rank of co-pilot position	Cost of each rank	Available match to captain	Sumation of days t to t+5	Acc. FH no more than 25 hrs	To selected co-pilot	Captain*Selected co-pilot*FH condition must be 1	Acc. FH no more than 34 hrs	Sumation cost of days t to t+5	Cost*Range of rotation	A selected co-pilot cost+A selected captain cost	Selected co-pilot cost+Selected captain cost for all
Parameter	x_2	c_i					$x_{i,j}$						
121	FOJ	3000	0	12	1	0	0	0	12	36000	0	0	36000
130	FOT	2800	0	14	1	0	0	0	14	39200	0	0	39200
131	FOT	2800	0	15	1	0	0	0	15	42000	0	0	42000
132	FOJ	3000	0	30	0	0	0	0	30	90000	0	0	90000
133	FOJ	3000	0	29	0	0	0	0	29	87000	0	0	87000
138	FOT	2800	0	14	1	0	0	0	14	39200	0	0	39200
139	FOT	2800	0	19	1	0	0	0	19	53200	0	0	53200
140	FOT	2800	0	14	1	0	0	0	14	39200	0	0	39200
141	FOT	2800	0	19	1	0	0	0	19	53200	0	0	53200
1	FCIP	4600	1	10	1	1	1	1	17	46000	32200	58800	104800
2	FCIP	4600	1	13	1	0	0	0	13	59800	0	0	59800
3	FCIP	4600	1	10	1	0	0	0	10	46000	0	0	46000
4	FCIP	4600	1	21	1	0	0	0	21	96600	0	0	96600
							1	1	TTL		32200	58800	1499200

รูปที่ 1.10 ตารางการจัดสรรนักบินตำแหน่งผู้ช่วยนักบิน

จากการทดลองคำนวณผลของการจัดคู่นักบินสำหรับเที่ยวบินเดียวให้สอดคล้องกับข้อจำกัดหลักบางประการ มาทำการทดลองกับจำนวนนักบินที่มากขึ้นตามจำนวนที่มีอยู่ในการพิจารณาแผนปัจจุบัน เมื่อทำการค้นหาคำตอบโดยการเลือกนักบินตำแหน่งกับต้นเพื่อควบคุมเครื่องบิน กำหนดให้มีจำนวนชั่วโมงบินสะสมของ 6 วันล่าสุดรวมกับจำนวนชั่วโมงบินที่พิจารณาอยู่ต้องไม่เกินกำหนดที่ 34 ชั่วโมง โดยทดลองการจัดสรรนักบินสำหรับเส้นทางที่ทำการพิจารณาอยู่ 1 เส้นทางนี้ จะเหมือนกับการทดลองปัญหาเล็กข้างต้น แต่มีการเพิ่มจำนวนนักบินเข้าไป ดังรูป 1.11



รูปที่ 1.11 การกำหนดพารามิเตอร์ของการจัดสรรนักบินตำแหน่งกับต้นปัญหาใหม่

โปรแกรม Solver Excel นี้ได้แสดงผลว่าเป็นสถานะที่ไม่สามารถหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีตัวแปรมากถึง 200 ตัวหรือ 100 ข้อจำกัด ในการแก้ปัญหการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินนี้มีจำนวนนักบินมากและเที่ยวบินจำนวนมาก การใช้ชุดคำสั่งนี้จึงไม่สามารถหาคำตอบและเงื่อนไขที่มากกว่านี้ได้ ดังรูปที่ 1.12

The problem is too large for Solver to handle.

Reports

Keep Solver Solution

Restore Original Values

Return to Solver Parameters Dialog

Outline Reports

OK Cancel Save Scenario...

The problem is too large for Solver to handle.

Solver is limited to 200 Variable Cells and 100 Constraints, plus bounds on the Variable Cells.

รูปที่ 1.12 การรายงานสถานะผลโปรแกรม Solver Excel ของการจัดสรรนักบิน
ตำแหน่งกับต้นปัญหาใหม่

การพิจารณาข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้ครบถ้วนสำหรับวัตถุประสงค์ในภาระงานที่มีชั่วโมงการบินของนักบินความเท่าเทียมนั้นจะสามารถเท่าเทียมกันภายใต้ค่าใช้จ่ายที่ลดลงของสายการบินได้ทำให้สายการบินจะพิจารณาหลายวัตถุประสงค์ การที่เราแก้ปัญหานี้เพื่อสร้างเครื่องมือที่จะให้สายการบินตัดสินใจจัดตารางได้เหมาะสมตามทรัพยากรที่มีอยู่ ซึ่งบางคำตอบอาจให้ค่าใช้จ่ายน้อยมากกับภาระงานมีความเท่าเทียมกันน้อย และบางคำตอบมีภาระงานมีความเท่าเทียมกันมากแต่ค่าใช้จ่ายสูง ทั้งนี้ทางสายการบินสามารถพิจารณาคำตอบแต่ละชุดแล้วนำไปประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับแผนงานหรือนโยบายในขณะนั้นด้วยรูปที่ 1.13 ข้างล่างนี้ได้



รูปที่ 1.13 คำตอบที่เหมาะสมเชิงพารेटโต

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้สองวัตถุประสงค์ตัวอย่างนี้ มีคำตอบที่ข่มซึ่งกันและกัน (Dominate) อยู่วัตถุประสงค์หนึ่งนั้นไม่เป็นคำตอบที่ชนะกัน แต่เป็นการชนะเพียงวัตถุประสงค์ใด วัตถุประสงค์หนึ่ง แต่การมีคำตอบที่ไม่ข่มซึ่งกันและกัน (Non-dominate) นั้นเป็นคำตอบที่ชนะทั้งสองวัตถุประสงค์จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดตัวอย่างนี้พบว่าสองจุดนี้มีจุดที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าที่มีค่าแตกต่างกันมากและภาระงานมากกว่าเพียงเล็กน้อย สองจุดนี้สามารถนำคำตอบมาพิจารณาในการเลือกปฏิบัติเป็นตัวอย่างได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการจัดการตารางนักบินที่อยู่ในรูปแบบของเมตาฮีริสติกให้แก่สายการบินราคาประหยัด

1.3 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับวิจัยปัญหาจากสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษา โดยเลือกพื้นที่ที่ศึกษา ได้แก่ สำนักงานท่าอากาศยานสนามบินดอนเมือง เพื่อศึกษาวิธีการทำงานส่วนการจัดการตารางปฏิบัติงานนักบินปัจจุบันของสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษา
2. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาและพัฒนาเมตาฮีริสติกที่เหมาะสมเพื่อประยุกต์ใช้กับการจัดการตารางปฏิบัติงานนักบิน โดยเขียนรูปแบบปัญหาของสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษาเพื่อหาคำตอบ
4. เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้เมตาฮีริสติกกับวิธีการปัจจุบันของสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษาพร้อมทั้งประเมินผลและการแก้ไขปัญหา
5. อภิปรายผลและสรุปผลการศึกษา
6. จัดทำรูปเล่มรายงานวิจัย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการจัดการตารางปฏิบัติงานนักบินสำหรับเครื่องบินประเภทเดียว คือ โบอิง 737-800
2. จำนวนเครื่องบิน 21 ลำ
3. นักบินรวมถึง ครูการบิน นักบิน นักบินผู้ช่วย
4. จำนวนนักบิน 100 ถึง 200 คนโดยประมาณ
5. ศึกษาเส้นทางการบินภายในประเทศ
6. มีฐานการบินเพียง 1 ฐาน เป็นจุดเริ่มต้นที่สนามบินดอนเมือง (DMK)

7. จัดทำแผนงานนี้จะคำนวณผลเปรียบเทียบในหนึ่งเดือนที่มีการจัดวางที่แตกต่างกันในแต่ละวันภายใต้ข้อจำกัดเดียวกัน แต่แตกต่างกันไปเพียงปริมาณข้อมูล จึงทำการรันปัญหาด้วยโปรแกรมเดียวกันในแต่ละโจทย์ปัญหา
8. วัตถุประสงค์ลดค่าใช้จ่ายให้น้อยที่สุด คิดจากค่าจ้างที่ผันแปรกับระยะทางการบิน โดยคิดค่าจ้างจากค่าจ้างที่คำนวณจากอัตราค่าจ้างของแต่ละตำแหน่งงานนักบินกับระยะทางการบิน
9. วัตถุประสงค์เพื่อปรับภาระงานโดยลดค่าความแตกต่างชั่วโมงบินที่ถูกจัดสรรให้แต่ละคนกับชั่วโมงบินโดยเฉลี่ยเป้าหมายของแต่ละคนให้น้อยที่สุด
10. วัตถุประสงค์ลดจำนวนรูปแบบเที่ยวบินที่มีเวลาปฏิบัติหน้าที่หลัง 6 โมงเย็นให้น้อยที่สุดสำหรับนักบินระดับกัปตันครุฝึก
11. วัตถุประสงค์ลดจำนวนรูปแบบเที่ยวบินซ้ำในเดือนของแต่ละคนให้น้อยที่สุด
12. การจัดทำตารางปฏิบัติงานนักบินให้ทำการบินเที่ยวบินที่มีการกำหนดวัน เวลา ระยะเวลา รายละเอียดที่เกี่ยวกับเที่ยวบินไว้เรียบร้อยแล้ว โดยจะทำการจัดคู่นักบินที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีข้อจำกัดเหล่านี้
13. ข้อมูลวันลาพักร้อน วันอบรม วันประชุม วันตรวจสุขภาพ และอื่น ๆ ที่เป็นกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องการบินจะถูกจัดตารางจากหน่วยงานอื่นมาก่อนหน้านี้แล้ว จะไม่ทำการจัดสรรเที่ยวบินให้แก่นักบินคนนั้น
14. เนื่องจากรูปแบบการบินได้ถูกระบุในรูปแบบของเที่ยวบินที่ต้องบินต่อเนื่องในวันนั้น ๆ มาอยู่แล้ว และได้ทำการตรวจสอบช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินสูงสุดมาก่อนจะจัดเที่ยวบินให้แก่นักบิน
15. ในส่วนของการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินนี้ ผู้วิจัยจะดำเนินแก้ปัญหาในส่วนของการหาวิธีการเพื่อจัดคู่นักบินเพื่อให้มีค่าจ้างทั้งหมดที่เกิดจากจำนวนชั่วโมงบินของนักบินแต่ละคนนั้นมีค่าน้อยที่สุด และอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดจากข้อบังคับของกรมการบินพลเรือนและกฎของสายการบินเอง นอกจากนี้ยังทำให้ภาระงานแต่ละคนเท่าเทียมกัน โดยจะเลือกเขียนโปรแกรมในการคำนวณเพื่อหาคำตอบของวิธีการในปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ในส่วนที่เป็น User interface นั้นจะเป็นส่วนที่สามารถนำวิธีการที่ได้จากการแก้ปัญหานี้ไปดำเนินการเพื่อพัฒนาต่อไปโดยไม่เกี่ยวกับงานวิจัยนี้
16. การจัดทำเอกสารทางการเรื่องการขอข้อมูลมาทำการศึกษาจากผู้ใช้ประโยชน์เพื่อขอความร่วมมือสนับสนุนการให้ข้อมูลเพื่องานวิจัยนี้จากผู้ใช้ประโยชน์ที่ดำเนินการวิจัยร่วมกัน และรายละเอียดของตัวเลขได้ขอเป็นการเปิดเผยตัวเลขของผลสรุปรวมเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดวางปัจจุบันกับการแก้ปัญหาแบบวิธีการที่ทำการนำเสนองานวิจัยสามารถปรับปรุงได้จริง

17. การทดสอบสมรรถนะของอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ของงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบ 3 อัลกอริทึม ได้แก่ วิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการ แบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก วิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง และวิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการ เชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้ง

1.5 ลักษณะของปัญหา

1.5.1 คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

ชั่วโมงบิน (Flight Time/Block Time) หมายถึง เวลาตั้งแต่อากาศยานเริ่มเคลื่อนที่จากหลุมจอดของสนามบินต้นทาง โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อการวิ่งขึ้นกระทั่งอากาศยานสิ้นสุดการเดินทาง ณ หลุมจอดของสนามบินปลายทางและเครื่องยนต์ทุกเครื่องดับหรือใบพัดทุกใบหยุด

ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบิน (Flight Duty Period หรือ FDP) หมายถึง เวลาซึ่งลูกเรือเริ่มปฏิบัติหน้าที่ โดยช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินของเที่ยวบินหนึ่งหรือการบินต่อเนื่องให้เริ่มนับตั้งแต่ 1 ชั่วโมงก่อนตารางการวิ่งขึ้น (Scheduled Departure Time) และหยุดนับจนถึงเวลา 30 นาที ภายหลังจากการร่อนลงครั้งสุดท้าย ทั้งนี้ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินดังกล่าว ให้หมายความรวมถึง การฝึกอบรมในเครื่องช่วยฝึกบิน (Full Flight Simulator หรือ FFS) การย้ายที่เพื่อไปปฏิบัติหน้าที่ การบิน โดยย้ายที่ตั้งกล่าวไม่นับเป็นจำนวนเที่ยว (Sector)

ช่วงเวลาพักผ่อน (Rest Period) หมายถึง ช่วงเวลาที่ลูกเรือพ้นจากการปฏิบัติหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายจากผู้ดำเนินการเดินอากาศ ซึ่งถ้าเป็นกรณีปฏิบัติหน้าที่การบินช่วงเวลาพักผ่อนให้เริ่มนับตั้งแต่เวลา 30 นาทีหลังจากเวลา on-block และหยุดนับจนถึงเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนตารางการวิ่งขึ้น

เที่ยว (Sector) หมายถึง จำนวนครั้ง เริ่มนับตั้งแต่อากาศยานเคลื่อนที่ภายใต้กำลังขับเคลื่อนของอากาศยานเองไปจนหยุดหลังร่อนลงจอด ณ หลุมจอด

คู่เที่ยวบิน (Flight Pairing) หมายถึง เส้นทางที่ทำการบินไปยังจุดหมายปลายทางและเส้นทางที่ทำการบินกลับมายังจุดเริ่มต้น เป็นการบิน 1 รอบไปและกลับเป็นจำนวน 2 เที่ยว

รูปแบบเที่ยวบิน (Flight Pattern) หมายถึง การจัดสรรคู่เที่ยวบินต่อเนื่องกันสำหรับการปฏิบัติงานพนักงานการบินในรอบวันนั้น ๆ ซึ่งเป็นการนำตารางคู่เที่ยวบินมาพิจารณา รูปแบบเที่ยวบินให้พนักงานดำเนินงานตามเวลาต่อเนื่องได้อย่างเหมาะสมภายใต้ข้อจำกัด เช่น ข้อจำกัดเรื่องเวลาปฏิบัติหน้าที่ (Flight Duty Period Limitation) เป็นต้น

ตารางคู่เที่ยวบิน (Flight Rotation Plan) หมายถึง ตารางที่จัดสรรคู่เที่ยวบินสำหรับเครื่องบินแต่ละลำที่มีเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดต่อเนื่องกันของแต่ละวันทำการบินในหนึ่งเดือน

1.5.2 ข้อจำกัดของปัญหา

ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยจำนวนเที่ยวบินและจำนวนนักบินที่มีมาก การที่จะมอบหมายคู่เที่ยวบินให้แก่ักบินแต่ละคนนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงจำนวนชั่วโมงบินสะสมรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบิน ช่วงเวลาพักผ่อน วันหยุด วันฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและภาคอากาศ จำนวนนักบินตามช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบิน การวางตำแหน่งนักบินผู้ควบคุมอากาศยานกับนักบินผู้ช่วย ต้องเป็นไปตามประกาศกรมการบินพลเรือนโดยมีข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับนักบิน การจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสำหรับคู่เที่ยวบินทั้งที่เครื่องบินออกไปกลับมาอย่างฐานเดียวกัน โดยคู่เที่ยวบินนั้นจะมีทั้งระยะเวลาเริ่มถึงสิ้นสุดและระยะทางการบินที่แตกต่างกัน ซึ่งนำมาพิจารณาในการมอบหมายงานแก่นักบินให้มีภาระงานที่เท่าเทียมกันและค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ต่ำ โดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดที่ถูกกำหนด การจัดสรรนักบินในแต่ละคู่เที่ยวบินภายใต้ข้อจำกัดของนักบินที่ได้นั้นจะมีค่าตอบที่เป็นไปได้จำนวนมาก จึงสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และใช้เทคนิคเมตาฮีริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนและการจัดการโลจิสติกส์เป็นวิธีการประมาณคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือแล้วยังช่วยลดเวลาในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่นี้ การแจกแจงรายละเอียดกฎและข้อบังคับ (Typical Rules and Regulations) ของปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน โดยแบ่งข้อจำกัดออกเป็น 3 กลุ่ม (Kohl & Karisch, 2004) ได้แก่ กฎของตารางงานตามแนวนอน (Horizontal Rules) กฎของตารางงานตามแนวตั้ง (Vertical Rules) และกฎของตารางงานแบบเฉพาะสายการบิน (Artificial Rules) ในการวางแผนจัดตารางปฏิบัติงานนักบินโดยทั่วไปจะพิจารณาปัญหาตามกฎและข้อบังคับเป็น 3 กลุ่มดังที่กล่าวข้างต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงอธิบายข้อจำกัดของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกฎและข้อบังคับการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.5.2.1 กฎของตารางงานตามแนวนอน (Horizontal Rules)

ลักษณะปัญหาเกี่ยวกับพนักงานการบินที่ต้องถูกจัดตารางตามแต่ลักษณะบุคคล และกิจกรรม ซึ่งข้อจำกัดจะขึ้นกับข้อบังคับตามประกาศของกรมการบินพลเรือนและกฎของสายการบิน ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางด้านกฎหมายและเรื่องคู่นักบินที่เหมาะสมที่จำเป็นต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

1. ความเข้ากันได้ระหว่างบุคคล งาน และเวลา เป็นการตรวจสอบสถานะความเหมาะสมของนักบินในเรื่องความพร้อมคุณสมบัติทั่วไปของนักบิน วางแผนลาหยุด วันนัดตรวจสุขภาพ แผนงานอื่น ๆ ล้วนเป็นเรื่องที่สำคัญ โดยข้อจำกัดเหล่านี้จะมาพิจารณาก่อนว่าสามารถนำรายชื่อนักบินใดจัดตารางปฏิบัติงานได้บ้าง

2. ช่วงเวลาพักผ่อน เป็นข้อจำกัดที่ประกอบไปด้วยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับช่วงเวลาที่น่ามาพิจารณาจากวัน เวลาปฏิบัติงาน ชั่วโมงบินและอื่น ๆ ของการบินเที่ยวบินก่อนหน้านี้เพื่อมาพิจารณา

สำหรับเที่ยวบินครั้งถัดไปให้สอดคล้องข้อจำกัดช่วงเวลาพักผ่อน ขึ้นกับกฎและข้อบังคับตามประกาศของกรมการบินพลเรือน เรื่องการกำหนดข้อจำกัดเวลาทำการบินและเวลาปฏิบัติหน้าที่ได้ประกาศไว้ และสามารถสรุปตารางเงื่อนไขเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินและเวลาพักผ่อน ได้ตาม ตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เงื่อนไขเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินและเวลาพักผ่อน

เวลาปฏิบัติหน้าที่การบิน	เวลาพักผ่อน
<8 ชั่วโมง	≥ 8 ชั่วโมง
8 – 10 ชั่วโมง	≥ 10 ชั่วโมง
10 – 12 ชั่วโมง	≥ 12 ชั่วโมง
12 – 14 ชั่วโมง	≥ 14 ชั่วโมง
14 – 16 ชั่วโมง	≥ 16 ชั่วโมง
16 – 20 ชั่วโมง	≥ 24 ชั่วโมง

- ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินไม่เกิน 8 ชั่วโมง ต้องมีช่วงเวลาพักผ่อนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง จึงสามารถให้ปฏิบัติหน้าที่การบินต่อไปได้
- ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินมากกว่า 8 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 10 ชั่วโมง ต้องมีช่วงเวลาพักผ่อนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 10 ชั่วโมง จึงสามารถให้ปฏิบัติหน้าที่การบินต่อไปได้
- ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินมากกว่า 10 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 12 ชั่วโมง ต้องมีช่วงเวลาพักผ่อนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง จึงสามารถให้ปฏิบัติหน้าที่การบินต่อไปได้
- ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินมากกว่า 12 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 14 ชั่วโมง ต้องมีช่วงเวลาพักผ่อนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 14 ชั่วโมง จึงสามารถให้ปฏิบัติหน้าที่การบินต่อไปได้
- ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินมากกว่า 14 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 16 ชั่วโมง ต้องมีช่วงเวลาพักผ่อนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงสามารถให้ปฏิบัติหน้าที่การบินต่อไปได้
- ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินมากกว่า 16 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 20 ชั่วโมง ต้องมีช่วงเวลาพักผ่อนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จึงสามารถให้ปฏิบัติหน้าที่การบินต่อไปได้

3. ข้อกำหนดช่วงเวลาในการปฏิบัติหน้าที่การบินและชั่วโมงบิน เป็นข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับจำนวนชั่วโมงบินสูงสุดที่สามารถปฏิบัติได้ต่อวันซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นกับเวลาเริ่มต้นในการปฏิบัติหน้าที่และจำนวนเที่ยวบินของวันนั้น ๆ โดยรูปแบบเที่ยวบินของสายการบินกรณีศึกษาที่นำมาจัดสรรให้แก่นักบินนั้นได้ถูกพิจารณาข้อจำกัดนี้มาก่อน จึงมีจำนวนชั่วโมงบินในแต่ละวันตามข้อกำหนดที่บังคับตามประกาศของกรมการบินพลเรือนรายละเอียด ดังตารางที่ 1.2

4. รูปแบบของการวางแผนสำหรับวันหยุด (Rest Day Patterns) เป็นข้อจำกัดที่ขึ้นกับการกำหนดของสายการบินเอง ซึ่งสายการบินกรณีศึกษาได้กำหนดรูปแบบให้วางแผนบิน 4 วันแล้วหยุด 2 วันติดต่อกันหรืออาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสถานการณ์งานจริง งานวิจัยนี้จะทำการวางแผนให้มีวันหยุด 2 วันติดต่อกันเมื่อมีการบิน 4 วันต่อเนื่องกัน

ตารางที่ 1.2 จำนวนชั่วโมงบินสูงสุดที่สามารถปฏิบัติได้ต่อวัน

ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินสูงสุด (ชั่วโมง)					
เวลาท้องถิ่น ณ จุดเริ่มต้น	เที่ยวบิน				
	4 หรือ น้อยกว่า	5	6	7	8 หรือ มากกว่า
06.00 - 07.59	10	9.15	8.30	8	8
08.00 - 14.59	11	10.15	9.30	8.45	8
15.00 - 21.59	10	9.15	8.30	8	8
22.00 - 05.59	9	8.15	8.00	8	8

5. ข้อกำหนดช่วงเวลาในการปฏิบัติหน้าที่การบินและชั่วโมงการบินสะสม (Accumulated Values) ของลูกเรือหรือนักบินตามข้อบังคับตามประกาศของกรมการบินพลเรือน เรื่องการกำหนดข้อจำกัดเวลาทำการบินและเวลาปฏิบัติหน้าที่ ได้ประกาศไว้ ดังนี้

- ภายในทุก ๆ 7 วัน ต่อเนื่องกัน ลูกเรือหรือนักบินจะมีชั่วโมงบินได้ไม่เกิน 34 ชั่วโมง
- ภายในทุก ๆ 28 วัน ต่อเนื่องกัน ลูกเรือหรือนักบินจะมีชั่วโมงบินได้ไม่เกิน 110 ชั่วโมง

1.5.2.2 กฎของตารางงานตามแนวตั้ง (Vertical Rules)

การจัดตารางเพื่อจัดสรรคูนักบินในแต่ละเที่ยวบินให้ครบทุกเที่ยวบินของการจัดตารางปฏิบัติงาน มีรายละเอียด ดังนี้

1. ส่วนประกอบลูกเรือ (Crew Complement) เป็นการพิจารณาตามประเภทของเครื่องบิน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสำหรับสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษาของประเภทเครื่องบินโบอิง 737-800 ซึ่งจำเป็นต้องมีนักบิน 2 คนต่อเที่ยว โดยกำหนดให้มีตำแหน่งกับตัน 1 คนและตำแหน่งผู้ช่วยนักบินหรือกัปตันอีก 1 คนตามแต่ละจำนวนตำแหน่งนักบินที่มีอยู่

2. ข้อจำกัดด้านคุณสมบัติอื่น ๆ (Qualification-typed Constraints) จะแบ่งไปตามลักษณะงาน (Task) ดังนี้

- กำหนดให้นักบินที่ไม่มีประสบการณ์ร่วมควบคุมการบินได้อย่างมาก 1 คนร่วมบินในเที่ยวบินนั้น ๆ ดังนั้น นักบินที่เป็นนักบินฝึกหัดจะต้องบินร่วมกับผู้ที่มีประสบการณ์เท่านั้น ซึ่งสายการบินกรณีศึกษาได้กำหนดให้ทำการบินกับตำแหน่งกัปตันระดับครูฝึกนักบินเท่านั้น
- จะไม่จัดตารางเที่ยวบินให้กับนักบินที่ไม่สามารถบินร่วมกันได้เนื่องจากมีข้อขัดแย้งส่วนตัวระหว่างกันอยู่ จึงต้องจัดให้หลีกเลี่ยงปัญหานี้เพราะในทางปฏิบัติงานสามารถเกิดขึ้นได้จริง การกำหนดข้อจำกัดนี้ระบุให้มีเพียงไม่กี่คู่เท่านั้น พนักงานวางแผนเองจะทราบข้อจำกัดนี้จากประสบการณ์การทำงานทั้งนี้พนักงานวางแผนสามารถระบุข้อจำกัดนี้บันทึกไว้

การจับคู่กันนักบินแต่ละตำแหน่งงานที่สามารถบินคู่กันได้ของสายการบินกรณีศึกษานั้นจะพิจารณาก่อนจัดตารางปฏิบัติงานนักบินให้เหมาะสมตามตำแหน่งงานนักบิน ดังตารางที่ 1.3 ซึ่งสายการบินกรณีศึกษาไม่ได้จัดตามข้อจำกัดคู่กันนักบินที่ขัดแย้งกันโดยจะให้ความสำคัญกับคู่กันตามระดับตำแหน่งงานที่เป็นไปได้ที่ได้แสดงถึงความสามารถในการปฏิบัติงานกับนักบินตำแหน่งงานอื่น ๆ ค่าจ้างสำหรับการปฏิบัติงานนั้นจะแตกต่างกันตามตำแหน่งและระดับงาน ที่แสดงความเป็นไปได้ของการปฏิบัติงานร่วมกับนักบินตำแหน่งอื่น ค่าจ้างที่นำมาพิจารณาสำหรับการจัดตารางนี้จะเป็นส่วนที่ขึ้นกับระยะทางการบิน (Nautical Mile) เท่านั้น ส่วนค่าจ้างที่เป็นส่วนของเงินเดือนที่แตกต่างกันระหว่างระดับงานจะไม่ได้นำมาคิดคำนวณหาวัตถุประสงค์ในการทดลองเนื่องจากไม่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางที่สัมพันธ์กับคู่กันนักบินและรูปแบบเที่ยวบินนี้ ข้อจำกัดนี้จะนำมาพิจารณาในการมอบหมายงานให้แก่ักบินโดยตัวย่อแต่ละตัวดังตารางที่ 1.3 จะมีความหมายของตำแหน่งงานนักบิน ดังนี้ 1) ตัวย่อตัวที่ 1 และ 2 คือ ตำแหน่งงาน ได้แก่ FC หมายถึง ตำแหน่งกัปตัน (First Crew) และ FO หมายถึง ตำแหน่งนักบินผู้ช่วย (First Officer) เป็นต้น 2) ตัวย่อตัวที่ 3 และ 4 คือ ระดับงาน ได้แก่ IP หมายถึง ระดับครูฝึกนักบิน (Instructor Pilot), S หมายถึง ระดับอาวุโส (Senior), J หมายถึง ระดับปฏิบัติการ (Junior) และ T หมายถึง ระดับฝึกหัด (Training) เป็นต้น ดังนั้น แต่ละตัวย่อตำแหน่งและระดับงานทุกตัวจะมีความหมายโดยเรียงลำดับจากอาวุโสมากที่สุดจนน้อยที่สุด ดังนี้ 1) FCIP คือ ตำแหน่งกัปตันระดับครูฝึกนักบิน 2) FCS คือ ตำแหน่งกัปตันระดับอาวุโส 3) FCJ คือ ตำแหน่งกัปตันระดับปฏิบัติการ 4) FCT คือ ตำแหน่งกัปตันระดับฝึกหัด 5) FOS คือ ตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับอาวุโส 6) FOJ คือ ตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับปฏิบัติการ 7) FOT คือ ตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับฝึกหัด จากการกำหนดตำแหน่งและระดับงานของนักบินนั้นจะแตกต่างกันด้วยประสบการณ์การทำงานที่มากขึ้นแตกต่างกันไป เมื่อนักบินที่มีตำแหน่งงานระดับสูงจะหมายถึงผู้ที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์ในการบินที่มากตามไปด้วย บางเส้นทางการบินมีจำนวนชั่วโมงบินเท่ากันแต่ระยะทางอาจแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย การคิดค่าใช้จ่ายสำหรับนักบินนั้นจะพิจารณาจากระยะทางการบินเป็นหลัก ส่วนจำนวนชั่วโมงบินจะนำมาพิจารณาเกี่ยวกับข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับ

ประกาศของกรมการบินพลเรือน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการจ้างนักบินนี้จะรวมถึงค่าจ้างที่คิดจากระยะทางการบิน

3. ข้อจำกัดในแนวตั้งด้านอื่น ๆ (Further Vertical Constraints) เป็นการพิจารณาดำแหน่งนักบินผู้ช่วยมีคุณสมบัติน้อยกว่าตำแหน่งกัปตัน (Fly Below Rank) เพราะสามารถควบคุมการบินได้เพียงตำแหน่งที่นั่งด้านขวา (Right Hand Seat) การที่สายการบินมีจำนวนนักบินผู้ช่วยมากการวางแผนก็จะมีควมยืดหยุ่นน้อย แต่ในทางกลับกันการที่มีตำแหน่งกัปตันมากก็มีความยืดหยุ่นสูงเพราะสามารถปฏิบัติงานได้ทั้งฝั่งผู้ควบคุมอากาศยานหรือที่นั่งฝั่งซ้ายและฝั่งนักบินผู้ช่วยหรือที่นั่งฝั่งขวา แต่ก็จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการมีตำแหน่งนักบินผู้ช่วย งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตามจำนวนนักบินของสายการบินกรณีศึกษาที่มีอยู่เพื่อหาคำตอบของปัญหาให้ได้ตามวัตถุประสงค์ โดยไม่ได้แก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการกำหนดจำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ตารางที่ 1.3 ความเป็นไปได้ของคู่นักบินแต่ละตำแหน่งงาน

กัปตัน นักบินผู้ช่วย	FCIP	FCS	FCJ	FCT
FOS	√	√	√	X
FOJ	√	√	X	X
FOT	√	X	X	X
FCIP	X	X	X	√
FCS	√	X	X	X
FCJ	√	X	X	X
FCT	√	X	X	X

1.5.2.3 ข้อจำกัดเกี่ยวกับประสบการณ์จากพนักงานวางแผน (Artificial Rules)

กฎในส่วนนี้ก็จะจะเป็นไปตามความเหมาะสมของสายการบินหรือสัญญาที่ได้ตกลงร่วมกับบินกับสายการบินไว้ ซึ่งจะเป็นข้อจำกัดเพิ่มเติมจากสายการบินโดยทั่วไป ดังนี้

1. การแก้ปัญหาแผนที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ (Robustness of the Solution) เช่น แผนสำรองเพื่อป้องกันการล่าช้าหรือหยุดชะงักในการปฏิบัติงาน (Plan a Buffer of Delay) เป็นไปตามประสบการณ์หรือสถานการณ์ของสายการบินในขณะนั้นมีปัญหาสภาพแวดล้อม การเมือง สภาพเครื่องบิน หรืออื่น ๆ ที่ส่งผลให้นักบินไม่สามารถปฏิบัติงานได้ตามแผน ดังนั้น สายการบินจะพิจารณาชั่วโมงบินที่เหมาะสมจากประสบการณ์เพราะถ้าหากวางแผนตารางนักบินด้วยชั่วโมงข้อจำกัดตามที่กำหนดแบบกลับข้อจำกัดในขอบเขตบนของข้อจำกัดชั่วโมงเกินไป การปฏิบัติจริงจะทำให้เกิน

ข้อกำหนดได้เมื่อมีการปฏิบัติงานได้ไม่ตามแผน ซึ่งทำให้การปฏิบัติงานจริงนั้นไม่ยืดหยุ่น สำหรับงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาของแผนงานที่จะเกิดขึ้นจากปัญหาสภาพแวดล้อมที่กล่าวนี้ โดยจะทำการศึกษาส่วนที่เป็นไปตามข้อบังคับจากประกาศกรมการบินพลเรือนเป็นหลัก หากสายการบินจะทำการปรับเปลี่ยนข้อจำกัดจำนวนชั่วโมงบินนั้นสามารถนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ควบคุมหน่วยงานจริงตามสถานการณ์ได้ในอนาคต

2. วิธีการสำหรับการสนับสนุนงาน (Support for Solution Methods) ทางสายการบินได้กำหนดวันหยุดติดต่อกัน โดยต้องมีข้อห้ามในทางปฏิบัติเป็นขอบเขตไว้ สำหรับสายการบินกรณีศึกษาที่กำหนดให้ทำงานที่เป็นเวลาปฏิบัติหน้าที่ไม่เกิน 5 วันติดต่อกัน ปัญหาเหล่านี้สามารถแบ่งข้อจำกัดได้เป็น 2 ส่วน คือ Hard Constraints และ Soft Constraints ที่จะช่วยแยกปัญหาออกเป็นส่วนๆ เพื่อจัดลำดับการแก้ไขปัญหาสำคัญก่อนและหลัง ซึ่งสามารถแบ่งได้ ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 Hard Constraints และ Soft Constraints

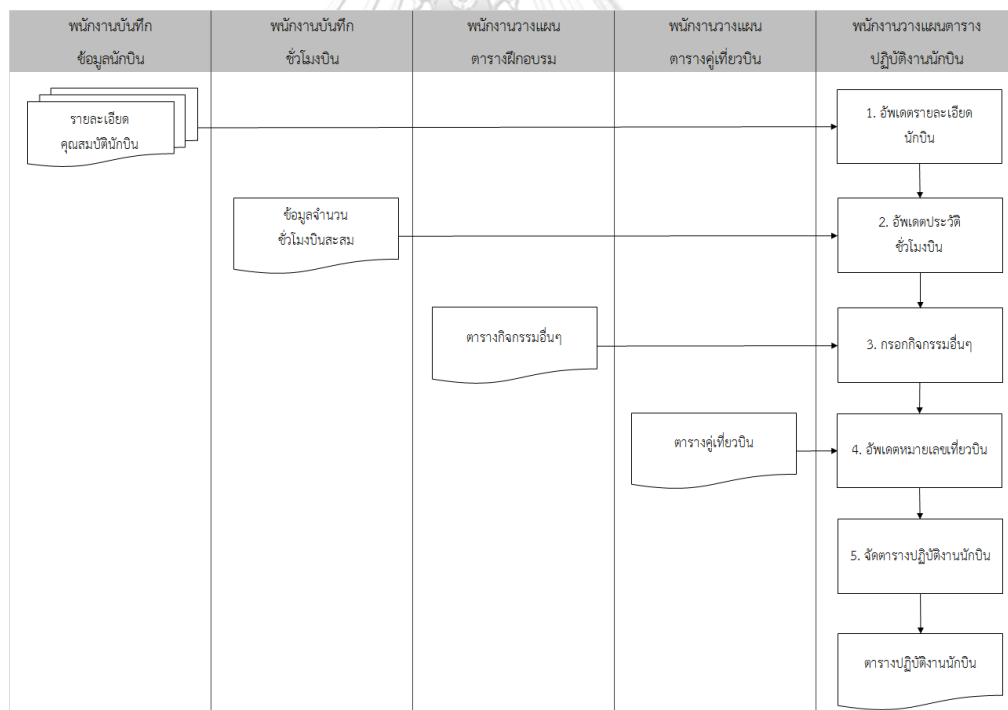
Hard Constraints	Soft Constraints
1. ข้อจำกัดเรื่องจำนวนชั่วโมงบินสะสมรายสัปดาห์ของนักบิน	1. การวางแผนเส้นทางของนักบินแต่ละคนไปตามภูมิภาคเท่าเทียมกัน
2. ข้อจำกัดเรื่องจำนวนชั่วโมงบินสะสมรายเดือนของนักบิน	2. จะไม่มีการวางแผนให้นักบินในวันที่มีกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การอบรม ประชุม วันลาพักร้อน
3. ข้อจำกัดเรื่องเวลาพักผ่อนตามประกาศกรมการบินพลเรือน	3. นักบินอาวุโสได้ปฏิบัติหน้าที่ในรูปแบบเที่ยวบินที่เลิกงานไม่ตีตึกมากนัก
4. การจับคู่ระหว่างกัปตันและนักบินผู้ช่วยแต่ละระดับที่มีข้อจำกัดความสามารถในการบินแตกต่างกัน	4. นักบินปฏิบัติหน้าที่ต่อเนื่องกันไม่เกิน 5 วัน
5. นักบินในแต่ละเที่ยวบินจะต้องมีจำนวน 2 คนเท่านั้น	

1.5.3 ลักษณะปัญหาปัจจุบัน

การจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษามีขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลและการจัดสรรค่านักบิน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีวิธีการจัดตารางรวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องที่ทำอยู่ในปัจจุบันซึ่งวิธีการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสามารถสรุปเป็นแผนผังการไหลของวิธีการดำเนินงาน ดังรูปที่ 1.14 เพื่อให้เข้าใจวิธีการภาพรวมของการจัดตารางตั้งแต่การรวบรวม

ข้อมูลจากพนักงานวางแผนส่วนอื่นเพื่อมาอัปเดตข้อมูลเตรียมในการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเตรียมข้อมูล พนักงานวางแผนจะทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินจากหน่วยงานอื่น ๆ มาเตรียมไว้แล้วทำการอัปเดตข้อมูลในตาราง ซึ่งประกอบด้วย รายชื่อจำนวน ตำแหน่งงาน จำนวนชั่วโมงจริงของเดือนที่ผ่านมา ตารางอบรมทฤษฎี และภาคปฏิบัติ ตารางประชุมตารางวันหยุดและลาพักร้อน ตารางคู่เที่ยวบินรายเดือน จำนวนตำแหน่งนักบินที่สามารถบินตำแหน่งที่นั่งด้านขวาหรือนักบินผู้ช่วยได้ โดยตารางปฏิบัติงานนักบินหน้าหลักที่มี 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) กรอบด้านซ้ายเป็นส่วนที่เป็นรายชื่อและตำแหน่งงานนักบินซึ่งโปรแกรม Microsoft Excel จะคำนวณจำนวนชั่วโมงบินและระยะทางการบินไว้เพื่อพิจารณาระหว่างทำการจัดสรรเที่ยวบินแก่นักบิน 2) กรอบด้านขวาเป็นส่วนที่มีช่องว่างในตารางสำหรับกรอกรูปแบบเที่ยวบินให้นักบินแต่ละคนในแต่ละวันของหนึ่งเดือน ดังรูปที่ 1.15 นอกจากตารางปฏิบัติงานนักบินหน้าหลักแล้ว พนักงานวางแผนจะต้องทำการกรอกข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเตรียมไว้ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1.14 แผนผังการไหลของวิธีการดำเนินงานจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

แผนอบรมรอกใส่ตาราง เช่น Simulator, Training, School Flight รวมถึงวันประชุม และกิจกรรมอื่น ๆ ที่ไม่ได้ทำการบิน ดังตัวอย่าง รูปที่ 1.18 ทั้งนี้ จะทราบได้ว่าวันนั้น นักบินจะไม่สามารถปฏิบัติการบินได้จึงจะไม่ถูกจัดสรรเที่ยวบินให้ตามวันของตารางกิจกรรม

4. อัปเดตหมายเลขเที่ยวบิน เนื่องด้วยสายการบินมีการจัดตารางคู่เที่ยวบินสำหรับนักบินเป็นรายเดือนและสายการบินกรณีศึกษากำหนดให้เที่ยวบินไปและกลับที่ฐานเดียวกันโดยจะเริ่มต้นเส้นทางจากสนามบินดอนเมือง (DMK) ซึ่งจะมีระยะทางการบินขาไปกับขากลับที่แตกต่างกันและคนละเส้นทางกัน ข้อมูลเหล่านี้จะถูกกำหนดไว้เป็นเลขมาตรฐานสำหรับการคำนวณ โดยประกอบด้วยหมายเลขเที่ยวบิน ประเภทเครื่องบิน ชื่อเส้นทางการบินไปยังสถานีปลายทาง เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของการปฏิบัติหน้าที่การบิน จำนวนชั่วโมงบิน จำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่การบิน และระยะทางการบิน ดังรูปที่ 1.19

1-ก.ค.-16					D1							Week 2						
On-duty					ส.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พ.	ศ.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พ.
No	POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	Total Nautical Miles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Captain 738	FCIP	0:00	0														
2	Captain 738	FCIP	0:00	0														
3	Captain 738	FCIP	0:00	0														
4	Captain 738	FCS	0:00	0														
5	Captain 738	FCS	0:00	0														
6	Captain 738	FCS	0:00	0														
7	Captain 738	FCS	0:00	0														
8	Captain 738	FCS	0:00	0														
9	Captain 738	FCS	0:00	0														
10	Captain 738	FCJ	0:00	0														
11	Captain 738	FCJ	0:00	0														
12	Captain 738	FCJ	0:00	0														

รูปที่ 1.18 ตารางกิจกรรมอื่น ๆ

FLT No.	Fleet	From	To	Route	Schedule time (Departure)	Schedule time (Arrival)	Duty time (Departure)	Duty time (Arrival)	Block Hours	Duty Period	Nautical Mile
9200	737-800	DMK	UTH	DMK-UTH	5:50	6:55	4:50	7:25	1:05	2:35	300
9201	737-800	UTH	DMK	UTH-DMK	7:35	8:35	6:35	9:05	1:00	2:30	259
8306	737-800	DMK	CNX	DMK-CNX	9:05	10:15	8:05	10:45	1:10	2:40	319
8307	737-800	CNX	DMK	CNX-DMK	10:45	11:50	9:45	12:20	1:05	2:35	317

รูปที่ 1.19 หมายเลขเที่ยวบิน

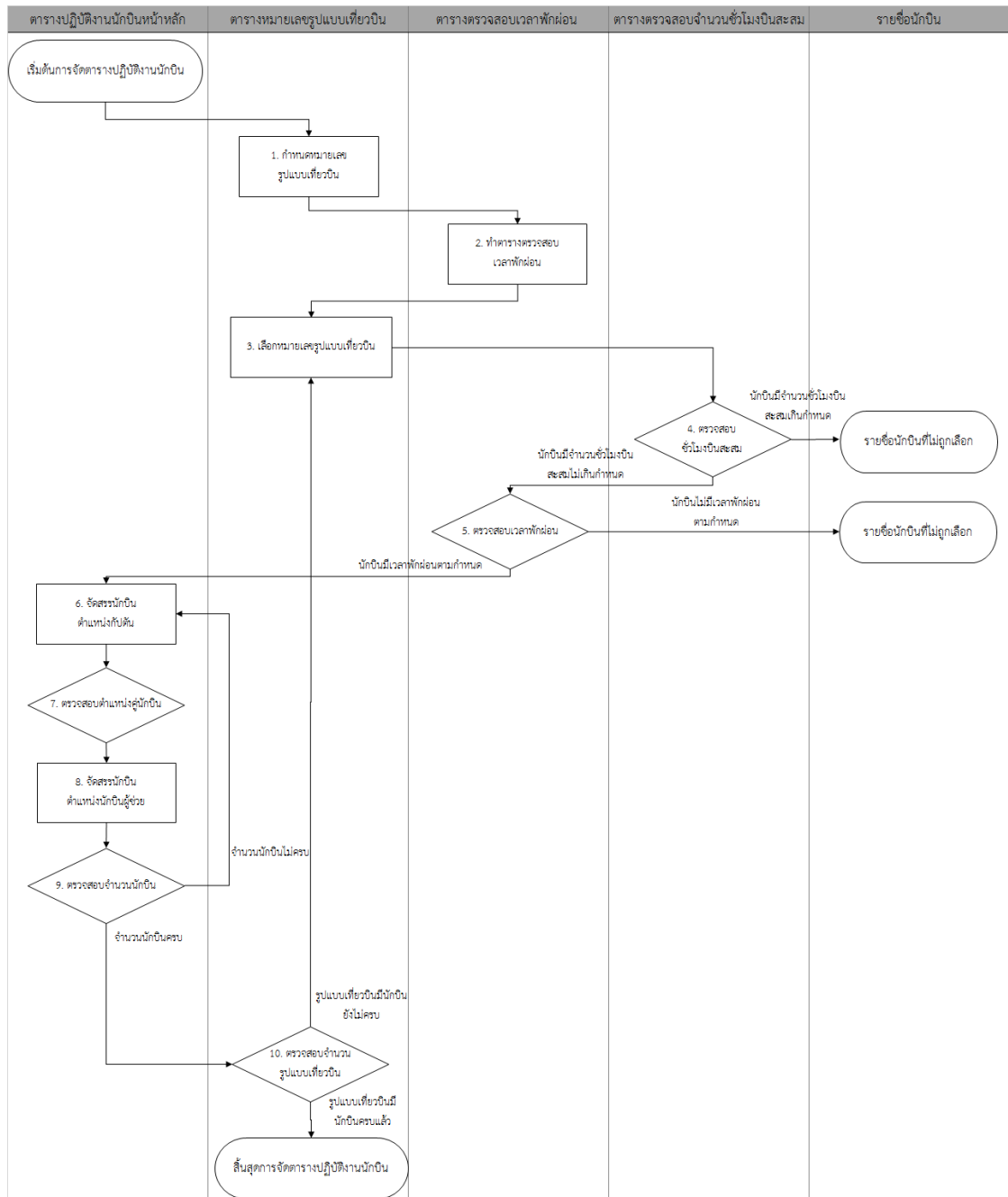
5. จัดตารางปฏิบัติงานนักบิน เมื่อทำการอัปเดตข้อมูลต่างๆ สำหรับการ จัดตารางปฏิบัติงานนักบินแล้ว พนักงานวางแผนจะดำเนินการจัดตารางโดยการ จัดสรรคู่นักบินให้เหมาะสมกับเที่ยวบินที่กำลังพิจารณา เมื่อดำเนินงานจนครบทุกหมายเลขเที่ยวบินแล้วจะได้ตารางปฏิบัติงานนักบิน ดังรูป 1.20 ที่แสดงรายละเอียดหมายเลขเที่ยวบิน เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของการปฏิบัติหน้าที่การบิน และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในแต่ละวันของทุกคน

FLEET : 738			1-ก.ค.-16				7-ก.ค.-16		
1-ก.ค.-16			Week 1						
On-duty			ศ.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พฤ.
ID	POSITION	PILOT RANK	1	2	3	4	5	6	7
10064	Captain 738	FCIP	7108/7109 9216/9217 (12:10-20:05)		8302/8303 4234/4235 (6:00-14:15)	9200/9201 8306/8307 (4:50-12:20)	7804/7805 7210/7211 (5:00-12:40)	8400/8401 7104/7105 (5:30-13:10)	

รูปที่ 1.20 ตารางปฏิบัติงานนักบิน

ขั้นตอนที่ 2 การจัดสรรคนนักบิน การดำเนินงานจัดสรรนักบินเข้าสู่แผนในแต่ละวันของเดือนนั้น ๆ จะทำการพิจารณาตามข้อจำกัดในแนวตั้งที่ต้องมีเที่ยวบินครบตามตารางเที่ยวบินของแต่ละวัน และข้อจำกัดในแนวนอนที่เกี่ยวกับจำนวนชั่วโมงบิน เรื่องช่วงเวลาพักผ่อนของแต่ละคนจะไม่เกินข้อกำหนด และอื่น ๆ ที่ได้ระบุไว้ในเรื่องรายละเอียดปัญหา โดยสามารถดำเนินงานจัดตารางตามผังขั้นตอนการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ดังรูปที่ 1.21 ที่แสดงถึงวิธีการตัดสินใจเลือกคนนักบินในแต่ละรูปแบบเที่ยวบินของการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินทุกกระบวนการการจัดวางรายชื่อคนนักบินจะวางตามรูปแบบหมายเลขเที่ยวบินที่ได้กำหนดไว้ว่าเดินทางเที่ยวบินที่ 1 ด้วยหมายเลขเที่ยวบินอะไรแล้วต้องต่อด้วยหมายเลขเที่ยวบินอะไรต่อไป สำหรับการจัดวางรายชื่อคนนักบินจะทำเที่ยวบินทีละสองคน ทั้งตำแหน่งกัปตันและตำแหน่งผู้ช่วยนักบินในคราวเดียวกัน โดยจะวางรายชื่อตำแหน่งกัปตันก่อนว่าจะบินรูปแบบเที่ยวบินเลขอะไร เนื่องจากทุกเที่ยวบินจำเป็นต้องมีกัปตัน ลำดับถัดมากำหนดนักบินผู้ช่วยโดยทำการจัดสรรให้ทำการบินในรูปแบบเที่ยวบินเดียวกัน ปัจจุบันจะกำหนดรายชื่อคนใดก่อนใครก็ได้ที่มีจำนวนชั่วโมงไม่เกิน ไม่ติดกิจกรรมอื่น ๆ ที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดอื่น ๆ งานวิจัยนี้ได้ทำการยกตัวอย่างของการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเพื่อให้ทราบถึงวิธีการจัดตารางโดยพนักงานวางแผนดำเนินการด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ตัวอย่างที่จำานั้นเป็นโจทย์ขนาดเล็กเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและครบกระบวนการจัดตารางโดยกำหนดให้มีจำนวนนักบิน 30 คน ดังรูปที่ 1.22 ที่ประกอบไปด้วยนักบินตำแหน่งกัปตันระดับครูฝึก (FCIP) นักบินตำแหน่งกัปตันระดับอาวุโส (FCS) นักบินตำแหน่งกัปตันระดับปฏิบัติการ (FCJ) นักบินตำแหน่งกัปตันระดับฝึกหัด (FCT) นักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับอาวุโส (FOS) นักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับปฏิบัติการ (FOJ) และนักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับฝึกหัด (FOT) รูปแบบเที่ยวบินที่จะทำการบินมีจำนวน 33 รูปแบบเที่ยวบินและกิจกรรมอื่น ๆ โดยมีเวลาและรายละเอียดแตกต่างกัน ดังรูปที่ 1.24

1. กำหนดหมายเลขรูปแบบการบิน การเริ่มจัดตารางจะต้องใส่ข้อมูลคู่เที่ยวบินสำหรับเดือนนั้น ๆ โดยกำหนดโค้ดหรือหมายเลขเฉพาะแต่ละรูปแบบการบินที่ทำการบินครบรอบการบินในหนึ่งวัน จะเป็นหมายเลขรูปแบบการบินของกิจกรรมหรือหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินของการบินที่ประกอบด้วยหลายหมายเลขเที่ยวบินและมีเวลาแตกต่างกัน ข้อมูลส่วนนี้จะแสดงตารางคู่เที่ยวบินตามช่วงเวลาจะระบุเลขเที่ยวบิน เวลา ของขาไปกับขากลับ สนามบินเริ่มต้น และสนามบินปลายทาง



รูปที่ 1.21 แผนผังการไหลขั้นตอนการจัดตารางปฏิบัติงานนักเรียน

นอกจากคู่เที่ยวบินแล้วพนักงานวางแผนสามารถกำหนดหมายเลขเฉพาะสำหรับกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การประชุม การอบรม วันหยุด เป็นต้น พนักงานวางแผนจะกำหนดรูปแบบเที่ยวบินไว้ตามความเหมาะสมและเห็นชอบของผู้บริหารในบางกรณี จึงทำให้ทราบถึงคู่เที่ยวบินที่นักเรียนต้องบินในหนึ่งวัน แล้วจึงนำมาจัดรายชื่อนักบินลงไปที่ต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัด การกำหนดหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินเพื่อแสดงเวลาของเที่ยวบินจะทราบได้ว่าเที่ยวบินที่ 1 บินต่อด้วยเที่ยวบินที่ 2 นั้นเป็นคู่เที่ยวบินไหน

เนื่องจากคู่เที่ยวบินของตารางรูปแบบเที่ยวบินจะกำหนดเป็น 4 เที่ยวบินต่อวัน หรือ 2 เที่ยวบินต่อวัน ทั้งนี้จะทำให้เราทราบเวลารวมเพื่อนำไปพิจารณาในการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินได้ ดังรูปที่ 1.23 จะได้ข้อมูลที่น่าไปจัดตารางที่ประกอบไปด้วย 1) สถานการณ์ปฏิบัติงาน ช่อง Code Type 2) หมายเลขคู่เที่ยวบินที่ 1 ช่อง Description (1) และหมายเลขคู่เที่ยวบินที่ 2 ช่อง Description (2) 3) เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของการปฏิบัติหน้าที่ช่อง Duty (Start) และ Duty (End) 4) จำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่ช่อง Duty Hours (Hrs.) จำนวนชั่วโมงบินช่อง Total Block Hours และจำนวนระยะทางการบินช่อง Total Nautical Miles

ID	POSITION	PILOT RANK
1	Captain 738	FCIP
2	Captain 738	FCIP
3	Captain 738	FCIP
4	Captain 738	FCIP
5	Captain 738	FCIP
6	Captain 738	FCIP
7	Captain 738	FCIP
8	Captain 738	FCIP
9	Captain 738	FCS
10	Captain 738	FCS
11	Captain 738	FCIP
12	Captain 738	FCS
13	Captain 738	FCS
14	Captain 738	FCS
15	Captain 738	FCS
16	Captain 738	FCS
17	Captain 738	FCIP
18	Captain 738	FCS
19	Captain 738	FCS
20	Captain 738	FCS

รูปที่ 1.22 ตัวอย่างรายชื่อนักบิน

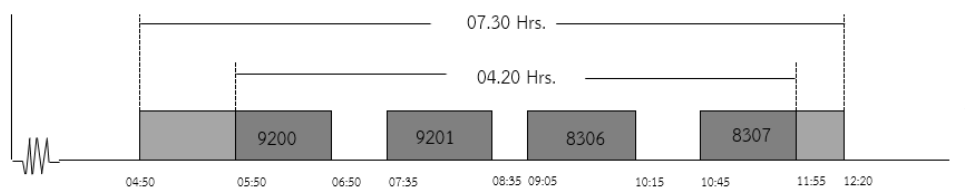
Code Type	Code	Description (1)	Description (2)	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.)	Total Block Hours	Total Nautical Miles
On-duty	O1	9200/9201	8306/8307	4:50	12:20	7:30	4:20	1,195
On-duty	O2	7808/7809	8312/8313	8:15	16:00	7:45	4:35	1,418
On-duty	O3	8400/8401	7104/7105	5:30	13:10	7:40	4:30	1,295
On-duty	O4	7208/7209	7502/7503	5:10	13:10	8:00	5:00	1,509
On-duty	O5	7102/7103	7910/7911	5:00	14:00	9:00	5:30	1,718
On-duty	O6	3210/3211	9210/9211	6:35	15:25	8:50	5:05	1,444
On-duty	O7	8714/8715	9814/9815	6:30	14:55	8:25	4:20	1,270
On-duty	O8	7400/7401	7406/7407	6:20	13:40	7:20	5:20	1,748
On-duty	O9	8302/8303	4234/4235	6:00	14:15	8:15	4:45	1,407
On-duty	O10	7804/7805	7210/7211	5:00	12:40	7:40	4:40	1,437

รูปที่ 1.23 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน

ตัวอย่างของการกำหนดรูปแบบเที่ยวบินดังรูปที่ 1.24 เช่น หมายเลขรูปแบบการบิน O1 เริ่มงานเวลา 04.50 น. และจะทำการบินจริง 1 ชั่วโมงถัดไปเป็นเวลา 05.50 น. ซึ่งนักบินจะทราบว่า

ควรเข้างานที่เวลา 04.50 น. เป็นการเริ่มงานของการบินในวันนั้น ๆ และจะสิ้นสุดการบินที่เวลา 11.50 น. โดยจะทำการปฏิบัติหน้าที่ต่อหลังจากสิ้นสุดการบิน 30 นาทีของเที่ยวบินสุดท้ายในรูปแบบเที่ยวบินนี้ จึงเลิกงานที่เวลา 12.20 น. เป็นการสิ้นสุดการทำงานของรูปแบบเที่ยวบิน O2 โดยจะมีจำนวนชั่วโมงบินรวมจากเที่ยวบินหมายเลข 9200 มีชั่วโมงบิน 65 นาที เที่ยวบินหมายเลข 9201 มีชั่วโมงบิน 60 นาที เที่ยวบินหมายเลข 8306 มีชั่วโมงบิน 70 นาที และเที่ยวบินหมายเลข 8307 มีชั่วโมงบิน 65 นาที รวมเป็น 260 นาที หรือ 4.20 ชั่วโมง จำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่เท่ากับ 7.30 ชั่วโมงโดยคิดจากเวลาก่อนเริ่มบินของเที่ยวบินแรกเป็นระยะเวลา 60 นาที หรือ 1 ชั่วโมงก่อนทำการบิน และระยะเวลา 30 นาทีหลังจากเวลาเที่ยวบินสุดท้าย และจำนวนระยะทางการบิน 1,195 ไมล์ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการกำหนดหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินนี้จะทำให้ทราบว่านักบินที่ถูกจัดสรรให้บินนั้นจะสามารถปฏิบัติงานได้หรือไม่ จะเกิดชั่วโมงเป็นสะสมเป็นเท่าไร และสามารถเป็นข้อมูลเพื่อการคำนวณค่าวัสดุประสงค์อีกด้วย

วิธีการกรอกข้อมูลเพื่อให้ได้รูปแบบเที่ยวบินดังรูปที่ 1.23 นั้น พนักงานวางแผนจะได้รับข้อมูลเกี่ยวกับคู่เที่ยวบินที่ต้องบินติดกันในแต่ละวัน จะได้หมายเลขเที่ยวบินมาเพื่อทำการกำหนดเป็นรูปแบบเที่ยวบินจึงทำเพียงแค่กำหนดหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินไว้ใช้ในการจัดตาราง กรอกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน O1 ที่ช่อง Code ดังรูปที่ 1.24



รูปที่ 1.24 แผนผังเวลาของรูปแบบเที่ยวบิน O1

ข้อมูลที่ได้มาให้กำหนดหมายเลขคู่เที่ยวบินที่บินในเดือนที่จะทำการจัดตาราง โดยจะทำการกรอกในตารางเดียวกัน แต่เพื่อให้เข้าใจแต่ละส่วนจึงแยกอธิบายแบบการแสดงที่ละเอียด เช่น คู่เที่ยวบินหมายเลข 9200/9201 และ 8306/8307 จึงทำการกรอก 9200 ที่ช่อง Flight No. (1) ของเที่ยวบินที่ 1 ดังรูปที่ 1.25 กรอก 9201 ที่ช่อง Flight No. (2) ของเที่ยวบินที่ 2 ดังรูปที่ 1.26 กรอก 8306 ของเที่ยวบินที่ 3 ดังรูปที่ 1.27 และกรอก 8307 ของเที่ยวบินที่ 4 ดังรูปที่ 1.28 จากการกรอกหมายเลขเที่ยวบินครบทุกรูปแบบเที่ยวบินแล้วจะทำให้ทราบได้ว่าหมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน O1 นี้เริ่มบินจากสนามบินดอนเมืองไปยังสนามบินอุดรธานี (DMK-UTH) ที่ช่อง Sector (1) ดังรูปที่ 1.25 และบินกลับมาที่สนามบินดอนเมือง (UTH- DMK) ที่ช่อง Sector (2) ดังรูปที่ 1.26 ต่อด้วยเที่ยวบินจากสนามบินดอนเมืองไปยังสนามบินเชียงใหม่ (DMK-CNX) ที่ช่อง Sector (3) ดังรูปที่ 1.27 และบินกลับมาที่สนามบินดอนเมือง (CNX-DMK) ที่ช่อง Sector (4) ดังรูปที่ 1.28 จำนวนชั่วโมงบินและ

จำนวนระยะทางการบินของแต่ละเที่ยวบินนั้นสามารถนำมารวมกันทำให้ทราบค่าผลรวมของการปฏิบัติงานรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O1 นี้ได้

Code Type	Code	Description (1)	Description (2)	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.)	Flight No. (1)	Sector (1)	Block Hours (1)	Nautical Miles (1)
On-duty	O1	9200/9201	8306/8307	4:50	12:20	7:30	9200	DMK-UTH	1:05	300
On-duty	O2	7808/7809	8312/8313	8:15	16:00	7:45	7808	DMK-NST	1:10	376
On-duty	O3	8400/8401	7104/7105	5:30	13:10	7:40	8400	DMK-PHS	0:50	195
On-duty	O4	7208/7209	7502/7503	5:10	13:10	8:00	7208	DMK-URT	1:10	321
On-duty	O5	7102/7103	7910/7911	5:00	14:00	9:00	7102	DMK-HDY	1:25	451
On-duty	O6	3210/3211	9210/9211	6:35	15:25	8:50	3210	DMK-SGN	1:30	443
On-duty	O7	8714/8715	9814/9815	6:30	14:55	8:25	8714	DMK-CEI	1:15	385
On-duty	O8	7400/7401	7406/7407	6:20	13:40	7:20	7400	DMK-TST	1:20	434
On-duty	O9	8302/8303	4234/4235	6:00	14:15	8:15	8302	DMK-CNX	1:10	319
On-duty	O10	7804/7805	7210/7211	5:00	12:40	7:40	7804	DMK-NST	1:10	376

รูปที่ 1.25 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 1

Code Type	Code	Description (1)	Description (2)	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.)	Flight No. (2)	Sector (2)	Block Hours (2)	Nautical Miles (2)
On-duty	O1	9200/9201	8306/8307	4:50	12:20	7:30	9201	UTH-DMK	1:00	259
On-duty	O2	7808/7809	8312/8313	8:15	16:00	7:45	7809	NST-DMK	1:10	406
On-duty	O3	8400/8401	7104/7105	5:30	13:10	7:40	8401	PHS-DMK	0:50	189
On-duty	O4	7208/7209	7502/7503	5:10	13:10	8:00	7209	URT-DMK	1:10	334
On-duty	O5	7102/7103	7910/7911	5:00	14:00	9:00	7103	HDY-DMK	1:25	460
On-duty	O6	3210/3211	9210/9211	6:35	15:25	8:50	3211	SGN-DMK	1:30	442
On-duty	O7	8714/8715	9814/9815	6:30	14:55	8:25	8715	CEI-DMK	1:15	385
On-duty	O8	7400/7401	7406/7407	6:20	13:40	7:20	7401	TST-DMK	1:20	440
On-duty	O9	8302/8303	4234/4235	6:00	14:15	8:15	8303	CNX-DMK	1:05	317
On-duty	O10	7804/7805	7210/7211	5:00	12:40	7:40	7805	NST-DMK	1:10	406

รูปที่ 1.26 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 2

Code Type	Code	Description (1)	Description (2)	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.)	Flight No. (3)	Sector (3)	Block Hours (3)	Nautical Miles (3)
On-duty	O1	9200/9201	8306/8307	4:50	12:20	7:30	8306	DMK-CNX	1:10	319
On-duty	O2	7808/7809	8312/8313	8:15	16:00	7:45	8312	DMK-CNX	1:10	319
On-duty	O3	8400/8401	7104/7105	5:30	13:10	7:40	7104	DMK-HDY	1:25	451
On-duty	O4	7208/7209	7502/7503	5:10	13:10	8:00	7502	DMK-HKT	1:20	432
On-duty	O5	7102/7103	7910/7911	5:00	14:00	9:00	7910	DMK-KBV	1:20	410
On-duty	O6	3210/3211	9210/9211	6:35	15:25	8:50	9210	DMK-UTH	1:05	300
On-duty	O7	8714/8715	9814/9815	6:30	14:55	8:25	9814	DMK-KKC	0:55	280
On-duty	O8	7400/7401	7406/7407	6:20	13:40	7:20	7406	DMK-TST	1:20	434
On-duty	O9	8302/8303	4234/4235	6:00	14:15	8:15	4234	DMK-RGN	1:15	393
On-duty	O10	7804/7805	7210/7211	5:00	12:40	7:40	7210	DMK-URT	1:10	321

รูปที่ 1.27 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 3

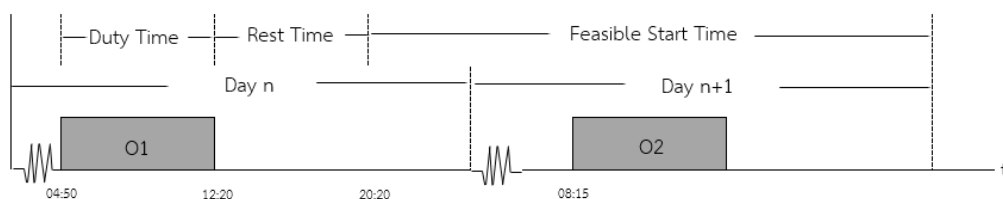
Code Type	Code	Description (1)	Description (2)	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.)	Flight No. (4)	Sector (4)	Block Hours (4)	Nautical Miles (4)
On-duty	O1	9200/9201	8306/8307	4:50	12:20	7:30	8307	CNX-DMK	1:05	317
On-duty	O2	7808/7809	8312/8313	8:15	16:00	7:45	8313	CNX-DMK	1:05	317
On-duty	O3	8400/8401	7104/7105	5:30	13:10	7:40	7105	HDY-DMK	1:25	460
On-duty	O4	7208/7209	7502/7503	5:10	13:10	8:00	7503	HKT-DMK	1:20	422
On-duty	O5	7102/7103	7910/7911	5:00	14:00	9:00	7911	KBV-DMK	1:20	397
On-duty	O6	3210/3211	9210/9211	6:35	15:25	8:50	9211	UTH-DMK	1:00	259
On-duty	O7	8714/8715	9814/9815	6:30	14:55	8:25	9815	KKC-DMK	0:55	220
On-duty	O8	7400/7401	7406/7407	6:20	13:40	7:20	7407	TST-DMK	1:20	440
On-duty	O9	8302/8303	4234/4235	6:00	14:15	8:15	4235	RGN-DMK	1:15	378
On-duty	O10	7804/7805	7210/7211	5:00	12:40	7:40	7211	URT-DMK	1:10	334

รูปที่ 1.28 ตารางหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินสำหรับหมายเลขเที่ยวบินที่ 4

2. การจัดทำตารางตรวจสอบเวลาพักผ่อน การเริ่มต้นจัดสรรนักบินให้กับรูปแบบเที่ยวบินที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นเริ่มจากการนำเวลาเริ่มต้นปฏิบัติหน้าที่ (Duty Start Time) มาคำนวณเวลาพักผ่อนระหว่างรูปแบบเที่ยวบินที่กำลังพิจารณาและรูปแบบเที่ยวบินในวันที่ผ่านมาของนักบินแต่ละคน ซึ่งจะทำให้ทราบได้ว่านักบินคนใดบ้างที่สามารถปฏิบัติหน้าที่ให้กับรูปแบบเที่ยวบินที่กำลังพิจารณานี้ได้ การจัดสรรนักบินนั้นจะมองย้อนกลับไปวันที่ผ่านมาว่าปฏิบัติหน้าที่ที่รูปแบบเที่ยวบินใดแล้วจะเริ่มปฏิบัติหน้าที่รูปแบบเที่ยวบินที่กำลังพิจารณาอยู่ได้หรือไม่ แต่การทำตารางตรวจสอบเวลาพักผ่อนจะคำนวณเวลาพักผ่อนของแต่ละรูปแบบเที่ยวบินโดยมองไปข้างหน้าว่าจะสามารถเริ่มปฏิบัติหน้าที่ในเวลาใดเป็นต้นไปแล้วรูปแบบเที่ยวบินใดบ้างที่เป็นไปได้ การทำตารางนี้จะทำให้ทราบ

ว่ามีรูปแบบเที่ยวบินใดที่ทำการจัดตารางใดเมื่อนักบินคนใดมีรูปแบบเที่ยวบินอยู่ในรายการที่เป็นไปได้ของตารางตรวจสอบเวลาพักผ่อนพนักงานวางแผนก็จะสามารถเลือกนักบินคนนั้น ๆ จัดสรรให้กับรูปแบบเที่ยวบินที่กำลังพิจารณาอยู่นี้ได้โดยมีจำนวนชั่วโมงของเวลาพักผ่อนนั้นตรงไปตามข้อจำกัดทุกประการ ดังนั้นจะทำการยกตัวอย่างของการคำนวณที่มีรูปแบบเที่ยวบินที่เป็นไปได้และเป็นไปไม่ได้เพื่อให้มีความเข้าใจของการพิจารณาเวลาพักผ่อนที่เกิดจากการปฏิบัติหน้าที่ระหว่างรูปแบบเที่ยวบิน

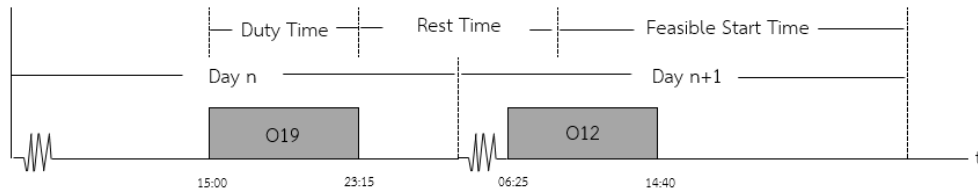
กรณีที่พิจารณารูปแบบเที่ยวบินที่เป็นไปได้จะเป็นได้ในกรณีที่มียุทธศาสตร์เวลาพักผ่อนเพียงพอในการทำตารางตรวจสอบเวลาพักผ่อนนี้จึงยกตัวอย่างของรูปแบบเที่ยวบินที่มีเวลาเริ่มต้นของรูปแบบเที่ยวบินที่เป็นไปได้นั้นอยู่ในวันเดียวกันกับวันที่พิจารณา แต่ในทางปฏิบัติงานจริงจะจัดสรรนักบิน 1 รูปแบบเที่ยวบินต่อ 1 วัน จึงไม่สามารถเลือกมากกว่า 1 รูปแบบเที่ยวบินต่อวันได้ แต่การที่รูปแบบเที่ยวบินมีเวลาพักผ่อนเพียงพอที่จะเริ่มในวันถัดไปเวลาใดก็ได้ก็นั้นจะทำให้มีความเป็นไปได้ทุกรูปแบบเที่ยวบินที่จะเริ่มปฏิบัติหน้าที่ซึ่งทำให้พนักงานวางแผนสามารถเลือกรูปแบบเที่ยวบินถัดไปเป็นรูปแบบเที่ยวบินใดก็ได้ก็จะไม่ละเมิดข้อจำกัดเรื่องเวลาพักผ่อนนี้ ดังรูปที่ 1.29 แสดงตัวอย่างรูปแบบเที่ยวบินที่เป็นไปได้ของรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O1 มีเวลาเริ่มปฏิบัติหน้าที่เวลา 04.05 น. และสิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่ที่เวลา 12.30 น. โดยมีจำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่รวมเท่ากับ 7.30 ชั่วโมง การพิจารณาเวลาพักผ่อนตามข้อจำกัด ดังตารางที่ 1.1 คือนักบินที่ทำการปฏิบัติงานรูปแบบเที่ยวบิน O1 นี้เป็นเวลาอย่างน้อยกว่า 8 ชั่วโมงจะต้องพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมงจึงจะทำการปฏิบัติหน้าที่ในครั้งถัดไปได้ แสดงว่านักบินที่บินรูปแบบเที่ยวบินนี้สิ้นสุดงานที่เวลา 12.20 น. จะสามารถเริ่มงานได้ที่เวลา 20.20 น. เป็นต้นไป พบว่าการจะเริ่มงานในวันถัดไปที่เวลาใดก็ได้จะไม่เกิดความผิดพลาดในการจัดตาราง



รูปที่ 1.29 รูปแบบเที่ยวบินที่เริ่มงานในช่วงเวลาที่เป็นไปได้

กรณีที่พิจารณารูปแบบเที่ยวบินที่พบว่าเป็นไปไม่ได้เนื่องจากรูปแบบเที่ยวบินมีเวลาพักผ่อนไม่เพียงพอในการทำตารางตรวจสอบเวลาพักผ่อนนี้จึงยกตัวอย่างของรูปแบบเที่ยวบินมีจำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่น้อยกว่า 8 ชั่วโมงหรือเกิน 8 ชั่วโมงแต่ไม่เกิน 10 ชั่วโมง เช่น รูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O19 เริ่มปฏิบัติหน้าที่เวลา 15.00 น. และสิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่ที่เวลา 23.15 น. โดยมีจำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่รวมเท่ากับ 8.15 ชั่วโมง เมื่อทำการพิจารณาเวลาพักผ่อนตามข้อจำกัด ดังตารางที่ 1.1 คือนักบินที่ทำการปฏิบัติงานรูปแบบเที่ยวบิน O19 นี้มีชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่เกิน 8 ชั่วโมงแต่ไม่เกิน 10 ชั่วโมง จะต้องพักผ่อนอย่างน้อย 10 ชั่วโมงจึงจะทำการบินในครั้งถัดไปได้ แสดงว่านักบินที่บิน

รูปแบบเที่ยวบินนี้สิ้นสุดงานที่เวลา 23.15 น. จะสามารถเริ่มงานได้ที่เวลา 09.15 น. ของอีกวันถัดไปได้ พนักงานวางแผนจะต้องระมัดระวังรูปแบบเที่ยวบินถัดไปที่เริ่มบินในช่วงเช้าที่จะมาต่อจากรูปแบบเที่ยวบิน O19 ที่พิจารณาอยู่นี้ว่าจะต้องหลังจาก 09.15 น. เป็นต้นไป เพราะถ้าจัดให้นักบินมาเริ่มบินที่เวลา 06.25 น. ดังตัวอย่างตามรูปที่ 1.30 ที่จัดให้มาปฏิบัติหน้าที่ในรูปแบบเที่ยวบิน O12 จะทำให้นักบินท่านนี้มีเวลาพักผ่อนเพียง 7.10 ชั่วโมงซึ่งไม่เพียงพอซึ่งเป็นการการละเมิดข้อกำหนดการพักผ่อน



รูปที่ 1.30 รูปแบบเที่ยวบินที่เริ่มงานในช่วงเวลาที่เป็นไปไม่ได้

การที่พิจารณาเวลาพักผ่อนนั้นจะมาจากเวลารวมของการปฏิบัติหน้าที่ในรูปแบบเที่ยวบินใดๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งถ้ามีระยะเวลาปฏิบัติหน้าที่ต่อเนื่องในรูปแบบเที่ยวบินแตกต่างกันก็จะมีเวลาพักผ่อนที่แตกต่างกันไปที่ได้กำหนดข้อกำหนดไว้ตามตารางที่ 1.1 โดยเวลาปฏิบัติหน้าที่ต่อเนื่องยิ่งมากหรือยาวนานก็จะต้องการเวลาพักผ่อนที่มากขึ้นไปได้ด้วย นอกจากนี้จะพิจารณาเวลาสิ้นสุดและเวลาเริ่มต้นของแต่ละรูปแบบเที่ยวบินใด ๆ ที่แตกต่างกัน ช่วงระหว่างรูปแบบเที่ยวบินนั้นก็เปรียบเหมือนเวลาพักผ่อนก่อนที่จะเริ่มปฏิบัติหน้าที่ในรูปแบบเที่ยวบินถัดไป การที่ช่วงห่างระหว่างรูปแบบเที่ยวบินเพียงพอตามข้อกำหนดก็ทำให้รูปแบบเที่ยวบินมีความเป็นไปได้ที่จะจัดให้ปฏิบัติหน้าที่ต่อเนื่องกันได้นั่นเอง เมื่อทำความเข้าใจการคำนวณเวลาพักผ่อนแล้วพนักงานวางแผนจะบันทึกเวลาพักผ่อนที่ควรจะต้องมีของแต่ละหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินโดยพิจารณาตามตารางที่ 1.1 เช่น หมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน O1 มีจำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่รวมเท่ากับ 7.30 ชั่วโมงจะต้องพักผ่อนอย่างน้อย 8.00 ชั่วโมง จึงกรอก 8:00 ในทุกช่องของแถวรูปแบบเที่ยวบิน O1 ดังรูปที่ 1.31 และคำนวณเวลาพักผ่อนนี้ในทุก ๆ รูปแบบเที่ยวบินแล้วกรอกจำนวนชั่วโมงที่ต้องการพักผ่อนลงตารางเวลาพักผ่อนนี้ได้เพื่อเตรียมไว้สำหรับการคำนวณ

Day	Duty (Start)		Duty (End)										
	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.) / Code	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10
O1	4:50	12:20	7:30	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
O2	8:15	16:00	7:45	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
O3	5:30	13:10	7:40	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
O4	5:10	13:10	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
O5	5:00	14:00	9:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
O6	6:35	15:25	8:50	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
O7	6:30	14:55	8:25	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
O8	6:20	13:40	7:20	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
O9	6:00	14:15	8:15	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
O10	5:00	12:40	7:40	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00

รูปที่ 1.31 เวลาพักผ่อนที่ต้องการของแต่ละรูปแบบเที่ยวบิน

เมื่อระบุเวลาพักผ่อนที่ต้องการของแต่ละรูปแบบเที่ยวบินเตรียมไว้สำหรับการพิจารณา เวลาเริ่มต้นของแต่ละหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินถัดไปว่าเวลานั้นสามารถให้จัดสรรเริ่มปฏิบัติงานต่อไปได้หรือไม่ เช่น รูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O1 จะเริ่มงานในวันถัดไปที่เวลาใดก็ตามการ บันทึกลงเป็นสีเขียวเครื่องหมายถูก ดังรูปที่ 1.32 และหากเป็นรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O19 จะสามารถเริ่มงานได้ที่เวลา 09.15 น. ของอีกวันถัดไปเวลาที่เริ่มงานก่อนเวลานี้ก็เป็นการบันทึกสีแดงเครื่องหมายกากบาท ดังรูปที่ 1.33 จากรูปนี้จะทราบได้ว่าไม่สามารถเริ่มบินรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O11, O12, O13, และ O14 ในวันถัดไปได้

Day n-1		Day n		Duty (Start)	4:50	8:15	5:30	5:10	5:00	6:35	6:30	6:20	6:00	5:00
Day n-1		Day n		Duty (End)	12:20	16:00	13:10	13:10	14:00	15:25	14:55	13:40	14:15	12:40
Day n-1		Day n		Duty Hours (Hrs.)	7:30	7:45	7:40	8:00	9:00	8:50	8:25	7:20	8:15	7:40
Code	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.) / Code	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	
O1	4:50	12:20	7:30	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O2	8:15	16:00	7:45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O3	5:30	13:10	7:40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O4	5:10	13:10	8:00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O5	5:00	14:00	9:00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O6	6:35	15:25	8:50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O7	6:30	14:55	8:25	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O8	6:20	13:40	7:20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O9	6:00	14:15	8:15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O10	5:00	12:40	7:40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

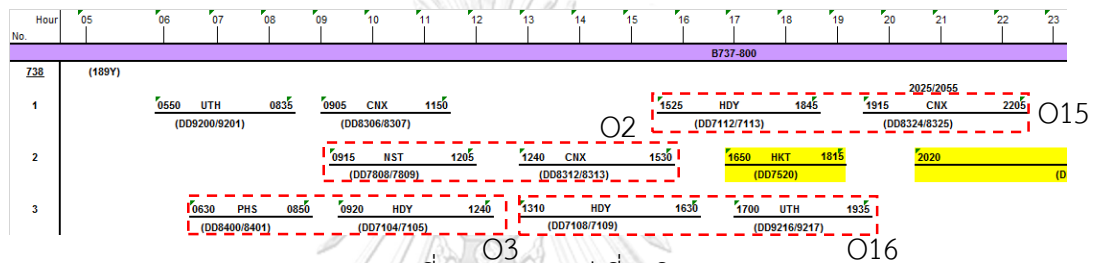
รูปที่ 1.32 รูปแบบเที่ยวบินที่มีเวลาพักผ่อนเพียงพอ

Day n-1		Day n		Duty (Start)	5:20	6:25	7:05	5:10	14:25	12:10	12:10	13:00	15:00	12:40
Day n-1		Day n		Duty (End)	13:40	14:40	15:10	11:30	22:35	20:05	20:10	20:30	23:15	19:50
Day n-1		Day n		Duty Hours (Hrs.)	8:20	8:15	8:05	6:20	8:10	7:55	8:00	7:30	8:15	7:10
Code	Duty (Start)	Duty (End)	Duty Hours (Hrs.) / Code	O11	O12	O13	O14	O15	O16	O17	O18	O19	O20	
O11	5:20	13:40	8:20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O12	6:25	14:40	8:15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O13	7:05	15:10	8:05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O14	5:10	11:30	6:20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O15	14:25	22:35	8:10	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O16	12:10	20:05	7:55	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O17	12:10	20:10	8:00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O18	13:00	20:30	7:30	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O19	15:00	23:15	8:15	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O20	12:40	19:50	7:10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

รูปที่ 1.33 รูปแบบเที่ยวบินที่มีเวลาพักผ่อนไม่เพียงพอ

3. การเลือกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน พนักงานวางแผนจัดตารางปฏิบัติงานนักบินทำการเลือกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินมาพิจารณาในการจัดสรรค่านักบินจากตารางคู่เที่ยวบิน (Flight Rotation) ที่ทางพนักงานวางแผนคู่เที่ยวบินได้จัดคู่เที่ยวบินสำหรับเครื่องบินทุกลำในแต่ละวัน ดังนั้น พนักงานวางแผนตารางนี้ได้นำคู่เที่ยวบินมาทำการจัดเป็นในลักษณะรูปแบบเที่ยวบิน แล้วจึงควรเลือกรูปแบบเที่ยวบินมาทำการจัดตาราง โดยเลือกให้ครบทุกรูปแบบเที่ยวบินในแต่ละวัน แล้วค่อยพิจารณาของวันถัดไปจนครบเดือนที่ทำการจัดตาราง ในวันที่ทำการพิจารณาการจัดตารางนี้จะเลือกรูปแบบเที่ยวบินใดมาพิจารณาก่อนหลังก็ได้ ซึ่งในปัจจุบันได้เลือกพิจารณาเรียงลำดับหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินแรกมาจัดเพื่อไม่ให้สับสนในการจัดตารางที่เกี่ยวกับการ

คำนวณของข้อจำกัดต่าง ๆ โดยปกติแล้วรูปแบบเที่ยวบินแต่ละหมายเลขจะไม่ได้ทำการเปิดขาย หรือมีการบินในทุกวันเสมอไป เช่น บางหมายเลขก็ทำการบินเพียงสัปดาห์แรกของเดือน บางหมายเลขก็ทำการบินทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์ บางหมายเลขก็ทำการบินทุกวัน เป็นต้น พนักงานวางแผนตารางฯ จึงต้องระวังในการเลือกรูปแบบเที่ยวบินที่มีเท่านั้น เพราะเป็นคู่เที่ยวบินที่ได้ทำการเปิดขายไว้จึงต้องจัดให้ตรงตามตารางคู่เที่ยวบิน เช่น วันที่ 31 ที่จะทำการพิจารณาเพื่อจัดตารางที่ต้องทำการบินนั้นประกอบด้วยรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, O10, O11, O12, O13, O14, O15, O16, O17, O18, O19, O20, O21, O22, O23, O24, O25, O26, O27, O28, O30, O31, O33, O36, O38, O41 และ O53 ดังรูปที่ 1.34 เป็นตัวอย่างบางหมายเลข



รูปที่ 1.34 ตารางคู่เที่ยวบิน

นอกจากเที่ยวบินที่เปิดขายแล้วจะมีเที่ยวบินที่บินเพื่องานจุดประสงค์อื่น ๆ เที่ยวบินสำหรับการอบรมทางภาคปฏิบัติ การประชุม การตรวจสอบสุขภาพ เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้เป็นกิจกรรมที่ไม่ได้นับเป็นชั่วโมงบินแต่จะคิดเป็นชั่วโมงการปฏิบัติหน้าที่เท่านั้น โดยตัวอย่างของวันที่ 31 นี้มีรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O1, O9, O49 และ O50 จะถูกจัดเพื่อเส้นทางจุดประสงค์อื่น โดยได้กำหนดไว้ก่อนทำการจัดตารางของงานวิจัยนี้ เป็นการเดินทางไปตั้งต้นเพื่อเริ่มบินของคู่เที่ยวบินอื่นต่อไปโดยเดินทางไปในฐานะผู้โดยสารกลุ่มรูปแบบเที่ยวบินที่มีจุดประสงค์การบินอื่น ๆ นั้นการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของงานวิจัยนี้จะถูกกำหนดให้เป็นกิจกรรมอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวกับการจัดสรรคู่นักบินที่ทำการศึกษา จึงถูกกำหนดให้เป็นกิจกรรม โดยจะถูกกรอกลงในตารางเพื่อบันทึก และยังมีกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ V3 คือการบินเพื่อการสำรวจ (Flight Observation) ในช่วงเวลาหนึ่งของวัน การกำหนดหมายเลขนี้จะเป็กิจกรรมใด ๆ ที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นกิจกรรมที่ถูกกำหนดมาจากพนักงานวางแผนตารางฝึกอบรม เมื่อทราบหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินและหมายเลขกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางนี้แล้ว ให้กรอกหมายเลขกิจกรรมลงในตารางปฏิบัติงานนี้ก่อนเริ่มทำการจัดสรรนักบินของรูปแบบเที่ยวบินที่จะทำการบิน ดังรูปที่ 1.35 เพราะกิจกรรมเหล่านี้จะกำหนดรายชื่อนักบินไว้อยู่แล้ว การกรอกหมายเลขกิจกรรมก่อนเป็นการเสี่ยงไม่ให้นักวางแผนจัดตารางฯ ทำการจัดสรรซ้ำรายชื่อ ไม่เช่นนั้นจะเกิดปัญหาการหาคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution)

1-ก.ค.-16					Week 4						
On-duty					จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.
ID	POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	Total Nautical Miles	25	26	27	28	29	30	31
1	Captain 738	FCIP	80:40	24,218	O2			O4			O9
4	Captain 738	FCIP	76:55	23,087	O8	O5			O5	O9	O1
42	Captain 738	FCS	48:10	14,275		O1		O3	O6		V3
61	Co-Pilot 738	FCT	70:45	21,222	O2		O2		O2	O49	O50
69	Co-Pilot 738	FCT	74:05	22,236		O10	O2	O2		O50	O49
81	Co-Pilot 738	FCT	43:25	13,037		O3			O4	O3	O9
173	Co-Pilot 738	FCJ	42:15	12,703	O8				O1		O9

รูปที่ 1.35 นักบินที่มีกิจกรรมอื่น ๆ

เมื่อบันทึกหมายเลขกิจกรรมเสร็จ พนักงานวางแผนการจัดตารางทำการเลือกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินโดยเริ่มที่หมายเลข O2 จากรูปที่ 1.12 จะทำให้ทราบข้อมูลว่าหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินนี้ประกอบไปด้วยหมายเลขเที่ยวบิน 4 เที่ยวบิน เที่ยวบินที่ 1 คือ DMK-NST เที่ยวบินที่ 2 คือ NST-DMK เที่ยวบินที่ 3 คือ DMK-CNX และเที่ยวบินที่ 4 คือ CNX-DMK หากนักบินได้ถูกจัดสรรหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินนี้จะเริ่มเวลาปฏิบัติหน้าที่เวลา 8 นาฬิกา 15 นาทีและสิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่การบินที่เวลา 16 นาฬิกาของวันที่ถูกจัดสรรให้ทำการบิน โดยมีจำนวนชั่วโมงปฏิบัติหน้าที่การบิน 7 ชั่วโมง 45 นาที ดังรายละเอียดที่ระบุไว้ ดังรูปที่ 1.25, 1.26, 1.27 และ 1.28 จากการบันทึกหมายเลขกิจกรรมไว้แล้วนั้นทำให้ทราบรายชื่อนักบินที่จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในการจัดสรรนักบินเพื่อการบินต่อไปของวันที่พิจารณา ซึ่งจะถูกนำไปพิจารณาให้ทำการบินในวันถัดไปได้หากไม่ติดกิจกรรมใด ๆ อีก

4. ตรวจสอบจำนวนชั่วโมงบินสะสม การอัปเดตชั่วโมงบินเป็นประวัติไว้เมื่อทำการจัดสรรนักบินสำหรับรูปแบบเที่ยวบินที่เลือกพิจารณาอยู่นั้นต้องดูว่าจำนวนสะสมของ 6 วันและ 27 วันทำงานที่ผ่านมานั้นมีจำนวนชั่วโมงสะสมเกินกำหนด 34 ชั่วโมงและ 110 ชั่วโมงตามลำดับหรือไม่ หากจำนวนชั่วโมงสะสมของวันทำงานที่ผ่านมามีเกินกำหนดนี้แล้ว นักบินคนนั้นก็ไม่สามารถถูกเลือกมาจัดตารางในวันที่พิจารณาอยู่นี้ได้ ให้ทำการเลือกนักบินท่านอื่นโดยเลือกนักบินที่มีจำนวนชั่วโมงสะสมเพียงพอ จากข้อที่ 3 การเลือกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินมาแล้ว คือ หมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน O2 มีจำนวนชั่วโมงบินเท่ากับ 4 ชั่วโมง 20 นาที พนักงานวางแผนจะทำการคำนวณจำนวนชั่วโมงบินสะสมของแต่ละคนรวมสำหรับ 6 วันที่ผ่านมารวมกับจำนวนชั่วโมงบินของรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O2 รวมแล้วจะต้องไม่เกินกำหนดที่ 34 ชั่วโมง และจำนวนชั่วโมงบินสะสมที่ผ่านมา 27 วันรวมกับชั่วโมงบินของรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O2 ไม่เกิน 110 ชั่วโมงของนักบินทุกคนไว้เพื่อพิจารณาในการจัดสรรนักบินที่เป็นไปได้ของรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O2 จากรูปที่ 1.35 มีนักบินคนที่ 1, 4, 42, 61, 69, 81 และ 173 มีกิจกรรมอื่น ๆ แล้วจึงไม่นำมาพิจารณาชั่วโมงบินสะสมนี้ ดังรูปที่ 1.36 ปรากฏกรายชื่อนักบินคนที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นตัวอย่างของนักบินที่ไม่มีกิจกรรมใด ๆ ในวันที่ 31 จึงมีช่องว่างให้กรอกรูปแบบเที่ยวบินเพื่อจัดสรรให้ทำการบินได้ การที่พิจารณาการจัดสรรนักบินของ

วันที่ 31 จะคำนึงถึงข้อจำกัดชั่วโมงบินสะสมของ 6 วันที่ผ่านมา คือ วันที่ 30, 29, 28, 27, 26 และ 25 ผลรวมชั่วโมงบินนี้จะต้องมีการสะสมไม่เกิน 29 ชั่วโมง 40 นาที โดยคิดจากจำนวนชั่วโมงบินตามข้อบังคับ 34 ชั่วโมงหักลบกับจำนวนชั่วโมงบินของรูปแบบเที่ยวบิน O2 คือ 4 ชั่วโมง 20 นาที (34.00 - 04.20 = 29. 40 ชั่วโมง) สำหรับชั่วโมงบินสะสม 28 วันไม่เกิน 110 ชั่วโมงสามารถคิดได้ในวิธีเดียวกัน

No.	ID	POSITION	PILOT RANK	25	26	27	28	29	30	31
2	10094	Captain 738	FCIP	4:20	4:30	4:35				
3	10106	Captain 738	FCIP					5:20	4:20	
5	10110	Captain 738	FCIP				4:35	4:20	4:30	
6	10111	Captain 738	FCIP		4:40			4:35		
7	10572	Captain 738	FCIP			5:30	4:20			
8	10067	Captain 738	FCIP			4:20				
9	13107	Captain 738	FCS	4:20	4:55			4:30		
10	10107	Captain 738	FCS	3:25	1:20	4:20				

รูปที่ 1.36 ตรวจสอบจำนวนชั่วโมงบินสะสม

จากการคำนวณชั่วโมงบินสะสมนี้จะได้อาชีพนักบินที่สามารถมาพิจารณาต่อไปได้ ซึ่งนักบินเหล่านี้จะมีชั่วโมงบินเหลือเพียงพอสำหรับการบินรูปแบบเที่ยวบินที่ทำการพิจารณาอยู่ หากนักบินคนใดมีชั่วโมงบินสะสมของข้อจำกัด 7 วันและ 28 วันต่อเนื่องกันนั้นเกินข้อบังคับ จะถูกตัดออกจากการพิจารณาของวันที่ 31 ที่ทำการพิจารณา

4. ตรวจสอบเวลาพักผ่อน เมื่อทราบรายชื่อนักบินที่มีจำนวนชั่วโมงบินที่สามารถทำการบินในรูปแบบเที่ยวบินที่พิจารณาต้องทำการตรวจสอบเวลาพักผ่อนของนักบินจากหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินของวันทำงานเมื่อวานว่าได้ทำการบินสิ้นสุดเวลาที่เท่าไร โดยตรวจสอบจากข้อมูลที่ถูกกำหนด ดังรูปที่ 1.32 หรือ 1.33 ซึ่งเป็นตารางเดียวกันที่มีจำนวนรูปแบบเที่ยวบินทั้งหมด หากนักบินท่านนั้นบินในหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินที่มีเวลาพักผ่อนไม่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดเวลาพักผ่อนนี้จะถูกตัดรายชื่อของการพิจารณาปัญหา ถ้ามีนักบินมีจำนวนเวลาพักผ่อนอยู่ภายใต้ข้อจำกัดหรือนักบินไม่ได้ทำการบินก็สามารถนำมาพิจารณาต่อไปได้

5. จัดสรรนักบินตำแหน่งกัปตัน จากรูปที่ 1.37 ได้แสดงถึงนักบินตำแหน่งกัปตันเป็นตัวอย่างว่ามีเวลาเพียงพอที่จะถูกจัดสรรให้ทำการบินได้ สำหรับสายการบินกรณีศึกษานี้ได้ทำการเลือกนักบินคนที่ 10 โดยดูตำแหน่งได้ที่ช่อง PILOT RANK พบว่าเป็นตำแหน่งกัปตันระดับอาวุโส (FCS) จึงเลือกมาทำการบินในรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O2 ซึ่งได้มีตารางคำนวณเวลาพักผ่อนดังรูปที่ 1.31 พนักงานวางแผนสามารถพิจารณานักบินที่มีเวลาพักผ่อนเพียงพอไปจัดสรรได้ ซึ่งนักบินคนที่ 10 นี้ที่ไม่ได้ทำการปฏิบัติหน้าที่ใด ๆ ของเมื่อวานจึงสามารถเลือกมาทำการบินได้ทันที ดังรูปที่ 1.36 แต่เนื่องจากนักบินคนนี้เป็นตำแหน่งกัปตันหรือนักบินที่ทำการบินโดยนั่งฝั่งซ้าย (Left Hand Seat) แล้วยังไม่ได้เลือกนักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วยที่ทำการบินโดยนั่งฝั่งขวา (Right Hand Seat) ทำการกรอกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน O2

ของกัปตันคนใดก็ได้ในช่องว่างที่ไม่ได้บินรูปแบบเที่ยวบินที่ละเมิดข้อจำกัดและมีจำนวนชั่วโมงบินสะสมอยู่น้อย ๆ พิมพ์ O2 ในช่องตำแหน่ง FCS คนที่ 10 ก่อนเพราะจำนวนชั่วโมงบินมีไม่มากดูจากช่อง Total Block Hours และระดับงานไม่สูงมากเพราะจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายจึงทำการเลือก แต่ด้วยการกรอกในแต่ละหมายเลขจะต้องมี 2 คนสำหรับการบินแต่ละครั้งเพราะกำหนดนักบิน 2 คนไว้ก่อนแล้ว หมายเลข O2 จึงปรากฏเป็นสีเหลือง ดังรูปที่ 1.37 ซึ่งสายการบินกรณีศึกษาให้แสดงไว้เพื่อจะได้ทราบว่าจะไม่ครบคือนักบินตามจำนวนนักบินที่ต้องการ เราจึงทำการพิจารณานักบินที่นั่งฝั่งขวาต่อไป

1-ก.ค.-16				Week 4							
On-duty				จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.	W
ID	POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	25	26	27	28	29	30	31	
1	Captain 738	FCIP	80:40	O2			O4				O9
2	Captain 738	FCIP	79:20	O7	O3	O2					
3	Captain 738	FCIP	84:05					O8	O1		
4	Captain 738	FCIP	76:55	O8	O5			O5	O9	O1	
5	Captain 738	FCIP	56:25	1	SIM41		O2	O1	O3		
6	Captain 738	FCIP	81:15		O10		SIM31	O2	SIM21		
7	Captain 738	FCIP	78:35			O5	O7				
8	Captain 738	FCIP	81:35			O7					
9	Captain 738	FCS	86:00	O1	O22			O53			
10	Captain 738	FCS	83:40	O38	O39	O1				O2	
11	Captain 738	FCIP	85:05	O9		T42	T42	O4	O29		
12	Captain 738	FCS	85:15	O3		O3	O12		O26		

รูปที่ 1.37 จัดตารางปฏิบัติงานนักบินตำแหน่งกัปตัน

6. ตรวจสอบตำแหน่งคือนักบิน จากที่ได้ทำการพิจารณารายชื่อนักบินที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัด ชั่วโมงบินสะสมและเวลาพัก ยังต้องพิจารณาคือนักบินที่เป็นไปได้เพราะนักบินมีระดับงานที่แตกต่างกัน เมื่อพนักงานวางแผนได้จัดสรรนักบินกัปตันตำแหน่งใดแล้วจะทำให้ทราบได้ว่าจะมีนักบินผู้ช่วยระดับใดบ้างที่สามารถทำการบินคู่ไปด้วยกันในรูปแบบเที่ยวบินเดียวกันได้ โดยสามารถตรวจสอบได้จากตารางที่ 1.3 จากตัวอย่างได้จัดสรรนักบินกัปตันระดับอาวุโส (FCS) นั้นจะสามารถบินร่วมกับนักบินผู้ช่วยระดับอาวุโส (FOS) หรือ ตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับปฏิบัติการ (FOJ) โดยทั่วไปพนักงานวางแผนจะทำการเลือกนักบินระดับที่ต่ำกว่าก่อนและมีจำนวนชั่วโมงบินสะสมที่น้อย ๆ เพื่อผลกระทบเรื่องค่าใช้จ่ายและภาระงาน แต่ก็ไม่สามารถเลือกพิจารณาทีละคนได้ เนื่องจากจำนวนนักบินที่มีมากและจำนวนเที่ยวบินมีหลากหลาย จึงเลือกสุ่มและอยู่ภายใต้ข้อจำกัด

7. จัดสรรนักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วย ผู้วางแผนสามารถเลือกตำแหน่งและระดับงานที่มีค่าใช้จ่ายน้อย เช่น FOT ที่พิจารณาควรให้อากาศนักบินระดับฝึกหัดได้ทำการบิน แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดเกี่ยวกับนักบินที่เป็นไปได้จำเป็นต้องพิจารณาจากนักบินตำแหน่งกัปตัน จากตัวอย่างของสายการบินกรณีศึกษาได้ทำการเลือกคนที่ 120 เนื่องจากมีจำนวนชั่วโมงบินค่อนข้างน้อยกว่านักบินตำแหน่งเดียวกัน จะเห็นว่าเมื่อกรอก O2 กำหนดให้บินแล้วจะขึ้นสีเขียว ดังรูปที่ 1.38 เพื่อให้ทราบว่าวางแผนไม่ผิดพลาดเรื่องจำนวนนักบิน

1-ก.ค.-16				Week 4						
On-duty				จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.
ID	POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	25	26	27	28	29	30	31
110	Co-Pilot 738	FOS	80:45			O33	O23	O23		
111	Co-Pilot 738	FOS	88:15	O27	O34		O24	O24	O23	
112	Co-Pilot 738	FOS	81:10			O21	O25		O5	
113	Co-Pilot 738	FOS	81:15	O30	SB3	O31		O25	O20	
114	Co-Pilot 738	FOS	90:20	O53		O30	SB3	O31		
115	Co-Pilot 738	FOS	85:35		O24	O22		O30	SB3	
116	Co-Pilot 738	FOS	74:15		O25	O23				
117	Co-Pilot 738	FOS	89:20		O26	O24	O26	O27		
118	Co-Pilot 738	FOS	87:00		O42	O25	O28			
119	Co-Pilot 738	FOS	89:25	O40	O1			O3	O42	
120	Co-Pilot 738	FOJ	90:40	O38	O39		O3	O6		O2
121	Co-Pilot 738	FOJ	86:05	O1	O4	O8		O38	O39	

รูปที่ 1.38 จัดตารางปฏิบัติงานนักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วย

8. ตรวจสอบจำนวนนักบิน เพื่อให้มั่นใจว่าจำนวนนักบินที่ทำการกรอกลงตารางปฏิบัติงาน นักบินนั้นมีจำนวนนักบินครบถ้วน 2 คนต่อเที่ยว ดังรูปที่ 1.39 จะทำการกำหนดนักบินของแต่ละเที่ยวบินไปที่ละคู่พร้อม ๆ กันเพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดเรื่องจำนวนนักบินไม่ครบ ดังรูปที่ 1.40 โดยการดูหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินของแต่ละวันว่ามีจำนวนถูกต้อง ในตัวอย่างนี้ได้จัดครบ 2 คนแล้วจะ ขึ้นหมายเลข 2 ขณะทำการจัดตารางพนักงานวางแผนจะกวาดสายตาดูว่ามีจำนวน 2 คนครบทุกช่อง

1-ก.ค.-16				D1							Week 2									
On-duty				ศ.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.
POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	Total Nautical Miles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7808/7809		8312/8313		2	2	2	2	2	2	2										
3210/3211		9210/9211		2	2	2	2	2	2	2										
3202/3203		/		2	2	2	2	2	2	2										
7108/7109		9216/9217		2	2	2	2	2	2	2										
7814/7815		4238/4239		2	2	2	2	2	2	2										
8406/8407		7216/7217		2	2	2	2	2	2	2										
7506/7507		9820/9821		2	2	2	2	2	2	2										

รูปที่ 1.39 การตรวจสอบการจัดวางจำนวนนักบินที่ครบจำนวน

Start Date 1-ก.ค.-16					Week 2							Week 3							Week 4										
On-duty					ท.	ศ.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.	จ.	อ.	พ.	พฤ.	ศ.	ส.	อา.
NAME-SURNAME	POSITION	PILOT RANK	Total Block Hours	Total Nautical Miles	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
O1	9200/9201		8306/8307		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O2	7808/7809		8312/8313		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O3	8400/8401		7104/7105		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O4	7208/7209		7502/7503		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O5	7102/7103		7910/7911		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O6	3210/3211		9210/9211		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O7	8714/8715		9814/9815		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O8	7800/7801		7806/7807		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O9	8302/8303		4234/4235		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O10	7804/7805		7210/7211		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O11	4230/4231		9514/9515		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O12	9312/9313		7512/7513		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
O13	9402/9403		7504/7505		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

รูปที่ 1.40 การตรวจสอบการจัดวางจำนวนนักบินที่ไม่ครบตามจำนวน

9. ตรวจสอบจำนวนรูปแบบเที่ยวบิน ตรวจสอบจำนวนรูปแบบเที่ยวบินดูว่าจำนวนหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินที่เหลืออยู่ที่ยังไม่ได้ถูกจัดสรรคือนักบินเพื่อรับผิดชอบบินในรอบนั้น ๆ หากพบว่ามีหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินที่ยังไม่ได้ถูกจัดสรรให้นักบินให้ทำการบินก็ให้ทำการเลือกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินนั้นมาพิจารณาในรอบต่อไปที่ขั้นตอนการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินข้อที่ 3 คือ เลือกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบิน ทำเช่นนี้จนครบทุกรูปแบบเที่ยวบินที่มีอยู่จะทำให้ได้คูนักบินที่จะต้องบินในแต่ละวันครบทุกเที่ยวบินจะเป็นการสิ้นสุดการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดความยุ่งยากและระยะเวลาในการจัดตารางงานนักบิน
2. สามารถแก้ปัญหาการจัดสมดุลตารางงานเพื่อปรับภาระงานและค่าจ้างของนักบินเท่าเทียมกัน
3. ปรับปรุงงานโดยใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่ช่วยลดข้อผิดพลาดของการหาคำตอบได้
4. สามารถนำผลงานวิจัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องในอนาคตได้
5. ผลที่ได้จากการแก้ปัญหานี้จะสามารถช่วยเป็นทางเลือกให้ทางสายการบินตัดสินใจจัดตารางในแต่ละเดือนได้ ซึ่งแต่ละเดือนจะมีค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันออกไป เช่น จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งที่เกิดจากนักบินมีการปรับตำแหน่งหรือการลาออก จำนวนเที่ยวบิน จำนวนชั่วโมงของเที่ยวบิน เหล่านี้จะปรับเปลี่ยนไม่คงที่ในแต่ละเดือน ทั้งนี้การที่เราจะเริ่มจัดตารางนั้นจำเป็นต้องหาวิธีการเพื่อให้ทราบว่าจะจัดเที่ยวบินไหนให้นักบินคู่ไหนบ้างที่ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เป็นค่าจ้างชั่วโมงบินนักบินมีค่าน้อยที่สุดและมีภาระงานเท่าเทียมกันโดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดทุกประการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องงานวิจัยฉบับนี้ประกอบไปด้วยทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการการหาค่าเหมาะสมที่สุด การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึมของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการจัดตารางสายการบิน รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือสำหรับงานวิจัย

2.1 หลักการพื้นฐานของการหาค่าเหมาะสมที่สุด

การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาที่กำลังศึกษาภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ ในการพิจารณาหาค่าเหมาะสมที่สุดแบ่งตามวัตถุประสงค์เป็น 2 แบบ คือ ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบวัตถุประสงค์เดียว (Single Objective Optimization Problem) เป็นการพิจารณาเพียงฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียว และปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Optimization Problem หรือ MOP) เป็นการพิจารณา 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือมากกว่านั้นในเวลาเดียวกัน ในการพิจารณาหาค่าเหมาะสมที่สุดแต่ละคำตอบนั้นจะต้องตัดสินใจด้วยการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ประกอบด้วย ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ข้อจำกัด (Constraints) และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Functions) (Carlos A. Coello Coello, Van Veldhuizen, & Lamont, 2002) ดังนี้

2.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ตัวแปรตัดสินใจ คือ ตัวแปรที่ทำให้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนี้มีประสิทธิภาพ จะมีตัวแปรตัดสินใจ 1 ตัวขึ้นไป และขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา โดยมีฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจ ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

หรือเขียนได้เป็น

$$\bar{x} = [x_1 \quad , x_2 \quad , \cdot \quad \cdot \quad ; x_3]^T \quad (2.2)$$

โดยที่ตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรที่วัดค่าเชิงปริมาณและแสดงเป็นตัวแปร x โดยที่ j และเวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ n ตัว ซึ่งฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ฟังก์ชันกำหนด (Deterministic Function) เป็นฟังก์ชันที่มีแนวทางในการหาคำตอบที่กำหนดชัดเจน สามารถนิยามเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ และฟังก์ชันพหุสม (Stochastic Function) เป็นฟังก์ชันที่มีแนวทางในการหาคำตอบที่ไม่สามารถกำหนดได้อย่างชัดเจนแน่นอนหรือไม่สามารถนิยามเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้

2.1.2 ข้อจำกัด (Constraints)

การคัดเลือกตัวแปรตัดสินใจต้องมีความสอดคล้องกับข้อจำกัด (Constraints) เช่น ข้อจำกัดด้านกำลังคน ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะต้องอยู่ในคำตอบที่เป็นไปได้และสามารถยอมรับได้ สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ (Equality Constraints) ดังสมการ (2.3) และอสมการ (Inequality Constraints) ข้อจำกัดได้ ดังสมการที่ (2.4)

$$\text{สมการข้อจำกัด} \quad g_i(\bar{x}) \geq a_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (2.3)$$

$$\text{อสมการข้อจำกัด} \quad h_i(\bar{x}) = b_i, i = 1, 2, \dots, p \quad (2.4)$$

การสร้างเงื่อนไขแบบ Either-or

ถ้า $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$ เป็นจริงหรือ $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$ เป็นจริง หรือทั้ง 2 เงื่อนไขเป็นจริง ซึ่งจะเขียนดังสมการที่ (2.5) และ (2.6)

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq My \quad (2.5)$$

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq M(1 - y) \quad (2.6)$$

$$y \in \{0, 1\}$$

2.1.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Functions)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เป็นตัวกำหนดลักษณะเป้าหมายในการหาค่าเหมาะสมที่สุด ของการหาค่ามากที่สุด (Maximization) หรือน้อยที่สุด (Minimization) เช่น ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เป็นต้น การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์เป็นปัญหาที่ต้องทำการพิจารณาหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์พร้อมกันในการค้นหาคำตอบบนพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) เพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) เพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือมากที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และหาค่ามากที่สุดในบางฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือต่ำที่สุดในบางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยทำการพิจารณาไปพร้อมกัน ดังสมการที่ (2.7)

$$f(\bar{x}) = [f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})]^T \quad (2.7)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น รูปแบบจึงเป็นเวกเตอร์คำตอบ $\bar{x}^* = [\bar{x}_1^*, \bar{x}_2^*, \dots, \bar{x}_n^*]^T$ ภายใต้ m ข้อจำกัดแบบอสมการ ดังสมการที่ (2.8) หรือภายใต้ p ข้อจำกัดแบบสมการที่ (2.9)

$$g_i(\bar{x}) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (2.8)$$

$$h_i(\bar{x}) = 0, i = 1, 2, \dots, p \quad (2.9)$$

2.1.4 กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ประกอบด้วย k วัตถุประสงค์และ n ตัวแปรตัดสินใจ โดยมีรูปแบบปัญหาการหาค่ามากที่สุดหรือการหาค่าน้อยที่สุด ดังสมการที่ (2.10)

$$\text{Minimize | Maximize } \{f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})\} \quad (2.10)$$

รูปแบบการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดในนี้เป็นการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าน้อยที่สุดในการค้นหาคำตอบจะถูกกำหนดจากเวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ ภายใต้ข้อจำกัดที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของคำตอบ ดังสมการที่ (2.11)

$$\text{Minimize}\{f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})\} \quad (2.11)$$

$$\text{ข้อจำกัด } g_i(\bar{x}) \leq 0$$

โดยที่ \bar{x} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

$f_i(\bar{x})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i

$g_i(\bar{x})$ คือ เวกเตอร์ข้อจำกัดที่ j

ถ้าเวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ x ให้คำตอบที่ดีกว่า เวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ y จะได้ $f_i(x) \leq f_i(y)$ สำหรับทุกค่า $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ และ $f_i(x) < f_i(y)$ ในอย่างน้อยหนึ่งค่า $i \in \{1, 2, \dots, k\}$

ในกรณีปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ที่มีกลุ่มคำตอบขัดแย้งกันอยู่ หรือถูกครอบงำเพราะคำตอบหนึ่งต่างก็ชนะอีกคำตอบหนึ่งอย่างละ 1 วัตถุประสงค์ จะเป็นปัญหากับการวิเคราะห์ผลที่อาจจะต้องเพิ่มเกณฑ์วัตถุประสงค์เข้าไป หากมีกลุ่มคำตอบใดที่ชนะ 1 วัตถุประสงค์ที่อยู่ในหลายวัตถุประสงค์ที่กำลังพิจารณาอยู่โดยที่คำตอบอื่นไม่มีวัตถุประสงค์ใดเลย ให้ผลที่ดีกว่าก็จะสามารถตัดสินใจได้ โดยกลุ่มคำตอบที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมและไม่ถูกครอบงำโดยคำตอบอื่น ๆ นั้นเรียกว่า คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (Pareto Optimum) ส่วนกลุ่มคำตอบที่ค้นหาได้หลายคำตอบที่ให้ผลที่ดีเหมาะสม และเป็นกลุ่มคำตอบที่ยากต่อการพิจารณาที่ไม่ได้ค้นพบ

กลุ่มคำตอบเดียว จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโตทั้งหมดรวมกันเป็นเซตจะเรียกว่า เซตที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (Pareto Optimal Set) การเลือกกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะต้องเป็นเวกเตอร์วัตถุประสงค์ที่ไม่มีคำตอบใดที่ดีกว่าหรือเซตเด่น (Non-dominated Set) กลุ่มคำตอบเหล่านี้จะถูกพลอตกราฟเพื่อเป็นสมาชิกคำตอบที่เด่นกว่ากลุ่มคำตอบอื่น จะได้ขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Front) ในแนวเส้นโค้งที่ลากผ่านทุกจุดจัดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโตบนพื้นที่วัตถุประสงค์ โดยทุกตำแหน่งนี้จะข่มกันทุกจุดคำตอบที่เหลือทั้งหมด ซึ่งเป็นขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่เด่นกว่ากลุ่มคำตอบอื่น (Non-dominated Front) (C. A. Coello Coello, 2006) ประกอบด้วยรายละเอียดจึงต้องอาศัยวิธีการวิเคราะห์ตามหลักแนวคิดกลุ่มคำตอบที่เป็นกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ อาจพบเพียงคำตอบเดียวหรือหลายคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization) (Pareto, 1896)

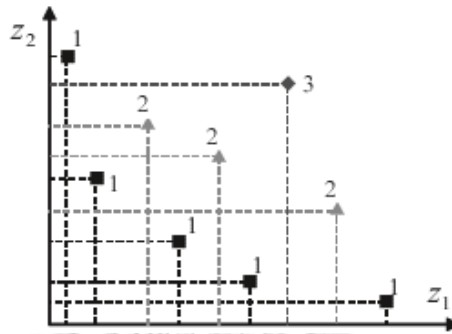
2.2 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization)

2.2.1 การกำหนดค่าความแข็งแรงแบบวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ จะกำหนดค่าความแข็งแรงเพื่อให้ทราบว่าแต่ละคำตอบที่พิจารณาเป็นคำตอบที่ดีหรือไม่ดีเพียงใดเมื่อเทียบกับคำตอบอื่น ๆ (Gen, Cheng, & Lin, 2008) เพื่อการตรวจสอบค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาที่มีข้อจำกัดต่าง ๆ ในการประเมินนั้นจะแตกต่างกันตามแต่ละปัญหา โดยใช้การกำหนดค่าความแข็งแรงให้เป็นเลขบรรทัดฐานเดียวกัน (Normalization) ที่ค่าเท่ากับ 1 ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่อยู่ในช่วง $[0,1]$ ในแต่ละตัว และทำการเลือกวิธีการมาทำการประเมินค่าของประชากร การกำหนดความแข็งแรงให้กับคำตอบของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์อาจมีความยุ่งยากและใช้เวลานานกว่าปัญหาแบบวัตถุประสงค์เดียว เนื่องจากการกำหนดความแข็งแรงต้องพิจารณาค่าวัตถุประสงค์หลายวัตถุประสงค์พร้อมกันไป

การพัฒนาวิธีการจัดอันดับแบบพาเรโต (Pareto Ranking Approach) จึงได้ศึกษาวิธีการนี้ (Srinivas & Deb, 1995) จาก (Goldberg, 1989) ในการกำหนดความแข็งแรงของคำตอบที่ไม่ใช่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพราะไม่ได้ถูกประเมินโดยคำตอบทั้งหมด นั่นคือ ความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ที่พิจารณาจะถูกจัดอันดับภายใต้หลักการการครอบงำเชิงพาเรโต กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะเป็นคำตอบที่ไม่เด่นกว่ากัน จึงเป็นคำตอบที่ดีคล้ายกันแต่แตกต่างกันแต่ละวัตถุประสงค์ วิธีที่ใช้กำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด คือ วิธีการจัดอันดับของโกลด์เบิร์ก (Goldberg's Ranking) หรือการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำ (Non-dominated Sorting) เป็นวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ มีขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการจัดอันดับ

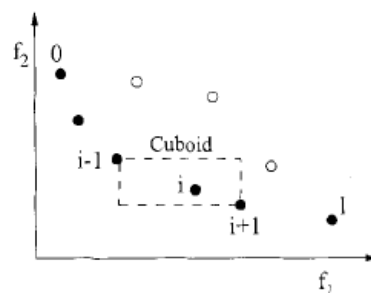
ที่หนึ่งให้แก่คำตอบที่ไม่มีคำตอบใดดีกว่าหรือ Pareto-optimal Front (Front ที่ 1) ดังรูปที่ 2.1 จากนั้นตัดคำตอบอันดับที่ 1 ออกจากการพิจารณาและสร้างคำตอบที่เหลือจะพิจารณาเป็นอันดับถัดมาที่เป็นคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำโดยคำตอบใดเลยจะถูกจัดให้เป็นคำตอบอันดับที่ 2 (Front ที่ 2) ดังรูปที่ 2.1 และทำจัดอันดับคำตอบอันดับถัดๆ ไปด้วยวิธีเดียวกันนี้จนครบประชากรทั้งหมดเป็นอันสิ้นสุดกระบวนการจัดอันดับของคำตอบ



รูปที่ 2.1 วิธีการจัดอันดับของโกลด์เบิร์ก (Goldberg ,1989)

2.2.2 การสร้างความหลากหลายของประชากรคำตอบด้วยวิธีการวัดระยะความหนาแน่น

ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์นั้น คำตอบที่ได้ยังต้องมีลักษณะกระจายตัวที่สม่ำเสมอเพื่อแสดงถึงความหลากหลาย หรือมีการกระจายตัวบน Front ในกราฟค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์อย่างสม่ำเสมอไม่เกาะกลุ่มกันอยู่ที่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง จึงสร้างความหลากหลายให้กับประชากรคำตอบ (Diversity Population) เป็นการกำหนดค่าความหนาแน่นหรือแบ่งปันค่าความแข็งแรง (Fitness Sharing) วิธีการแบ่งปันค่าความแข็งแรงนั้นใช้วิธีการวัดระยะความหนาแน่น (Crowding Distance Approach) (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002) ได้เสนอการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างคำตอบสองตัว ของวิธีการนี้ที่ใช้วัดคำตอบที่ดีที่สุดบน Pareto-optimal Front นั้นมีการกระจายตัวสม่ำเสมอเพียงใดบน Front เดียวกัน ในการคำนวณค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างสองจุดนี้ต่างก็มีระยะห่างในแต่ละแนวแกนวัตถุประสงค์ตามรอยประ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระยะของการวัดระยะความหนาแน่น (Dep et al. , 2002)

ระยะทางที่ประมาณการจะได้จากตัวที่ใกล้จุดสองจุดที่พิจารณานี้ คือ ตัวคำตอบที่ใกล้เคียง (Neighbors) ของสองสมาชิกคำตอบที่พิจารณานั้นเป็นระยะความหนาแน่น (Crowding Distance) ของสมาชิกคำตอบ i (Solution) ในเส้น Front เดียวกันตามจุดที่บ ค่าตอบที่มีระยะความหนาแน่นสูงแสดงถึงตำแหน่งที่มีการกระจายตัวของคำตอบดี ในทางตรงกันข้ามคำตอบที่มีระยะความหนาแน่นต่ำแสดงถึงตำแหน่งที่มีการเกาะกลุ่มของคำตอบมาก การคำนวณค่าระยะความหนาแน่นของคำตอบใด ๆ ก็ตามจะมีความเกี่ยวข้องับบรรดาคำตอบที่อยู่ Front เดียวกันเท่านั้น โดยขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ l คือ จำนวนคำตอบทั้งหมดบน Front ที่กำลังพิจารณา $x_{[i,k]}$ คือ คำตอบ x ใดๆ บน Front นั้น เมื่อ $i = \{1, \dots, l\}$, และ $k = \{1, \dots, K\}$ ซึ่งเป็นคำตอบลำดับที่ i เมื่อเรียงตามค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k จากน้อยไปมาก เมื่อพิจารณาในแนวค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ใดๆ คำตอบลำดับที่ 1 เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และลำดับสุดท้ายหรือลำดับที่ l เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุดซึ่งจะถูกกำหนดให้มีค่าระยะความหนาแน่นเท่ากับอนันต์เสมอหรือ $cd_k(x_{[1,k]}) = \infty$ และ $cd_k(x_{[l,k]}) = \infty$ ส่วนค่าระยะความหนาแน่นของคำตอบอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.12)

$$cd_k(x_{[i,k]}) = \frac{f_k(x_{[i+1,k]}) - f_k(x_{[i-1,k]})}{f_k^{max} - f_k^{min}} \quad (2.12)$$

โดยที่ $cd_k(x_{[i,k]})$ คือ ค่าระยะความหนาแน่นในแนวแกนค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ของคำตอบ $x_{[i,k]}$

$f_k(x_{[i+1,k]})$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ของคำตอบ $x_{[i+1,k]}$

$f_k(x_{[i-1,k]})$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ของคำตอบ $x_{[i-1,k]}$

f_k^{max} คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k มากที่สุดของกลุ่มคำตอบบน Front

f_k^{min} คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k น้อยที่สุดของกลุ่มคำตอบบน Front

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าระยะความหนาแน่นของคำตอบ x หรือ $cd(x)$ สามารถคำนวณได้จากการรวมเอาค่าระยะความหนาแน่นในทุกแนวแกนค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ k ของคำตอบ x เข้าไว้ด้วยกัน ดังสมการที่ (2.13)

$$cd(x) = \sum_{k=1}^K cd_k(x_{[i,k]}) \quad (2.13)$$

การคำนวณค่าระยะความหนาแน่นจะเป็นไปตามจำนวนวัตถุประสงค์ ซึ่งค่าระยะความหนาแน่นทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมระยะความหนาแน่นของแต่ละวัตถุประสงค์

2.3 การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึมของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการแก้ปัญหาจะเป็นที่ยอมรับแก่ผู้ใช้งานเมื่อมีจำนวนคำตอบที่มาก มีความหลากหลาย มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ดังนั้น การชี้วัดว่าสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในแก้ปัญหาจึงสามารถพิจารณาได้จากกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมเหล่านั้นค้นพบ งานวิจัยนี้จึงใช้ตัวชี้วัดเชิงปริมาณเพื่อประเมินและเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ด้วยกัน 3 ตัวชี้วัด ดังที่ (Kumar & Singh, 2007) ได้รวบรวมไว้ ได้แก่ ด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงของกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ได้ และด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 ด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงของกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ได้

(Convergence of the Obtained Non-dominated Solution Set)

ตัวชี้วัดนี้เป็นการเปรียบเทียบเพื่อประเมินความแตกต่างระหว่างกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดกลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Non-dominated Solution Set) กับกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Front) โดย (Kumar & Singh, 2007) ได้เสนอสูตรคำนวณ ดังสมการที่ (2.14) และ (2.15)

$$\text{Convergence}(A) = \frac{\sum_{i=1}^{|A|} d_i}{|A|} \quad (2.14)$$

$$d_i = \min_{j=1}^{|P^*|} \sqrt{\sum_{k=1}^M \left(\frac{f_k(i) - f_k(j)}{f_k^{\max} - f_k^{\min}} \right)^2} \quad (2.15)$$

M คือ จำนวนวัตถุประสงค์ทั้งหมด เมื่อ $k = 1, 2, \dots, M$

d_i คือ ระยะทางของคำตอบที่หาได้ x กับคำตอบที่แท้จริง y

A คือ กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ได้มา (Obtained Non-dominated Solution Set)

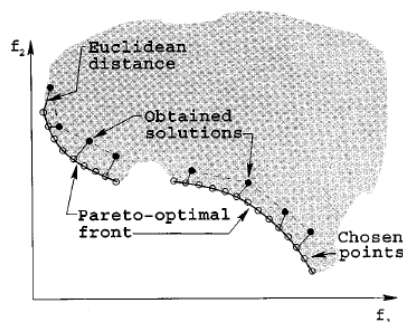
P^* คือ กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Front)

f_k^{\max} คือ ค่ามากที่สุดของค่าฟังก์ชันที่วัตถุประสงค์ k ในเซตคำตอบที่แท้จริงของขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

f_k^{\min} คือ ค่าน้อยที่สุดของค่าฟังก์ชันที่วัตถุประสงค์ k ในเซตคำตอบที่แท้จริงของขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

$f_k(i)$ คือ ค่าฟังก์ชันที่วัตถุประสงค์ k ของคำตอบที่หาได้ i

$f_k(j)$ คือ ค่าฟังก์ชันที่วัตถุประสงค์ k ของคำตอบที่แท้จริง j



รูปที่ 2.3 ขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Deb et al. , 2002)

(Deb et al., 2002) ได้อธิบายไว้สำหรับคำตอบทุกตัวที่อยู่ในขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Front) ดังรูปที่ 2.3 การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงนั้นจะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ แต่จะมีคำตอบที่มีค่าเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อคำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่แท้จริง ดังนั้นหากคำตอบที่ได้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากก็แสดงถึงการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ได้ดี

2.3.2 ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

ตัวชี้วัดนี้สำหรับวัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ได้ (กลุ่มคำตอบ N) โดยพิจารณาจากระยะห่างของสมาชิกกลุ่มคำตอบที่อยู่ติดกัน (Deb et al., 2002) โดยมีสูตรคำนวณดังสมการที่ (2.16)

$$\Delta = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1} |d_i - \bar{d}|}{d_f + d_l + (N-1)\bar{d}} \quad (2.16)$$

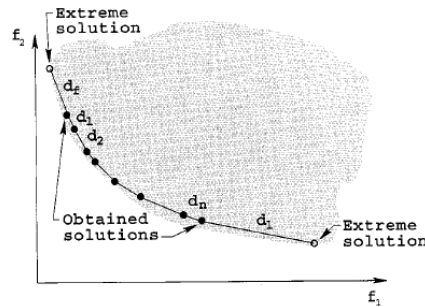
โดยที่ d_i คือ ระยะห่างของคำตอบที่อยู่ติดกันของกลุ่มคำตอบเหมาะสมที่สุดที่ได้มา เมื่อ $i = 1, 2, \dots, (N - 1)$

N คือ คำตอบที่พิจารณา ดังนั้น $N - 1$ คือ คำตอบที่อยู่ถัดไป

d_f และ d_l คือ ระยะห่างระหว่างคำตอบปลายสุด (Extreme Solutions) สองด้านของกลุ่มคำตอบเหมาะสมที่สุดที่ได้ ดังรูปที่ 2.4

\bar{d} คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทาง d_i ทุกตัว

(Li & Zheng, 2009) ได้กล่าวว่า Δ แสดงถึงการคำนวณของค่าระหว่างคำตอบสองตัว และ (Deb et al., 2002) อธิบายว่ากลุ่มคำตอบที่มีการกระจายตัวที่ดีนั้นระยะห่างทุกตัวจะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ย \bar{d} มากที่สุด โดยมีค่าของระยะห่างระหว่างคำตอบปลายสุดสองด้านมีค่าเข้าใกล้ศูนย์หรือ $d_f = d_l = 0$ จึงเป็นการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.4 ระยะห่างระหว่างคำตอบปลายสุด (Dep et al. , 2002)

2.3.3 ด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Ratio of Non-dominated Solutions)

ตัวชี้วัดนี้เป็นการวัดสมรรถนะกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ได้มาของอัลกอริทึมที่พิจารณานั้นไม่ถูกรอบงำจากกลุ่มคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมอื่น ๆ โดยสามารถคิดเป็นอัตราส่วน โดยแบ่งค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนเป็น 2 ค่าชี้วัดสมรรถนะ ดังต่อไปนี้

1. Ratio of Non-Dominated Solutions (Self-Comparison) เป็นอัตราส่วนเพื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด (First Pareto Frontier Solution) ที่อยู่ในกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Approximated True Pareto Optimum) เมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่ดีในตัวเอง (Own First Pareto Frontier Solutions) คำนวณอัตราส่วนดังสมการที่ (2.17)

$$R_{NDS1} = \frac{|S_j - \{x \in S_j \mid \exists y \in S^* : y < x\}|}{|S_j|} \quad (2.17)$$

2. Ratio Of Non-Dominated Solutions (Pareto-Optimum Comparison) เป็นอัตราส่วนเพื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุดที่อยู่ในกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง คำนวณอัตราส่วน ดังสมการที่ (2.18)

$$R_{NDS2} = \frac{|S_j - \{x \in S_j \mid \exists y \in S^* : y < x\}|}{|S^*|} \quad (2.18)$$

โดยที่ S_j คือ เซตคำตอบที่ j เมื่อ $j = 1, 2, \dots, J$

S คือ การดำเนินการของเซตแบบยูเนียน (Union) ที่รวมกันของเซตคำตอบ J เมื่อ

$$(S = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_J)$$

x คือ คำตอบที่ได้

y คือ คำตอบที่แท้จริง

$y < x$ คือ คำตอบ x ที่ถูกครอบงำโดยคำตอบ y (Ishibuchi, Yoshida, & Murata, 2003) จำนวนคำตอบที่ได้แล้วไม่ถูกครอบงำจะทำให้อัตราส่วนนี้เข้าใกล้ 1 เป็นตัวแสดงถึงสมรรถนะว่า กลุ่มคำตอบที่ได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานของสายการบินเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน มีหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้องและต้องอาศัยผลของการจัดตารางนี้ไปใช้ในการทำงานจริง ปัญหาดังกล่าวนี้เป็นปัญหาที่หลายสายการบินกำลังประสบอยู่ การดำเนินงานปัจจุบันอาศัยประสบการณ์ของพนักงานจัดตารางเป็นส่วนใหญ่ และเพื่อทำให้การจัดตารางเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลายสายการบินจำเป็นต้องซื้อซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพงเข้ามาช่วย สิ่งที่น่าสังเกตในทางปฏิบัติก็คือ พนักงานจัดตารางส่วนใหญ่ไม่ทราบถึงอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นการจัดตารางนักบิน ลูกเรือ หรือพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน พนักงานต้อนรับภาคพื้น คู่เที่ยวบิน การบำรุงรักษาเครื่องบิน เป็นต้น Qi, Yang และ Yu (2003) ได้ศึกษาปัญหาการจัดตารางในอุตสาหกรรมการบินที่เกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย ซึ่งปัญหาได้แบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก ดังนี้

1. Aircraft scheduling การจัดตารางเครื่องบินที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรประเภทเครื่องบินให้บินในเที่ยวบินต่าง ๆ สำหรับสายการบินที่มีประเภทเครื่องบินมากกว่าหนึ่งชนิดหรือขนาดเครื่องบินต่างจากฝูงบินเดิมการเลือกเครื่องบินให้เหมาะสมนั้นจะส่งผลถึงต้นทุน กำไร และต้องเป็นไปตามกฎระเบียบที่กำหนดโดยสำนักงานบริหารการบินแห่งชาติ (Federal Aviation Administration-FAA) อีกด้วย เช่น การเชื่อมต่อเส้นทางการบินความสามารถของเครื่องบิน และการบำรุงรักษาเครื่องบิน การจัดตารางเครื่องบินมีความที่เกี่ยวข้องการจัดตารางฝูงบิน (Fleet assignment) เนื่องจากปัญหานี้จะเกี่ยวกับการคาดการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความต้องการของลูกค้าปริมาณที่นั่งของผู้โดยสาร ค่าใช้จ่ายดำเนินงาน และการทำตามกฎการบินพลเรือน ปัจจัยที่มีผลต่อการแก้ปัญหาการจัดสรรเครื่องบินนั้นประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายทางตรง ค่าน้ำมัน ค่าจ้างพนักงาน และค่าธรรมเนียมในการขึ้น-ลงอากาศยาน (Landing Fees) แต่ค่าใช้จ่ายที่ยากต่อการประมาณการเป็นค่าใช้จ่ายทางอ้อมที่มีจำนวนสูงมาก เนื่องจากค่าความแตกต่างระหว่างความต้องการของลูกค้ากับปริมาณที่นั่งผู้โดยสารที่สายการบินสามารถรองรับลูกค้าที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งสายการบินนั้นมีจำนวนที่นั่งจำนวนจำกัด หากจัดสรรเครื่องบินที่มีขนาดใหญ่ก็จะรองรับผู้โดยสารได้มากแต่ก็ต้องจ่ายค่าใช้จ่ายทางตรงจำนวนมากเช่นกัน ในทางกลับกันการใช้เครื่องบินขนาดเล็กก็จะสนองความต้องการของลูกค้าที่ใช้บริการสายการบินได้น้อยลงซึ่งทำให้สายการบินขาดโอกาสทางการค้าได้ ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการจัดตาราง

ฝูงบินต่างพยายามที่จะหาวิธีการเพื่อประมาณค่าใช้จ่ายทางอ้อมนี้ให้ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเครื่องบินแต่ละประเภทจะมีข้อจำกัดแตกต่างกัน เช่น เวลาของเครื่องบินทุกครั้งก่อนเขาเข้าและเขาออกจะไม่สามารถดำเนินการได้ทันที จะต้องมีความที่จอดบนภาคพื้น (Ground Time) ก่อนเพื่อให้กำไรเพิ่มขึ้นหรือลดต้นทุนสำหรับสายการบิน Allung Blegur, Bakhtiar และ Aman (2014) ศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าไรสูงสุดสำหรับทุกเที่ยวบิน ซึ่งใช้ข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะทางวิ่ง (Runway) โดยมุ่งถึงการจัดการฝูงบินให้เหมาะสมกับเที่ยวบินให้มากที่สุด มีค่าใช้จ่ายน้อย และใช้จำนวนเครื่องบินน้อยด้วย นอกจากนี้ยังได้สร้างสมการแบบจำลองเชิงเส้นตรง ซึ่งสิ่งที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายประกอบด้วย จำนวนที่นั่งผู้โดยสาร น้ำหนักเครื่องบินสำหรับลงจอด (Landing Weights) พนักงานการบิน การบำรุงรักษา และน้ำมัน การแก้ปัญหาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์นี้มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายรายวันลดลง และสามารถวางแผนโดยใช้จำนวนเครื่องบินจอดไว้ที่ลานจอดค้างคืนน้อย โดยสามารถพิจารณาถึงการบำรุงที่จำเป็นในตอนกลางคืนได้ด้วย Cadarso และ Marin (2011) ได้ศึกษาและพัฒนาการออกแบบตารางงาน การจัดการฝูงบิน และผู้โดยสาร เพื่อให้ลดค่าใช้จ่ายและให้เกิดความไม่เข้ากันในการตัดสินใจน้อยลง จึงได้เสนอตัวแปรแบบเฟ้นสุ่มที่เกิดจากความต้องการของลูกค้ารายวันเป็นข้อมูลไม่แน่นอนและไม่คงที่ยากต่อการประมาณการ การคำนวณจากการศึกษานี้ให้ผลที่ช่วยให้การยกเลิกของผู้โดยสารลดลง

สำหรับการจัดการตารางการบำรุงรักษาเครื่องบิน (Aircraft Maintenance Routing) ก็เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการที่เกี่ยวกับตัวเครื่องบินเช่นกัน เพราะการจัดการตารางซ่อมบำรุงโดยจัดพนักงานปฏิบัติงานรักษาเครื่องบินเพื่อการันตีสมรรถภาพของเครื่องบิน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกันระหว่างการจัดการฝูงบินกับเที่ยวบิน ประเภทการตรวจสอบเครื่องบินแบ่งเป็น 4 ประเภทตามกฎของสำนักงานบริหารการบินแห่งชาติ (Federal Aviation Administration-FAA) ได้แก่ A-check, B-Check, C-check และ D-check แต่ละประเภทจะแตกต่างกันที่ขอบเขตของงาน ระยะเวลาการตรวจสอบในแต่ละครั้ง และความถี่ในการตรวจสอบ ทั้งนี้การบำรุงรักษาให้เครื่องบินมีความพร้อมสำหรับทุกเที่ยวบินจึงมีความสำคัญเพื่อทำให้เครื่องบินสามารถใช้งานได้ตามปกติ โดยมีเหตุขัดข้องและกระทบต่อเที่ยวบินน้อยที่สุด

2. Crew scheduling เป็นการจัดการลูกเรือที่จะเกี่ยวข้องปัญหาการจัดการตารางคู่เที่ยวบิน ซึ่งจะเกี่ยวกับลำดับเที่ยวบิน ซึ่งแต่ละเที่ยวบินที่ใช้เครื่องบินเดียวกันรวมกันเป็นคู่เที่ยวบินเพื่อจัดให้บินไปเส้นทางต่าง ๆ โดยกำหนดให้เครื่องบินออกไปและกลับมานั้นเป็นฐานเดียวกัน ทั้งนี้ต้องจัดคู่เที่ยวบินที่เหมาะสมต่อการบินของลูกค้าเรือทุกตำแหน่ง ในด้านของเวลาพัก เวลาปฏิบัติงาน ชั่วโมงการบิน และปัญหาการจัดการตารางงานให้กับลูกเรือเป็นการจัดคู่เที่ยวบินที่ได้จากปัญหาการจัดการตารางคู่เที่ยวบินให้แก่ลูกเรือ ซึ่งแต่ละคู่เที่ยวบินจะมีจำนวนชั่วโมงบิน เวลาเริ่มและสิ้นสุดของงานที่แตกต่างกันไป การที่จะจัดให้คู่เที่ยวบินเหมาะสมตามตำแหน่งลูกเรือนั้นต้องพิจารณาข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

ด้วย ในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดตารางนักบินโดยได้ศึกษางานวิจัยพบว่ามีโครงสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการเทคนิคต่าง ๆ งานวิจัยโดยทั่วไปมักสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ด้วยรูปแบบเซตพาร์ทิชันนิ่ง (Set partitioning) และใช้เทคนิคคอลัมน์เจเนเรชัน (Column generation) มาช่วยแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่ง Yan และ Chang (2002) ได้ศึกษาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสำหรับ Taiwan Airline ที่มีสนามบินเป็นฐานอยู่แห่งเดียวและมีเครื่องบินหลายประเภท โดยมีจุดประสงค์ให้ต้นทุนเกี่ยวกับนักบินลดลงและวางแผนคู้่นักบินจากหลายตำแหน่งอย่างเหมาะสม จึงได้ทำการพัฒนาเครือข่ายการจัดตารางเวลาเป็น 2 แบบเพื่อสร้างการจับคู่ที่เป็นไปได้ โดยสร้างแบบจำลองเซตพาร์ทิชันนิ่งเพื่อหาคู้่นักบินที่ดีที่สุดซึ่งกรณีศึกษานี้ได้คำตอบที่ดี Reisi-Nafchi และ Moslehi (2013) ทำการวางแผนคู้่งานเพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยวางแบบจำลองปัญหาเป็นเซตพาร์ทิชันนิ่งที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่และใช้คอลัมน์เจเนเรชันเพื่อแก้ปัญหา งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ 2 อัลกอริธึม ได้แก่ Shortest path with resource constraint in the revised flight network (SPRCF) และ Shortest path with resource constraint in the revised duty period network (SPRCD) ด้วยหลักการ Shortest path แล้วได้ใช้โค้ด C++ จาก COIN-OR เพื่อคำนวณผลลัพธ์ ซึ่งผลของวิธีการงานวิจัยนี้ใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ ของการแก้ไขปัญหาย่อย

สำหรับงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการเทคนิคอื่น ๆ อีกมากมาย Hoffman และ Padberg (1993) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาด้วย Branch and Cut สำหรับแก้ปัญหาที่เป็นแบบจำลองเซตพาร์ทิชันนิ่ง เพื่อให้ต้นทุนเกี่ยวกับนักบินลดลงแล้วยังอยู่ภายใต้เงื่อนไขของระเบียบข้อบังคับและวิธีปฏิบัติ Kohl และ Karisch (2004) มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลูกเรือเป็นรายบุคคลสำหรับคู้่เที่ยวบิน โดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เซตพาร์ทิชันนิ่งเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์สำหรับแบบจำลองพื้นฐานและแบบจำลองของข้อจำกัดอื่น ๆ ที่เพิ่มขึ้นได้ด้วยรูปแบบเซตพาร์ทิชันนิ่งเช่นกัน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบ Carmen crew rostering โดยใช้กันแพร่หลายในสายการบินยุโรป Barnhart และ Cohn (2004) เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นในด้านศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของการสร้างแบบจำลองและการแก้ปัญหา โดยประกอบด้วยตัวอย่างของผลกระทบที่เกี่ยวข้องและมีเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่สามารถเกิดขึ้นกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ สำหรับการแก้ปัญหการจัดตารางของสายการบินงานวิจัยนี้ได้เสนอแบบจำลองเป็นเซตพาร์ทิชันนิ่งสำหรับปัญหาการจับคู่เที่ยวบิน (Crew-pairing) และปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานพนักงาน (Bidline หรือ Rostering) ซึ่งได้สร้างตัวแปรตัดสินใจเกี่ยวกับต้นทุนสำหรับแต่ละคู้่เพื่อช่วยให้หาต้นทุนคู้่เที่ยวบินต่ำที่สุดและเป็นไปตามเงื่อนไขข้อจำกัดของปัญหาที่ต้องการในแต่ละเที่ยวบิน เมื่อดูตารางเที่ยวบิน เครื่องบิน เส้นทาง ถูกจัดตารางเรียบร้อยแล้วจะทำให้ช่วงของการจัดพนักงานที่เป็นไปได้มีขอบเขตที่แคบลง และการไม่ปฏิบัติตามแผนงานเป็นปัญหาที่ทำให้การจัดตารางไม่มีประสิทธิภาพ สำหรับการลาป่วย วันพักร้อน การอบรม

ด้านเครื่องมือ ด้านสภาพอากาศปัญหาเหล่านี้มีผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นด้วย การลดจำนวนเวลาหยุดให้ลดลง (Slack time) จะทำให้ต้นทุนลูกเรือระหว่างรอน้อยลง ส่วนผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจสามารถประเมินได้อย่างแม่นยำโดยการเปลี่ยนปัจจัยการผลิตที่เลือกรูปแบบการจับคู่ลูกเรือ และทำงานขั้นตอนการเพิ่มประสิทธิภาพงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดตาราง ได้แก่ Shortest-path อัลกอริทึมเป็นวิธีการลดขนาดของปัญหา วิธีการ Branch and price ที่แก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้

Viktor Dück et al. (2012) ทำการศึกษาการเพิ่มความเสถียรของจัดตารางพนักงานเครื่องบิน ลูกเรือและสิ่งอำนวยความสะดวกที่สนามบิน เมื่อเกิดความล่าช้าของจราจรทางการบินก็จะส่งผลให้การจัดตารางเป็นไปอย่างล่าช้าด้วย ดังนั้น เพื่อให้ตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงนี้และลดค่าใช้จ่ายเขาจึงเสนอแบบจำลองสโตนอสติก (Stochastic model) แล้วแก้ปัญหาด้วยคอลัมน์เจเนอเรชันและไดนามิกโปรแกรมมิ่ง จากนั้นทำการประเมินและเปรียบเทียบกับเทคนิคการจำลองสถานการณ์ (Simulation Model)

Tung-Kuan Liu et al. (2010) ได้ศึกษาการจับคู่งานของลูกเรือในสายการบินภายในประเทศที่มีความหลากหลาย โดยมีจุดประสงค์พัฒนาการแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi objective) ของปัญหาการจับคู่งานของลูกเรือ ซึ่งกำหนดเป็นแบบจำลองในชั้น Formula Stage ที่ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน และขั้นตอนการทำงานในชั้น Solution Stage ของการจ้างงานไม่เหมือนกัน โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi objective genetic algorithm: MMGA) เพื่อการหาค่าตอบอย่างกว้างสำหรับปัญหาเส้นทางการบินและการจับคู่งานของลูกเรือ จากนั้นใช้วิธีการฮิวริสติกพารेटโต (Heuristic Pareto algorithm) จัดอันดับความสำคัญของชุดคำตอบเพื่อเลือกวิธีการทำงานที่มีค่าใช้จ่ายต่ำของปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์นี้ ซึ่งผลที่ได้ช่วยให้มีการจับคู่ที่ดี

Lucic และ Teodorovic (1999) ทำการจัดตารางปฏิบัติงานลูกเรือโดยการมอบหมายสมาชิกนักบินลงในแผนตารางเที่ยวบินแบบรายเดือน งานวิจัยนี้ได้แก้ปัญหาการจัดตารางสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์จึงทำให้โครงสร้างประกอบไปด้วยหลายเกณฑ์ จึงนำเสนอวิธีการด้วยกันสองขั้นตอนซึ่งใช้ Pilot-by-pilot ฮิวริสติกที่จะทำให้หาวิธีการที่เป็นไปได้ของคำตอบ และขั้นตอนเทคนิค Simulated annealing สำหรับการหาค่าตอบที่มีหลายวัตถุประสงค์ งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และทดสอบกับสายการบินขนาดเล็กและขนาดกลาง

3. Disruption Management เป็นแผนงานรายวันที่รองรับปัญหาของการดำเนินงาน ปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้เกิดจากสภาพอากาศ เครื่องมืออุปกรณ์ และการลาป่วยของพนักงาน สายการบินจำเป็นต้องให้ความสนใจและมีแผนรองรับเหตุการณ์ดังกล่าวเพื่อให้สถานการณ์กลับสู่สภาวะปกติได้

โดยเร็ว ซึ่งจะเกี่ยวกับอุปกรณ์ข่าวด พนักงาานลาป่วย สภาพอากาศไม่ดี การควบคุมจราจรทางอากาศ เมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องปรับแก้แผนต้นฉบับเพื่อให้รองรับสถานการณ์ที่มีความสำคัญต่อสายการบินให้กลับสู่สภาวะปกติ AhmadBeygi, Cohn และ Lapp (2008) ปัญหาหลักที่ผู้โดยสารที่เดินทางด้วยเครื่องบินต้องประสบเป็นประจำ คือ ปัญหาการล่าช้าของสายการบินที่เกิดจากสภาพการจราจรทางอากาศ สภาพอากาศ ปัญหาด้านเทคนิค และปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลให้แผนงานหยุดชะงักไม่ตรงตามตารางที่วางแผนไว้ล่วงหน้า

4. Combination of Airline Scheduling ประกอบด้วยแผนการลงจอดเครื่องบิน แผนการฝีกอบรมนักบิน ปัญหากระบวนการควบคุมการวิ่งขึ้นของเที่ยวบิน ปัญหาการขนส่งกระเป๋าผู้โดยสาร เป็นต้น โดยปัญหาที่กล่าวมานี้มักเกิดจากเครื่องมือเครื่องจักร เวลาของงาน เวลาเสร็จของงาน เวลา กำหนดส่ง Beasley et al. (2000) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดตารางลงจอดของเครื่องบิน ซึ่งปัญหานี้จะเป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับเวลาลงจอดของเครื่องบินแต่ละลำ เขาได้เสนอการแก้ปัญหาด้วย Mixed-integer Zero-one Formulation สำหรับลานจอดเดี่ยวและขยายไปสำหรับลานจอดที่มีมากกว่าหนึ่ง โดยการแก้ปัญหาใช้ Linear Programming-based Tree Search และยังใช้อัลกอริทึมที่ให้ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา Habel (2013) ศึกษาการหาคำตอบที่ดีที่สุดของตารางฝีกอบรมนักบินสำหรับสายการบิน ซึ่งมีการตัดสินใจด้วยระบบการสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System) ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการวางแผนนี้ประกอบด้วยการจัดตารางฝูงบิน การวางแผนจัดตารางกำลังคน จัดตารางพนักงานการบิน ตารางการโหลดสินค้าสัมภาระ ตารางเที่ยวบิน ปัญหาจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงความต้องการผู้โดยสาร การคาดการณ์จำนวนนักบินที่จำเป็นก็เปลี่ยนแปลงไป การกำหนดเวลาการฝีกอบรม และวันลาพักร้อน วัตถุประสงค์ในการจัดกำลังคนคือ การจัดจำนวนบุคคลให้ถูกต้องและเกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิค Promising Solution สำหรับการจัดตารางนักบินโดยใช้ข้อมูลจริงและให้ผลลัพธ์ที่ใช้เวลาสั้น การนำเสนอแบบจำลองที่ยืดหยุ่นที่สามารถปรับเปลี่ยนเพิ่มเติมหรือลดลงของสมมติฐาน และใช้วิธี Column Generation มาประยุกต์ โดยแก้ปัญหาด้วย Dynamic Programming ซึ่งจะผลที่ได้จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าการจัดตารางในอุตสาหกรรมการบินนั้น จะเกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย หากเราสามารถปรับปรุงงานให้สอดคล้องกับสายการบินในประเทศไทยโดยพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาที่ใช้เวลาน้อยและให้คำตอบที่ดีได้ การจัดตารางของฝ่ายอื่นก็จะสามารถนำไปประยุกต์ได้ โดยอาศัยลักษณะงานและข้อจำกัดที่แตกต่างกันของแต่ละฝ่ายงาน

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางปฏิบัติงานพนักงานของสายการบิน โดยทั่วไปมักสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ด้วยรูปแบบเซตพาร์ทิชันนิ่ง (Set partitioning) และใช้เทคนิคคอลัมน์เจเนเรชัน (Column generation) มาช่วยแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ ได้แก่ Branch and Cut และ Branch and price เป็นต้นงานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาพร้อม

ทั้งสามารถประเมินวัตถุประสงค์ของการจัดตารางได้อีกด้วย ซึ่งวัตถุประสงค์ที่พิจารณาจะมาจากความต้องการของสายการบินโดยทั่วไปจะพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายและภาระงานของนักบิน แต่ด้วยปัจจุบันคนปฏิบัติงานมีความต้องการเพิ่มเติมจากเดิมจึงหาวิธีแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ที่เพิ่มขึ้นมา คือ การจัดงานให้นักบินระดับอาวุโสและลดการจัดจำนวนรูปแบบเที่ยวบินซ้ำ งานวิจัยนี้จะสามารถเป็นตัวอย่างในการพัฒนาการจัดตารางปฏิบัติงานของพนักงานในสายการบินต่อไปได้ เช่น ลูกเรือ พนักงานภาคพื้น เป็นต้น

2.5 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย

ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยจำนวนเที่ยวบินและจำนวนนักบินที่มีจำนวนมาก การที่จะมอบหมายคู่เที่ยวบินให้นักบินแต่ละคนนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงจำนวนชั่วโมงบินสะสม ช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบิน ช่วงเวลาพักผ่อน วันหยุด วันฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและภาคอากาศจำนวนนักบินตามช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบิน การวางตำแหน่งนักบินผู้ควบคุมอากาศยานกับนักบินผู้ช่วย การจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสำหรับคู่เที่ยวบินทั้งที่เครื่องบินออกไปกลับมายังฐานเดียวกันและต่างฐานกัน โดยคู่เที่ยวบินนั้นจะมีทั้งระยะเวลาเริ่มถึงสิ้นสุดและระยะทางการบินที่แตกต่างกัน ซึ่งนำมาพิจารณาในการมอบหมายงานแก่นักบินให้มีภาระงานที่เท่าเทียมกันและค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงโดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด การจัดสรรนักบินในแต่ละคู่เที่ยวบินภายใต้เงื่อนไขของนักบินที่ได้นั้นมีคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนมาก เพื่อให้การจัดตารางปฏิบัติงานนักบินมีคำตอบที่ทำให้ภาระงานที่เท่าเทียมกันและค่าใช้จ่ายลดลงจึงสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และใช้เทคนิคเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนและการจัดการโลจิสติกส์เป็นวิธีการประมาณคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือแล้วยังช่วยลดเวลาในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เครื่องมือในการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้เป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกส์โดยพิจารณาอัลกอริทึมที่มีชื่อว่า Multiobjective Evolution Algorithm Based on Decomposition (MOEA/D) และ Honey Bee Mating Optimization (HBMO) ที่เป็นเครื่องมือหนึ่งในวิธีเมตาฮิวริสติกส์ โดยได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือไว้ ดังนี้

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

การใช้วิธีเมตาฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่ดีในระยะเวลาสั้น แม้ว่าไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่คุณภาพของคำตอบนั้นดีเพียงพอต่อความต้องการสำหรับงานวางแผนต่าง ๆ ได้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับสายการบินราคาประหยัดกรณีศึกษานี้เพื่อการทดลองหาคำตอบ จึงนำเสนอขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคเมตาฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ เมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการที่นิยมใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการ

ผลิตและการจัดการด้านโลจิสติกส์ เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม ปัญหาเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายและปัญหาการจัดลำดับการผลิต ปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด (Non-deterministic Polynomial Hard: NP-Hard) ที่สามารถระบุขอบเขตของคำตอบได้ วิธีการนี้จะเป็นการประยุกต์สำหรับปัญหาที่มีชุดคำตอบที่เป็นไปได้ (Combinatorial Optimization: CO) ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีเมตาฮิวริสติกนั้นวัดได้จากคุณภาพของคำตอบและเวลาในการหาคำตอบในระยะเวลาสั้น การหาคำตอบของปัญหาที่มีงานจำนวนมากของการจัดตารางงานสำหรับนักบินที่มีจำนวนเที่ยวบินและจำนวนเครื่องบินในแต่ละวันการคำนวณอาจให้เวลานานมาก หากเราต้องการจะคำนวณหาคำตอบที่เป็นไปได้ของงาน 100 งาน ในกรณีที่ไม่มีข้อจำกัดจะเป็นจำนวน 100! การคำนวณหาคำตอบนั้นจะใช้เวลานานมาก เนื่องจากปัญหาการจัดตารางนักบินเป็นปัญหาแบบ NP-Hard ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและขนาดใหญ่ ปัญหาที่มีเที่ยวบิน นักบินและข้อจำกัดจำนวนมาก หากใช้สมการเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาจะใช้เวลานานมาก งานวิจัยนี้จึงได้อาศัยวิธีเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหา ซึ่งจะได้คำตอบที่รวดเร็วกว่าการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ ทั้งนี้ยังรองรับการทำงานที่เกิดขึ้นจริงของสายการบินเพราะวิธีเมตาฮิวริสติกนั้นเป็นการประมาณคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือที่ช่วยลดระยะเวลาในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และข้อจำกัดมาก ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้วิธีเมตาฮิวริสติกมาแก้ปัญหาดังกล่าว จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Baghel, Agrawal, และ Silakari (2012) งานวิจัยนี้เป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับเมตาฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ตัดสินใจหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีเป่าวัตถุประสงค์เดียวหรือหลายวัตถุประสงค์ ปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุดนี้ใช้ศึกษาได้หลายด้าน เช่น การออกแบบด้านวิศวกรรม การบริการด้านเกษตรกรรม ระบบการผลิตในอุตสาหกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์และอื่น ๆ ใช้กับปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ตามแต่ด้านที่ศึกษา lori, M. (2004) เขาได้เสนอผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอถึงวิธีการแก้ปัญหาแบบวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) และวิธีเมตาฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหาที่มีชุดคำตอบที่แน่นอน (Combination Optimization: CO) ของการจัดตารางสำหรับงานตัด (Cutting) และงานบรรจุ (Packing) และเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งความสามารถของแต่ละวิธีเมตาฮิวริสติกที่ทำการทดลองใช้ได้กว้างขวาง Blum และ Roli (2003) ได้กล่าวถึงวิธีเมตาฮิวริสติกนั้นเป็นวิธีที่ใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดจากชุดคำตอบที่เป็นไปได้ซึ่งมีความสำคัญในด้านอุตสาหกรรม เขาได้สำรวจเพื่อหาความสำคัญของวิธีการนี้พบว่าวิธีเมตาฮิวริสติกมีวิธีที่เป็นระเบียบในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ มีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดในระยะเวลานั้นเป็นวิธีการที่ง่ายไม่ซับซ้อนสามารถประมาณคำตอบที่ดีและเป็นคำตอบที่ไม่ซ้ำและแตกต่างไปจากแบบเดิม ทั้งนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย

Yagiura และ Ibaraki (2004) ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดสรรงานโดยทั่วไปซึ่งเป็นปัญหาแบบ NP-Hard พบได้หลายอย่างเช่น การจัดสรรพื้นที่ การจัดสรรเครื่องจักร เป็นต้น เขาได้ทบทวนวิธีเมตาฮิวริสติกที่ผ่านมาสำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าว จากการเปรียบเทียบอัลกอริทึม 3 วิธีได้แก่ Variable depth search algorithms (VDS), Tabu search with ejection chains (TSEC) และ Path relinking with ejection chains (PREC) ของวิธีเมตาฮิวริสติกทำให้ได้ตารางมาตรฐานสำหรับการจัดสรรงานโดยทั่วไป Jarraya และ Bouri (2012) การแก้ปัญหาเพื่อคำตอบที่ดีที่สุดที่ใช้ในการวิจัยดำเนินการและงานวิจัยด้านอื่น ๆ เช่น ด้านหุ่นยนต์ ด้านยารักษาโรค ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านการเงิน เขาได้ศึกษาวิธีเมตาฮิวริสติกเพื่อประยุกต์ใช้กับปัญหาได้หลายแบบ การศึกษานี้ได้รวมถึงวิธีวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated annealing) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithms: GA) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Taboo search) วิธีการพัฒนาการหาตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Algorithms: ACS) วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization :PSO) และอื่น ๆ สำหรับปัญหาที่มีเป้าวัตถุประสงค์เดียวหรือหลายวัตถุประสงค์สามารถค้นหาคำตอบได้ทั้งวัตถุประสงค์ที่เป็นสมการเชิงเส้นตรงและสมการไม่เชิงเส้นได้ ทำให้ได้คำตอบที่ดีในการคำนวณที่ระยะเวลายอมรับได้ ดังนั้น วิธีการนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้ง่ายเพื่อที่จะได้คำตอบที่ดีและมีประสิทธิภาพ

Gognaa และ Tayal (2012) ได้ศึกษาวิธีเมตาฮิวริสติกเพราะว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการจัดการปัญหาแบบ NP-Hard แบบหลายวัตถุประสงค์ วิธีการแบบ Traditional optimization methods นั้นล้มเหลวในการหาผลในกรณีที่มีความซับซ้อนของโครงสร้างปัญหาและไม่ได้คำตอบเป็นที่น่าพอใจ สิ่งโดดเด่นของวิธีเมตาฮิวริสติกนั้นคือการได้คำตอบที่ดี ดังนี้ 1) ประโยชน์การใช้งานโดยทั่วไป วิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) เป็นเทคนิคของฮิวริสติกส์ที่ใช้แก้ปัญหาที่มีชุดคำตอบที่เป็นไปได้แน่นอนในแต่ละปัญหาและถูกปรับปรุงวิธีการให้เหมาะสมกับปัญหาใหม่ๆ แม้การที่ปรับปรุงให้วิธีการนั้นไม่่ง่ายที่จะประยุกต์สำหรับปัญหาอื่น แต่สำหรับวิธีเมตาฮิวริสติกสามารถปรับเปลี่ยนวิธีการเพื่อปัญหาแบบจำเพาะเจาะจงได้ 2) ใช้เวลาคำนวณคำตอบที่เหมาะสม แม้โครงสร้างของปัญหานั้นมีความซับซ้อนเพียงใด วิธีเมตาฮิวริสติกยังสามารถให้ผลคำตอบที่ดีและมีความน่าเชื่อถือ ใช้เวลาไม่มากและเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งานได้จริง 3) การหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (Global optimal) วิธีเมตาฮิวริสติกส์เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับแก้ปัญหาได้ดีกว่าการแก้ปัญหาแบบวิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) ซึ่งวิธีเมตาฮิวริสติกส์สามารถสร้างคำตอบที่ดีและเหมาะสมของพื้นที่คำตอบ

Malik และ Tayal (2014) พบว่าวิธีเมตาฮิวริสติกส์เป็นวิธีพื้นฐานสำหรับขั้นตอนระดับสูงที่สามารถสร้างขั้นตอนอย่างง่ายได้เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด จึงเป็นกระบวนการที่ปรับเปลี่ยนลักษณะอุปกรณ์ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ หรือวิธีการทดลองเพื่อหาคำตอบของผลลัพธ์ที่น้อยที่สุดหรือ

มากที่สุด การค้นหาวิธีการที่เป็นไปได้ด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกนั้นจะให้คำตอบที่ดีและใช้เวลาการคำนวณน้อย ความละเอียดในการค้นหาคำตอบช่วงแรกอาจเป็นการค้นหาคำตอบไม่ละเอียดก่อนแล้วจะค้นหาคำตอบในช่วงที่แคบมากขึ้น ซึ่งจะมีการลู่เข้าของคำตอบที่ดีได้มากขึ้นในระยะเวลาที่สั้น

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Multiobjective Evolution Algorithm Based on Decomposition (MOEA/D)

Hisao, Noritaka และ Yusuke (2008) ได้ทำการศึกษาพบว่าวิธี EMO (Evolutionary Multiobjective Optimization) เป็นวิธีการที่งานวิจัยได้นำไปใช้หลากหลายส่วนงานที่ให้ผลคำตอบที่ดีเมื่อใช้กับสองวัตถุประสงค์เมื่อต้องการแก้ปัญหาที่มีมากขึ้นนั้นควรเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาที่เรียกว่า Many-objective เป็นแบบที่มีวัตถุประสงค์ที่มากกว่าแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective) ในการทดลองหาคำตอบด้วยวิธี NSGA-II สำหรับปัญหาแบบ Many-objective จะทำได้ยาก

He และ Yen (2016) ได้ทำการศึกษาวิธีการเชิงวิวัฒนาการที่ให้ผลคำตอบที่ลู่เข้าคำตอบที่เหมาะสมและมีความหลากหลายบนเส้นพารेटอสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งที่ผ่านมาเมื่อต้องการแก้ปัญหาที่เพิ่มวัตถุประสงค์มากขึ้นนั้นจะทำให้การค้นหาคำตอบได้ไม่ดี จึงนำไปสู่วิธีการหาวิธีค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นเมื่อพบว่าพื้นที่ของการค้นหาคำตอบที่กว้างมากนั้น ถ้าใช้วิธีค้นหาคำตอบแบบวิธีการเดิม เช่น การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมการมิวเตชัน เป็นต้น จะต้องใช้เวลาในการค้นหานานมากและเป็นวิธีที่จำกัดพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ เมื่อปัญหาที่ทำการศึกษามีคำตอบที่เป็นไปได้นั้นกว้างมากงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์

Panichella, Kifetew และ Tonella (2015) ทำการทดลองเปรียบเทียบการแก้ปัญหาการหาค่าที่มากที่สุดได้ทำการเสนอวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธี MOSA (Many-Objective Sorting Algorithm) เพื่อการลู่คำตอบที่ดีและมีประสิทธิภาพดีกว่าการรวมค่าของหลายวัตถุประสงค์มาเป็นค่าเดียวกัน (Single value) ผลของการเปรียบเทียบวิธี WS (Whole Suite) กับวิธี MOSA นั้นพบว่าวิธี MOSA มีประสิทธิภาพในการลู่เข้าหาคำตอบมากกว่า

Li et al. (2015) ทำการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเชิงวิวัฒนาการสำหรับปัญหาหลายวัตถุประสงค์ได้ โดยที่ผ่านมาพบว่าการแก้ปัญหาหลายวัตถุประสงค์นิยมใช้วิธี MOEAs (Multiobjective Evolutionary Algorithms) กันอย่างกว้างขวางเป็นวิธีที่อ้างอิงถึงการประเมินวัตถุประสงค์ Many-Objective Evolutionary (MaOPs) บนเส้นพารेटอ จึงได้รวบรวมงานวิจัยที่ใช้อัลกอริทึมนี้ไว้ในงานวิจัยได้แบ่งประเภทของอัลกอริทึม MaOEAs (Many-Objective Evolutionary Algorithms) ไว้ 7 ประเภท ได้แก่ relaxed dominance based, diversity-based, aggregation-based, indicator-based, reference sett based, preference-based, และ dimensionality

reduction ในแต่ละประเภทได้ทำปรับปรุงการแก้ปัญหาลดเวลาในการคำนวณมีความหลากหลายของคำตอบและได้คำตอบที่มีคุณภาพ

Zhang และ Li (2007) งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบแก้ปัญหาหลายวัตถุประสงค์ที่เรียกว่า Multiobjective Evolution Algorithm Based on Decomposition หรือ MOEA/D จะเป็นการแยกปัญหาที่ต้องการค้นหาคำตอบแบบหลายวัตถุประสงค์เป็นตัวเลขสเกลาร์ (Scalar) ของปัญหาย่อย งานวิจัยนี้พบว่าวิธี MOEA/D สามารถคำนวณปัญหาที่ซับซ้อนได้ในระยะเวลาสั้นกว่าเมื่อเทียบกับวิธี MOGLS (Multiobjective genetic local search) ที่เน้นการประเมินแบบค่าถ่วงน้ำหนักและเซบิเซฟ ส่วนงานวิจัยนี้ได้แบ่งแยกปัญหาย่อยเป็นสเกลาร์แล้วแก้ปัญหาด้วยความสัมพันธ์ที่ระบุระยะทางระหว่างตำแหน่งเพื่อนบ้านของชุดคำตอบด้วยสัมประสิทธิ์เวกเตอร์ วิธี MOEA/D เป็นวิธีการกำหนดสัมประสิทธิ์สำหรับแยกย่อยของปัญหานี้อย่างง่ายและได้คำตอบที่ดีกว่าแบบการค้นหาคำตอบแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีการหาแบบตัวเลขสเกลาร์โดยตรง ในเรื่องของเวลาการคำนวณกับปัญหาที่ซับซ้อนนั้นและยังให้ชุดคำตอบที่ดีกว่าวิธีการ NSGA-II และ MOGLS

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Honey Bee Mating Optimization (HBMO)

จากการศึกษาวิธีเมตาฮิวริสติกได้พิจารณาเครื่องมือที่มีชื่อว่า การผสมพันธุ์ผึ้ง (Honey Bees Mating Optimization: HBMO) ที่เป็นส่วนหนึ่งในเครื่องมือของเมตาฮิวริสติกลักษณะและวิธีการของเครื่องมือนี้เป็นการศึกษาจากพฤติกรรมผสมพันธุ์ของผึ้งจริงแบบวิธีการธรรมชาติของอาณาจักรผึ้ง เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกอย่างหนึ่งที่ใช้เพื่อการค้นหาคำตอบในระยะเวลาอันสั้น ฝูงผึ้งเป็นอาณาจักรสำหรับวางไข่ของราชินีผึ้งซึ่งมีผึ้งตัวผู้หลายร้อยตัวและผึ้งงานนับหมื่นตัว พฤติกรรมผสมพันธุ์ผึ้งจะเริ่มจากราชินีผึ้งทำการส่ายกันโดยที่ผึ้งตัวผู้จะบินไปผสมพันธุ์บนอากาศเพื่อเป็นการเลือกคู่พ่อแม่ของตัวอ่อน ซึ่งราชินีผึ้งนี้สามารถผสมพันธุ์กับตัวผู้ได้จำนวนมาก เมื่อราชินีผึ้งบินช้าลง จนการสิ้นสุดการเลือกผึ้งตัวผู้ราชินีผึ้งจะบินกลับรัง เมื่อตัวอ่อนที่ถูกดูแลนั้นที่เป็นตัวที่ดีที่สุดไม่สามารถแทนที่ราชินีผึ้งหรือไม่เป็นตัวที่ดีกว่า ก็จะมีการผสมพันธุ์ในรอบใหม่เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดในการอยู่เข้าหาคำตอบต่อไป โดยได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือไว้ ดังนี้

Chakaravarthy และ Kalyani (2015) โดยศึกษาจากพฤติกรรมผสมพันธุ์ของผึ้งแบบวิธีการธรรมชาติวิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดทั้งในด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การค้า และวิศวกรรม มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนยืดหยุ่นในการแก้ปัญหา ความคงทน วิธีการนี้ให้ ช่วงหลีกเลี่ยงความเสี่ยงความขัดข้องของสภาพแวดล้อมที่รุนแรง การวัดค่าได้ วิธีการนี้มีความสามารถในการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง มีความง่ายในการบูรณาการ ซึ่งวิธีการนี้

เป็นวิธีการอย่างง่ายในการหาคำตอบที่มีศักยภาพ วิธีการผสมพันธุ์ผึ้งจึงเป็นวิธียุติวิธิตกอย่างหนึ่งใช้เพื่อการค้นหาคำตอบในระยะเวลาอันสั้นได้

Haddad, Afshar และ Marino (2006) วิธิตกวิธิตกใช้แก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด เป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์ การค้าขายและด้านวิศวกรรม กระบวนการนี้จะเป็นประเภท Swarm-based approach to optimization สำหรับปัญหาที่เป็นสมการไม่เชิงเส้น การประยุกต์ใช้นี้เพื่อให้ลดผลรวมค่าเบี่ยงเบนจากความต้องการเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุด ผลที่ได้เทียบกับวิธีเจเนติกนั้นทำให้ทราบได้ว่าวิธีการผสมพันธุ์ผึ้งนี้เป็นวิธีการลู่อู่เข้าของคำตอบได้ดีกว่าและเป็นคำตอบใน Global optimal ทั้งนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีสมการข้อจำกัดแบบไม่เชิงเส้นและปัญหาแบบไม่มีข้อจำกัด จึงได้คำตอบที่ดีของการแก้ปัญหาสำหรับการตัดสินใจแบบผันแปรไม่แน่นอนที่เป็นข้อมูลจริงและข้อมูลแบบจำนวนนับ

Tavakoli และ Mozafari (2012) ได้ศึกษาการจัดตารางสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางแหล่งน้ำร้อนเพื่อให้ค่าใช้จ่ายการผลิตในขั้นตอนสุดท้ายมีค่าน้อยที่สุดและค่าที่ให้พลังงานดีที่สุดด้วยวิธีการผสมพันธุ์ผึ้งเพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Honey-bee mating optimization: HBMO) ซึ่งปัญหานี้มีข้อจำกัดมากมายที่จะทำให้ปรับสมดุลการใช้พลังงาน น้ำ เวลาหน่วง ปริมาณกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำ และข้อจำกัดการทำงานระหว่างปริมาณน้ำและความร้อน ปัญหานี้เป็นปัญหาที่ซับซ้อนและเป็นแบบสมการไม่เชิงเส้น วิธีการนี้มีการลู่อู่เข้าของคำตอบที่เร็วมาก ใช้เวลาในการหาคำตอบที่น้อย มีค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเทียบกับวิธีการเจเนติก (Genetic algorithm: GA) และวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO)

Abbass (2001) ทำการศึกษาพฤติกรรมผสมพันธุ์ผึ้งเพื่อการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้กับปัญหา จากปัญหารวมหมู่ (Swarm intelligence) (Bonabeau et al. 1999) นั้นได้ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองตามพฤติกรรมสังคมของแมลง ซึ่งเป็นความฉลาดของกลุ่มสัตว์เหล่านี้ที่เรียนรู้เพื่อการค้นหาคำตอบปัญหาโดยศึกษาการผสมพันธุ์ผึ้ง (Optimization with marriage in honey bee: MBO) โดยวิธีการหาอาณานิคมมีด้วยกัน 2 วิธีที่แตกต่างกัน คือ 1) Independent founding การสร้างอาณานิคมนี้เริ่มจากตัวเมียที่เจริญพันธุ์แล้วต้องการจะสร้างรัง ผลิตไข่ และหาอาหารสำหรับตัวอ่อน 2) Swarming การจับกลุ่มในอาณานิคมโดยเริ่มเกิดจากราชินีของฝูงหนึ่งตัวหรือมากกว่ารวมกันกับผึ้งตัวผู้จากอาณานิคมดั้งเดิม original ทำการวางไข่และเป็นผู้ดูแลลูก สำหรับอาณานิคมที่มีราชินีผึ้งเพียงตัวเดียว เรียกว่า Monogynous colony และหากมีราชินีผึ้งมากกว่าหนึ่งตัวจะเรียกว่า Polygynous colony ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ Swarming eusocial การจับกลุ่มของสัตว์สังคมที่เป็นหลายราชินี การผสมพันธุ์จะเกิดขึ้นขณะบินบนอากาศ โครงสร้างอาณานิคมผึ้งจะประกอบไปด้วย ราชินีผึ้ง ผึ้งตัวผู้ ผึ้งงาน และลูกอ่อน ซึ่งราชินีผึ้งเป็นตัวหลักในการเจริญพันธุ์ ผึ้งตัวผู้เปรียบเป็นพ่อในอาณานิคมจะทำการขยายพันธุ์โดยไม่กลายพันธุ์ ส่วนผึ้งงานจะคอยฟักไข่หรือลูก

อ่อน ในการผสมพันธุ์นั้นจะเริ่มจากผึ้งตัวผู้บินไปหาราชีนผึ้งเพื่อผสมพันธุ์บนอากาศ ซึ่งราชีนผึ้งหนึ่งตัวสามารถผสมพันธุ์กับผึ้งตัวผู้ได้เป็นจำนวน 7 ถึง 20 ตัว แล้วราชีนผึ้งจะเก็บเชื้อไว้ผสมพันธุ์กับไขเป็นการเลือกผสมแบบสุ่ม การที่ผึ้งงานทำการฟักไขนั้นการดูแลตัวอ่อนจึงเป็นตัวแทนของฮิวริสติกที่ช่วยปรับปรุงคำตอบ ดังนั้น การที่งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีฮิวริสติกการผสมพันธุ์ผึ้งประสบความสำเร็จของการแก้ปัญหาแบบ 3-Satisfiability หรือ 3-SAT ที่มีสามตัวแปร และมีความสามารถในการหาคำตอบที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติก WalkSAT โดยคำตอบที่ได้นั้นมาจากวิธี MBO เป็นจำนวนมากกว่า Marinakis, Marinaki และ Dounias (2011) งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการผสมพันธุ์ผึ้งเพื่อแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling salesman problem: TSP) ที่เรียกว่า Honey Bees Mating Optimization Algorithm for the Travelling Salesman Problem (HBMOTSP) ร่วมกับวิธี Multiple Phase Neighborhood Search-Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (MPNS-GRASP) เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและมีคุณภาพ ซึ่งปัญหา TSP เป็นปัญหาแบบ NP-Hard ที่ต้องหาเส้นทางคำตอบให้สั้นที่สุดในระยะเวลารวดเร็ว การสุ่มหาคำตอบเริ่มต้นจากคำตอบที่ได้นั้นจะถูกเลือกโดยราชีนผึ้งของรัง และสมาชิกหรือประชากรที่เหลือในรังเป็นผึ้งตัวผู้ ก่อนการผสมพันธุ์จะต้องกำหนดขนาดราชีนผึ้งให้สอดคล้องสำหรับการผสมพันธุ์ ซึ่งการผสมพันธุ์จำนวนผึ้งตัวผู้จะเป็นไปตามจำนวนที่ถูกกำหนดสำหรับราชีนผึ้ง นอกจากนี้ต้องกำหนดจำนวนราชีนผึ้งและลูกอ่อนที่จะเกิดขึ้นทั้งหมดจากทุกราชีนผึ้ง เมื่อการผสมพันธุ์เกิดขึ้นแล้วราชีนผึ้งจะบินกลับรัง จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่ผึ้งตัวผู้บินไปผสมพันธุ์ตัวราชีนผึ้งจะมีมากเมื่อราชีนผึ้งเริ่มบินสำหรับการผสมพันธุ์ คำตอบที่ดีของผึ้งตัวผู้จะเป็นช่วงนี้ หลังจากนั้นความเร็วและพลังงานของราชีนผึ้งจะลดลง GRASP จะเป็นลักษณะการสุ่มเลือกคำตอบที่ดีจากคำตอบที่ดีที่เป็นคู่แข่งกันทั้งนี้เพื่อเป็นการสุ่มเพื่อการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial population) ซึ่งวิธีการสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากัน (Greedy algorithm) เป็นการแก้ปัญหา TSP และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local search) เป็นขั้นตอนการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของประชากร แต่วิธี MPNS-GRASP เป็นวิธีที่ยืดหยุ่นมากสำหรับ Local search ผลของงานวิจัยที่ได้นี้มีคำตอบที่มีประสิทธิภาพและเป็นพึงพอใจ

Palominos et al. (2012) วิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง Marriage in Honeybees Optimization (MBO) เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกอย่างหนึ่งที่ได้ศึกษาเพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด สามารถแก้ปัญหาแบบ NP-Hard ได้ ซึ่งเขาได้นำวิธีการนี้ไปแก้ปัญหสำหรับการจัดตารางแบบไหลเลื่อน โดยทำการทดสอบความมีประสิทธิภาพ การผสมพันธุ์ผึ้งนั้นจะเกิดขึ้นบริเวณกลางอากาศ (Mating flight) ของราชีนผึ้งและผึ้งตัวผู้เพื่อเป็นการเลือกคู่พ่อแม่ของตัวอ่อน ราชีนผึ้งจำทำการสร้างทายาทใหม่กับผึ้งตัวผู้ที่ถูกเลือกในการผสมพันธุ์ ผึ้งงานจะทำการปรับปรุงทายาทนั้น ๆ การผสมพันธุ์นี้ราชีนผึ้งจะเป็นผู้เลือกผึ้งตัวผู้ซึ่งขึ้นกับคุณภาพของพ่อพันธุ์ แล้วราชีนผึ้งจะเก็บเชื้อไว้ได้ปริมาณมาก เมื่อราชีนผึ้งบินช้าลงและเคลื่อนย้ายในระยะสั้นๆ คือการสิ้นสุดการเลือกผึ้งตัวผู้สำหรับการผสมพันธุ์ ราชีนผึ้งจะบินแบบสุ่มจน

ความเร็วในการบินลดลงเรื่อย ๆ ส่วนฝั่งตัวผู้จะสืบทอดสายพันธุ์ด้วยวิธี Particle Swarm Optimization (PSO) ทั้งนี้ในการจัดตารางแบบไหลเลื่อนมีเวลาปิดงานน้อยที่สุด ผลของงานวิจัยนี้สำเร็จโดยได้ผลที่ดีมากของแก้ปัญหาการจัดตาราง

2.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

1. วัตถุประสงค์

- ค่าผลรวมของค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากชั่วโมงบินของนักบินแต่ละตำแหน่งงานที่ต่ำที่สุด
- ค่าผลรวมโดยเฉลี่ยของค่าผลต่างชั่วโมงบินแต่ละคนกับชั่วโมงบินเป้าหมายที่ต่ำที่สุด
- ค่าจำนวนรูปแบบเที่ยวบินเวลาปฏิบัติหน้าที่หลังหกโมงเย็นสำหรับกับต้นระดับครูฝึกที่ต่ำที่สุด
- ค่าผลรวมโดยเฉลี่ยของจำนวนเที่ยวบินซ้ำของนักบินทั้งหมดที่ต่ำที่สุด

2. ข้อจำกัด

ข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินนี้ได้รวบรวมปัญหาไว้ทั้งหมดที่ละเมิดไม่ได้ หรือ Hard Constraints และข้อจำกัดที่สามารถละเมิดได้ หรือ Soft Constraints แต่หากละเมิดจะมองให้ถูกนับเป็นค่าปรับสำหรับคำตอบในวัตถุประสงค์นั้นๆ รายละเอียดแต่ละส่วนสามารถดูได้จาก ตารางที่ 1.4

- ### 3. ตัวอย่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากงานวิจัยอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินได้ ดังนี้

Yan, Tung และ Tu (2002) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับค่าใช้จ่ายนักบินแต่ละตำแหน่งงาน ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{k=1}^{NB} \sum_{j=1}^{NR(k)} [c_{jr}^k x_{jr}^k + c_{jc}^k x_{jc}^k + c_{jv}^k x_{jv}^k], \\ \text{S.T. } & \sum_{k=1}^{NB} \sum_{j=1}^{NR(k)} a_{ijr}^k x_{jr}^k \geq b_{ir}, \quad \forall i \\ & \sum_{k=1}^{NB} \sum_{j=1}^{NR(k)} [a_{ijr}^k x_{jr}^k + a_{ijc}^k x_{jc}^k] \geq b_{ir} + b_{ic}, \quad \forall i \\ & \sum_{k=1}^{NB} \sum_{j=1}^{NR(k)} [a_{ijr}^k x_{jr}^k + a_{ijc}^k x_{jc}^k + a_{ijv}^k x_{jv}^k] = b_{ir} + b_{ic} + b_{iv}, \quad \forall i \\ & x_{jr}^k, x_{jc}^k, x_{jv}^k \geq 0, x_{jr}^k, x_{jc}^k, x_{jv}^k \in I, \quad \forall j, \forall k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{j=1}^{NR} c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^{NR} a_{ij} x_j = b_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, NF, \\ & x_j \geq 0, x_j \in I, \quad \forall j = 1, 2, \dots, NR. \end{aligned}$$

Nafchi และ Moslehi (2013) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับค่าใช้จ่ายนักบินที่แต่ละเที่ยวบินจะมีนักบินไม่เกินจำนวนที่กำหนด

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \\ \text{s.t.} \quad & a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n = 1 \\ & a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n = 1 \\ & \dots \\ & a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n = 1 \\ & x_j \in \{0, 1\} \quad \text{for } j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Lucic และ Teodorovic (1999) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ภาระงานของนักบิน

$$p_{il} = \begin{cases} 1, & \text{if the } i\text{th pilot can spend the } l\text{th day at work} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$i = 1, \dots, m$$

$$l = 1, \dots, 30$$

$$q_{jl} = \begin{cases} 1, & \text{if the } j\text{th rotation starts on the } l\text{th day of the month} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$j = 1, \dots, k$$

$$l = 1, \dots, 30$$

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^{30} p_{il}$$

$$D = \sum_{j=1}^k d_j$$

$$a = \frac{D}{P} = \frac{\sum_{j=1}^k d_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^{30} p_{il}}$$

$$a_i^* = a \sum_{l=1}^{30} p_{il} \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if the } i\text{th pilot is assigned to the } j\text{th rotation} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Let us denote by a_i the real monthly flight time to be flown by the i th pilot. Value a_i equals:

$$a_i = \sum_{j=1}^k d_j x_{ij} \quad i = 1, \dots, m$$

$$F_1 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{\sum_{j=1}^k d_j x_{ij} - a \sum_{i=1}^{30} p_{il}}{a \sum_{i=1}^{30} p_{il}} \right| r$$

2. ข้อจำกัดเรื่องชั่วโมงบินสะสม

$$\sum_{j=1}^k d_j x_{ij} \leq 85 \quad i = 1, \dots, m$$

Hadianti et al. (2013) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ข้อจำกัดเรื่องการจับคู่พนักงาน เช่น แต่ละคู่เที่ยวบินจะจัดสรรคนมีนักบินคนที่ใด ๆ ไม่ซ้ำกัน หรือนักบินหนึ่งคนปฏิบัติหน้าที่เพียงงานเดียว จะไม่มีการทับซ้อนกันของนักบินระหว่างคู่เที่ยวบิน

For $i = 1, \dots, n$

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 1.$$

For $i = 1, \dots, (n - 1)$ and $j = 1, \dots, m,$

$$x_{i,j} \sum_{i_1=i+1}^n x_{i_1,j} s_{i,i_1} = 0.$$

2. ข้อจำกัดสำหรับการนับวันหยุดที่กำหนดให้มีกี่วันต่อสัปดาห์ เช่น จะต้องมียุทธอย่างน้อย 1 วันหลังจากปฏิบัติงานต่อเนื่องกัน 6 วัน

For $j = 1, \dots, m,$ and $d = 1, \dots, DM - 6,$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} \sum_{l=d}^{d+6} q_{i,l} \min \{nt_i(j), p + 6 - (l - 1)\} \leq 6.$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} \sum_{l=d}^{d+6} q_{i,l} t_j \leq 6.$$

3. ข้อจำกัดเรื่องเวลาพักผ่อน เช่น มีเวลาพักผ่อนอย่างน้อย 18 ชั่วโมงต่อเนื่องกันอย่างน้อยเมื่อมีชั่วโมงบินติดต่อกันนาน 24 ชั่วโมง เป็นต้น

For $j = 1, \dots, m$ and $d = 1, \dots, DM - 2,$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_{i,j} \sum_{l=d}^{d+2} ft_{i,l} - 24 \right) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{i_1 \in J_d} x_{i_1,j} (q_{i,(d+3)} - 1)(w_{i,i_1} - 1) \right) \geq 0,$$

4. ข้อจำกัดเรื่องตารางกิจกรรมใด ๆ ที่ไม่ทำการบิน โดยจะไม่มีเที่ยวบินในวันนั้น เช่น อบรม ตรวจร่างกาย วันหยุด และอื่น ๆ

For $i = 1, \dots, n$ and $j = 1, \dots, m$,

$$\sum_{l=1}^{DM} x_{i,j} tr_{j,l} c_{i,l} = 0.$$

For $i = 1, \dots, n$ and $j = 1, \dots, m$,

$$\sum_{l=1}^{DM} x_{i,j} me_{j,l} c_{i,l} = 0.$$

For $i = 1, \dots, n$ and $j = 1, \dots, m$,

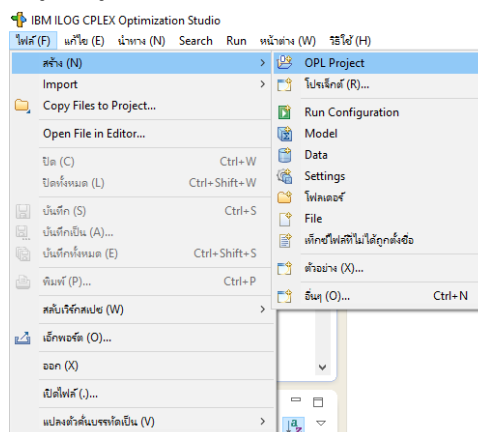
$$\sum_{l=1}^{DM} x_{i,j} al_{j,l} c_{i,l} = 0.$$

2.7 โปรแกรม OPL CPLEX

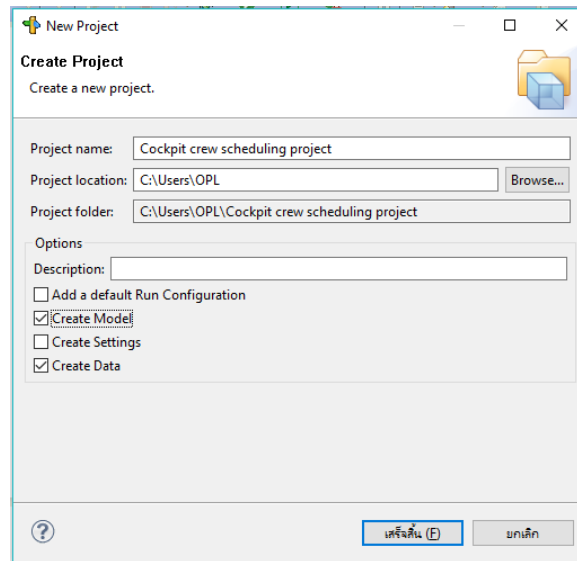
โปรแกรมโอพีแอลเป็นโปรแกรมการคำนวณแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่เป็นลิขสิทธิ์จากไอบีเอ็ม ซึ่งจะสามารถระบุฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และข้อจำกัด การแก้ไขปัญหาจะเริ่มจากการสร้างโปรเจกใหม่(New OPL Project) ในโปรแกรมโอพีแอล แล้วสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ลงในโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหา

1. การสร้างโปรเจกใหม่

การสร้างโปรเจกใหม่ในโปรแกรมโอพีแอลโดยไปที่ ไฟล์(F) > สร้าง (N) > OPL Project ดังรูปที่ 2.5 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง New Project กดเลือก Create Model และ Create Data เพื่อให้สร้างแบบจำลองและข้อมูลดังรูปที่ 2.6

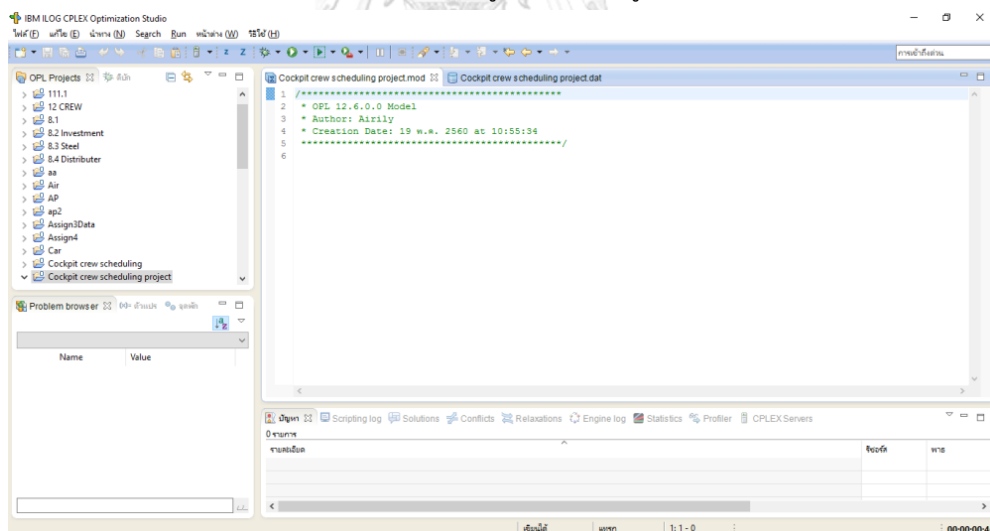


รูปที่ 2.5 การเลือกเมนูการสร้างโครงการใหม่

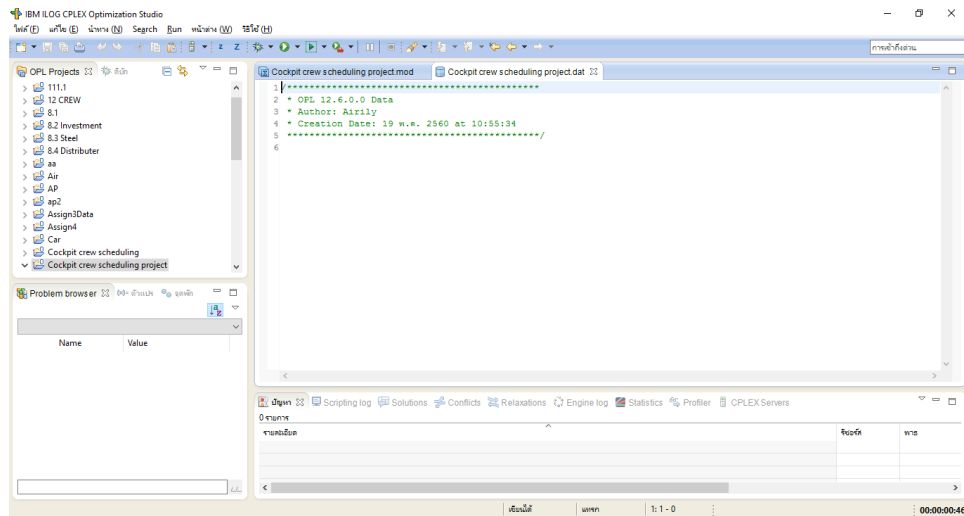


รูปที่ 2.6 การเลือกรายละเอียดการสร้างโครงการใหม่

เมื่อทำการสร้างโปรเจกต์ใหม่เสร็จสิ้นแล้วจะปรากฏหน้าต่างสำหรับการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์หรือโมเดล (.mod) ของโปรแกรมโอพีแอล ดังรูปที่ 2.7 และทำการกรอกข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบของปัญหาทางด้านข้อมูล (.dat) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์หรือโมเดล (.mod)



รูปที่ 2.8 หน้าต่างข้อมูล (.dat)

2. การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในโปรแกรมโอพีแอลจะประกอบด้วย ตัวแปร พารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ สมการวัตถุประสงค์ สมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัด ดังรายละเอียดดังนี้

- การกำหนดตัวแปร พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจจะต้องระบุรูปแบบของตัวแปร ซึ่งงานวิจัยนี้มีประเภทของรูปแบบ int รูปแบบของตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็ม เช่น 1 2 3 10 200 เป็นต้น และ boolean รูปแบบของตัวแปรที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 การกำหนดตัวแปรและพารามิเตอร์ เช่น `int NumCrew = ...;` และการกำหนดตัวแปรตัดสินใจจะต้องกรอก `dvar` ก่อนแล้วตามด้วยรูปแบบและตัวแปร เช่น `dvar boolean x[R][I][J];`
- การกำหนดสมการวัตถุประสงค์ จะใช้คำสั่ง `Maximize` สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงที่สุด หรือ `Minimize` สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่าต่ำที่สุด
- การกำหนดสมการข้อจำกัด จะเริ่มต้นเขียน `subject to` แล้วตามด้วยเครื่องหมายปีกกา {...} โดยสมการข้อจำกัดของปัญหานี้จะเขียนอยู่ในวงเล็บปีกกา รายละเอียดของสมการข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องจะประกอบด้วยผลรวม ผลบวก ผลต่าง สมการ อสมการ การเขียนผลรวมจะต้องระบุ `sub script` ให้ถูกต้องเหมาะสมกับปัญหาแล้วเขียน `forall (r in R,i in I)` แทนการเขียน $\forall r,i$ และเขียน `sum(j in J)` แทนการเขียน $\sum_{j \in J}$ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.9 การเขียนผลบวกสามารถใส่เครื่องหมายบวกระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น `t[j]+WT[r][i]` ส่วนการเขียนผลต่างสามารถใส่เครื่องหมายลบระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น `ST[j]-RT[r][i]`

```
forall (r in R,i in I)
  sum(j in J)x[r][i][j]*t[j]+WT[r][i] <= 2040;
```

รูปที่ 2.9 รูปแบบการเขียนสมการผลรวมในโปรแกรมโอพีแอล

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานเบื้องต้นของโปรแกรม OPL
สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีขั้นตอนในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของสมการข้อจำกัดและค่านวนวัตถุประสงค์โดยใช้โปรแกรมโอพีแอลในการหาคำตอบ

3.1 การแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยโปรแกรมโอพีแอล

3.1.1 วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

สำหรับปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของสายการบินที่ได้มีวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 แล้ว จึงสามารถนำปัญหานั้นเขียนเป็นสมการและอสมการ ได้ดังนี้

1. กำหนดดัชนี (Indices)

R คือ เซตของวัน $\{1, 2, 3, \dots, l\}$

I คือ เซตของนักบิน $\{1, 2, 3, \dots, m\}$

J คือ เซตของรูปแบบเที่ยวบิน $\{1, 2, 3, \dots, n\}$

K คือ เซตของจำนวนวันที่ทำการพิจารณา $\{1, 2, 3, \dots, u\}$

2. กำหนดตัวแปรนำเข้า (Parameter)

$NauticalMile_j$ คือ ระยะการบินของรูปแบบเที่ยวบิน j (ไมล์ทะเล)

$PositionRate_i$ คือ อัตราค่าจ้างตามตำแหน่งงานของนักบินคนที่ i (บาท)

$WeeklyTime_{r,i}$ คือ จำนวนชั่วโมงสะสม 6 วันที่ผ่านมาของนักบินตำแหน่ง r คนที่ i

$MonthlyTime_{r,i}$ คือ จำนวนชั่วโมงสะสม 27 วันที่ผ่านมาของนักบินตำแหน่ง r คนที่ i

$EndTime_{r,i}$ คือ เวลาสิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่การบินของนักบินตำแหน่ง r คนที่ i

$RestTime_{r,i}$ คือ จำนวนเวลาพักผ่อนของนักบินตำแหน่ง r คนที่ i

$StartTime_j$ คือ เวลาเริ่มต้นการปฏิบัติหน้าที่การบินของรูปแบบเที่ยวบิน j

$p_{i,k}$ คือ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่านักบินคนที่ i ในวันที่ k สามารถจะมาปฏิบัติการบินได้หรือมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$x_{r,i,j}$ คือ มีค่าเป็น 1 เมื่อนักบินตำแหน่ง r คนที่ i ถูกจัดสรรให้ทำการบินในรูปแบบเที่ยวบินที่ j

หรือมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น ๆ

$y_{r,i,j}$ คือ มีค่าเป็น 1 เมื่อนักบินตำแหน่ง r คนที่ i มีเวลาพักผ่อนเพียงพอที่จะสามารถทำการบินในรูปแบบเที่ยวบินที่ j หรือมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น ๆ

$z_{1,i,j,k}$ คือ มีค่าเป็น 1 เมื่อเวลาปฏิบัติงาน ($Dutyendtime_j$) ของเที่ยวบินที่ j มากกว่า 18.00 น. ($Bidlinetime$) เป็นต้นไปนักบินตำแหน่งกับตันอาวุโส ($r = 1$) คนที่ i ทำการบินในเที่ยวบินที่ j วันที่ k หรือมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น ๆ

4. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

1. ค่าใช้จ่าย (Cost) ที่เกิดจากการหาตำแหน่งที่ต่ำสุดของค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากระยะทางการบินของนักบินแต่ละตำแหน่งงานคิดจากค่าจ้างที่ผันแปรตามระยะทางการบิน ดังสมการที่ (3.1)

$$F_1 = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left(\frac{\text{NauticalMile}_j}{1,000} * X_{r,i,j} * \text{PositionRate}_r \right) \quad (3.1)$$

ค่าจ้างที่คำนวณจากอัตราค่าจ้างของแต่ละตำแหน่งงานนักบินกับระยะทางการบินของนักบินที่ได้ทำการปฏิบัติการบินในเส้นทางนั้น ตามหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินที่จะถูกจัดสรร ซึ่งระยะทางการบินมีหน่วยเป็น ไมล์ทะเล (Nautical Mile) ข้อมูลระยะการบินสามารถเทียบดูได้จากตารางตัวอย่างที่ทางสายการบินได้กำหนดไว้แต่ละเส้นทางการบินไว้ ดังตารางที่ 3.2 นักบินแต่ละตำแหน่งจะมีค่าจ้างคิดแตกต่างกันตามระดับงานดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราค่าจ้างตามตำแหน่งงานนักบิน (Position Rate)

ตำแหน่งนักบิน	อัตราค่าจ้าง(บาท)
FCIP	5,200
FCS	5,200
FCJ	5,200
FCT	5,200
FOS	4,000
FOJ	3,600
FOT	3,600

2. ภาระงานนักบิน (Workload Balance) การจัดวางภาระงานให้นักบินอย่างเท่าเทียมกันโดยคิดจากค่าเฉลี่ยผลรวมของค่าผลต่างชั่วโมงบินแต่ละคนกับชั่วโมงบินเฉลี่ย วัตถุประสงค์เพื่อปรับภาระงานนั้นจะคิดจากความแตกต่างชั่วโมงบินที่ถูกจัดสรรให้แต่ละคนกับชั่วโมงบินโดยเฉลี่ยต่อ

คนโดยรวมการวางแผนงานให้แก่ักบินอย่างเท่าเทียมกันวัตถุประสงค์เพื่อปรับภาระงานนั้นจะคิดจากความแตกต่างชั่วโมงบินที่ถูจัดสรรให้แต่ละคนกับชั่วโมงบินโดยเฉลี่ยต่อคนโดยรวม ดังสมการที่ (3.2) ผลรวมระยะเวลาบินที่ได้จัดสรรในตารางปฏิบัติงานักบิน (a_i) ให้ักบินคนที่ i คำนวนได้จากสมการที่ (3.3)

$$F_2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{a_i - a_i^*}{a_i^*} \right| \quad (3.2)$$

$$a_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^u t_{j,k} x_{i,j,k}, \forall i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.3)$$

สำหรับ a_i^* จะเป็นระยะเวลาบินของแต่ละคนสะสมที่ควรจะได้รับในเดือนนั้น ๆ เพราะบางที่การจัดตารางให้ักบินแต่ละคนมีจำนวนวันที่ไม่เท่ากัน จึงต้องนำมาคิดค่าเฉลี่ยของระยะเวลาบินเป็นเป้าหมายของแต่ละคนที่จะได้ ซึ่งักบินคนที่มีความสามารถมาปฏิบัติการบินมากก็จะมีเป้าหมายของระยะเวลาบินที่ควรจะได้ปฏิบัติการบินที่มาก หากจัดค่าเป้าหมายให้ทุกคนเท่ากันโดยไม่ได้พิจารณาถึงจำนวนวันทำงานที่ักบินสามารถมาปฏิบัติการบิน ($p_{i,k}$) ของักบินแต่ละคนจะเป็นการจัดสรรงานที่ไม่ทำให้ภาระงานเท่าเทียมกัน เนื่องจากวันทีักบินมีกิจกรรมอื่น ๆ นั้นักบินก็ได้ทำการปฏิบัติหน้าที่ในการทำงานอื่น ๆ เพื่อให้การพิจารณาภาระงานที่เท่าเทียมกันที่เกิดจากระยะเวลาการบินจึงคิดความน่าจะเป็นไปได้ของักบินแต่ละคนที่ควรได้รับงานโดยเฉลี่ยให้ต่างจากค่าเป้าหมายของแต่ละคนให้น้อยที่สุดด้วย การจะกำหนดค่าเฉลี่ยเป้าหมายรายเดือนของระยะเวลาบินสำหรับักบินแต่ละคน (Ideal monthly flight time of cockpit crew) จะคิดได้จากผลคูณค่าเฉลี่ยเป้าหมายรายวันของระยะเวลาบินสำหรับักบินแต่ละคน (Ideal average daily flight time of each cockpit crew) กับจำนวนวันทำงานที่ักบินสามารถมาปฏิบัติการบินได้ ดังสมการที่ (3.4)

$$a_i^* = a \sum_{k=1}^u p_{i,k}, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.4)$$

โดยที่ a_i^* คือ ค่าเฉลี่ยเป้าหมายรายเดือนของระยะเวลาบินสำหรับักบินแต่ละคน

a คือ ค่าเฉลี่ยเป้าหมายรายวันของระยะเวลาบินสำหรับักบินแต่ละคน

ค่าเฉลี่ยเป้าหมายรายวันของระยะเวลาบินสำหรับักบินแต่ละคนคิดได้จากสัดส่วนระหว่างระยะเวลาบินทั้งหมดที่มีสำหรับการจัดตารางกับจำนวนวันของักบินทุกคนที่สามารถปฏิบัติการบินได้ในเดือนที่ทำการพิจารณาอยู่นี้ ดังสมการที่ 3.5

$$a = \frac{T}{P} \quad (3.5)$$

โดยที่ T คือ เวลาของรูปแบบเที่ยวบินโดยรวม

$t_{j,k}$ คือ ระยะเวลาที่ทำการบินของรูปแบบเที่ยวบินที่ j ในวันที่ k

เวลาของรูปแบบเที่ยวบินโดยรวม ทั้งนี้ในแต่ละวันของเดือนที่ทำการพิจารณานั้นมีรูปแบบเที่ยวบินที่ไม่เหมือนกัน เช่น รูปแบบเที่ยวบินหมายเลข $j = 1$ นั้นมีการบินในวันที่ 15 ถึง 31 เป็นต้น แต่ละรูปแบบเที่ยวบินจะมีนักบิน 2 คนจึงคิดเวลารูปแบบเที่ยวบินตามสมการที่ (3.6)

$$T = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^u 2t_{j,k} \quad (3.6)$$

นักบินแต่ละคนจะมีจำนวนวันทำงานที่นักบินสามารถมาปฏิบัติการบินได้ไม่เท่ากันเนื่องจากมีกิจกรรมอื่นๆ ต้องทำจึงไม่สามารถมาปฏิบัติการบินได้ สามารถหาผลรวมของจำนวนวันทำงานที่นักบินสามารถมาปฏิบัติการบินโดย P คือ จำนวนวันทำงานที่นักบินสามารถมาปฏิบัติการบิน ดังสมการที่ (3.7)

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^u p_{i,k} \quad (3.7)$$

3. การจัดงานของตำแหน่งอาวุโส (Bidline) เนื่องจากนักบินตำแหน่งอาวุโสเป็นพนักงานที่มีประสบการณ์งานมากที่สุดและอายุการทำงานมากที่สุดด้วยจึงยากที่จะมีสิทธิในด้านการเลือกรูปแบบการบินได้ จากการสำรวจการทำงานจัดตารางปฏิบัติงานนักบินพบว่าส่วนใหญ่มีความต้องการที่จบงานในช่วงเวลาที่ไม่ดีนัก นักวางแผนจำเป็นต้องเลือกรูปแบบเที่ยวบินที่ไม่ดีนักมากเกินไปโดยในปัจจุบันยังไม่สามารถจัดสรรให้ได้ตามความต้องการเพราะการจัดตารางให้เพียงพอและเป็นไปตามข้อจำกัดนั้นก็จะใช้เวลาานที่ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบเป็นอย่างมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำความต้องการด้านนี้สอบถามทางสายการบินแล้วสรุปได้เป็นวัตถุประสงค์ที่ว่า หากนักบินตำแหน่งอาวุโสของสายการบินกรณีศึกษานี้เป็นตำแหน่งกับต้นระดับอาวุโส (FCIP) มีเวลาปฏิบัติหน้าที่ (Duty Time) หลังหกโมงเย็นเป็นต้นไปให้นับเป็นค่าวัตถุประสงค์ของการจัดงานตำแหน่งอาวุโส เพื่อที่จะมุ่งเน้นให้ลดจำนวนวัตถุประสงค์นี้ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ปัญหาจึงเป็นการจัดสรรคูนักบินเพื่อให้การจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของตำแหน่งอาวุโสนี้เกิดการเลิกงานตามความต้องการมากที่สุดโดยให้มีการเลิกงานค่าให้น้อยที่สุด ดังสมการที่ (3.8) โดยที่ $z_{1,i,j,k}$ เป็นตัวแปรตัดสินใจของการเลือกนักบินกับต้นอาวุโส

$$F_3 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J z_{r,i,j,k}, r = 1 \quad (3.8)$$

4. การกระจายรูปแบบเที่ยวบิน (Distribution of flight pattern) เป็นการจัดสรรรูปแบบเที่ยวบินให้แต่ละคนมีจำนวนใกล้เคียงกันให้มากที่สุด เนื่องจากการสำรวจการปฏิบัติงานของนักบินพบว่าบางคนไม่ต้องการบินบางเส้นทางบ่อยๆ หรืออยากที่จะบินในเส้นทางที่ตนเองต้องการบ้าง การ

ที่นักวางแผนจะจัดตารางให้รองรับความต้องการของนักบินทุกคนนั้นเป็นไปได้ยาก จึงทำการเสนอให้จัดรูปแบบเที่ยวบินแก่นักบินมีจำนวนชั่วโมงในแต่ละเดือนให้น้อยที่สุด ไม่ให้เกิดการบินรูปแบบเที่ยวบินซ้ำมากเกินไป ทั้งนี้ ทางสายการบินมองถึงว่าการบินในเส้นทางแต่ละภูมิภาคของทุกคนเท่าเทียมกัน ก่อให้เกิดการทำงานที่มีทักษะได้หลากหลาย หรือ Multi-skill แก่ผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย ดังนั้นวัตถุประสงค์เกี่ยวกับการกระจายรูปแบบเที่ยวบินให้เท่าเทียมกัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.9) โดยที่ N คือ จำนวนนักบินทั้งหมดและ $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} Totalcount_{r,i}$ คือ ผลรวมของค่าจำนวนชั่วโมงของนักบินตำแหน่งงานที่ r คนที่ i

$$F_4 = \frac{\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} Totalcount_{r,i}}{N} \quad (3.9)$$

$Totalcount_{r,i}$ คือ ค่าเฉลี่ยผลรวมจำนวนชั่วโมงของนักบินแต่ละคนคำนวณได้จากสัดส่วนจำนวนชั่วโมงของเลขรูปแบบเที่ยวบินกับจำนวนรูปแบบเที่ยวบินทั้งหมดที่ทำการบิน คิดได้จากสมการที่ (3.10) โดยที่ $\sum_{j \in J} Flightpattern_{r,i,j}$ คือ รูปแบบเที่ยวบินที่ถูกจัดสรรให้แก่ักบินตำแหน่งที่ r คนที่ i หมายเลขที่ j ค่านี้จำนวนของแต่ละคนโดยคิดได้จากสมการที่ (3.11) โดยที่ $Flightpatterncount_{r,i,j}$ คือ มีค่าใดๆ เมื่อมีผลรวมของตัวแปรตัดสินใจ $x_{r,i,j,k}$ ของแผนการจัดตารางมากกว่า 2 ให้มีค่าตามจำนวนที่นับได้ หรือมีค่า 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น ๆ

$$Totalcount_{r,i} = \frac{\sum_{j \in J} Flightpattern_{r,i,j}}{\sum_{j \in J} x_{r,i,j}}, \forall r, i \quad (3.10)$$

$$Flightpatterncount_{r,i,j} = \begin{cases} \sum_k^{k-27} x_{r,i,j,k}, & \text{if } \sum_k^{k-27} x_{r,i,j,k} \geq 2, \forall r, i, j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.11)$$

5. สมการข้อจำกัด (Constraint)

ข้อจำกัดของปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินนี้มีข้อจำกัดดังตารางที่ 1.4 จึงทำการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาที่เป็น Hard constraints ดังนี้

1) ชั่วโมงบินสะสม ชั่วโมงบินสะสมรวม 7 วันต่อเนื่องกันของนักบินแต่ละตำแหน่ง r แต่ละคนที่ i ได้ถูกจัดสรรให้บินในรูปแบบเที่ยวบิน j ดังสมการที่ (3.12)

$$\sum_{j \in J} x_{r,i,j} * t_j + WeeklyTime_{r,i} \leq 2040, \forall r, i \quad (3.12)$$

จำนวนชั่วโมงบินสะสมของนักบินทุกคนของช่วงวันการทำงานที่ 1 ถึง 7 โดยคิดชั่วโมงบินทุกรูปแบบเที่ยวบินรวมแล้วจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2040 นาที โดยจะคำนวณชั่วโมงบินสะสมของแต่ละคนของ 6 วันที่ผ่านมารวมกับชั่วโมงบินของรูปแบบเที่ยวบิน j ของวันที่ทำพิจารณาการจัดสรร

2) ชั่วโมงบินสะสมรวม 28 วันต่อเนื่องกันของนักบินแต่ละตำแหน่ง r แต่ละคนที่ i ได้ถูกจัดสรรให้บินในรูปแบบเที่ยวบิน j ดังสมการที่ (3.13)

$$\sum_{j \in J} x_{r,i,j} * t_j + \text{MonthlyTime}_{r,i} \leq 6600, \forall r, i \quad (3.13)$$

จำนวนชั่วโมงบินสะสมของนักบินทุกคนของช่วงวันการทำงานที่ 1 ถึง 28 โดยคิดชั่วโมงบินทุกรูปแบบเที่ยวบินรวมแล้วจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6600 นาที โดยจะคำนวณชั่วโมงบินสะสมของแต่ละคนของ 27 วันที่ผ่านมารวมกับชั่วโมงบินของรูปแบบเที่ยวบิน j ของวันที่ทำพิจารณาการจัดสรร

3) ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาพักผ่อนใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เงื่อนไขแบบ either-or คือ ถ้านักบินตำแหน่ง r คนที่ i มีเวลาพักผ่อนเพียงพอที่จะสามารถทำการบินรูปแบบเที่ยวบิน j เป็นจริง นักบินตำแหน่ง r คนที่ i จะถูกจัดสรรให้ทำการบินรูปแบบเที่ยวบิน j หรือไม่ถูกจัดสรรให้ทำการบินก็ได้

$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ คือ เวลาที่สิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่การบินรวมกับเวลาที่ต้องพักผ่อนตามข้อจำกัดจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือก่อนเวลาที่จะเริ่มทำการบินของรูปแบบเที่ยวบินที่ทำการพิจารณาจัดสรรให้บิน ดังสมการที่ (3.14) หรือ (3.15)

$$\text{EndTime}_{r,i} + \text{RestTime}_{r,i} \leq \text{StartTime}_j \quad (3.14)$$

$$\text{EndTime}_{r,i} + \text{RestTime}_{r,i} - \text{StartTime}_j \leq 0 \quad (3.15)$$

$g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ คือ นักบินไม่ถูกจัดสรรให้ทำการบินในรูปแบบเที่ยวบินที่พิจารณา หรือถูกจัดสรรให้ทำการบินก็ได้มีค่า $x_{r,i,j} \leq 0$ ดังนั้น สามารถเขียนรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ของเงื่อนไขแบบ either-or ดังสมการที่ (3.16) และ สมการที่ (3.17)

$$\text{EndTime}_{r,i} + \text{RestTime}_{r,i} - \text{StartTime}_j \leq My \quad (3.16)$$

$$x_{r,i,j} \leq M(1 - y) \quad (3.17)$$

$$y \in \{0,1\}$$

4) การจับคู่ระหว่างกัปตันและนักบินผู้ช่วยแต่ละระดับที่มีข้อจำกัดความสามารถในการบินแตกต่างกันที่ได้ถูกกำหนดไว้ดังตารางที่ 1.3 จะสามารถเขียนแบบจำลองรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับคู่ นักบินทุกคู่ได้ ดังสมการที่ (3.18) ถึงสมการที่ (3.19)

นักบินตำแหน่ง r จะถูกจัดสรรให้ทำการบินรูปแบบเที่ยวบินที่ j ได้ไม่เกิน 1 คน หรือนักบินตำแหน่งงานเดียวกันไม่สามารถทำการบินรูปแบบเที่ยวบินเดียวกันได้ ดังสมการที่ (3.18)

$$\sum_{i \in I} x_{r,i,j} \leq 1, \forall r, j \quad (3.18)$$

นักบินตำแหน่ง FCS ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FCJ ดังสมการที่ (3.19)

$$\sum_{i \in I} x_{2,i,j} + \sum_{i \in I} x_{3,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.19)$$

นักบินตำแหน่ง FCS ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FCT ดังสมการที่ (3.20)

$$\sum_{i \in I} x_{2,i,j} + \sum_{i \in I} x_{4,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.20)$$

นักบินตำแหน่ง FCS ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOT ดังสมการที่ (3.21)

$$\sum_{i \in I} x_{2,i,j} + \sum_{i \in I} x_{7,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.21)$$

นักบินตำแหน่ง FCJ ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FCT ดังสมการที่ (3.22)

$$\sum_{i \in I} x_{3,i,j} + \sum_{i \in I} x_{4,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.22)$$

นักบินตำแหน่ง FCJ ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOJ ดังสมการที่ (3.23)

$$\sum_{i \in I} x_{3,i,j} + \sum_{i \in I} x_{6,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.23)$$

นักบินตำแหน่ง FCJ ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOT ดังสมการที่ (3.24)

$$\sum_{i \in I} x_{3,i,j} + \sum_{i \in I} x_{7,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.24)$$

นักบินตำแหน่ง FCT ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOS ดังสมการที่ (3.25)

$$\sum_{i \in I} x_{4,i,j} + \sum_{i \in I} x_{5,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.25)$$

นักบินตำแหน่ง FCT ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOJ ดังสมการที่ (3.26)

$$\sum_{i \in I} x_{4,i,j} + \sum_{i \in I} x_{6,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.26)$$

นักบินตำแหน่ง FCT ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOT ดังสมการที่ (3.27)

$$\sum_{i \in I} x_{4,i,j} + \sum_{i \in I} x_{7,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.27)$$

นักบินตำแหน่ง FOS ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOJ ดังสมการที่ (3.28)

$$\sum_{i \in I} x_{5,i,j} + \sum_{i \in I} x_{6,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.28)$$

นักบินตำแหน่ง FOS ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOT ดังสมการที่ (3.29)

$$\sum_{i \in I} x_{5,i,j} + \sum_{i \in I} x_{7,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.29)$$

นักบินตำแหน่ง FOJ ไม่สามารถทำการบินกับนักบินตำแหน่ง FOT ดังสมการที่ (3.30)

$$\sum_{i \in I} x_{6,i,j} + \sum_{i \in I} x_{7,i,j} \leq 1, \forall j \quad (3.30)$$

นักบินในแต่ละเที่ยวบินจะต้องมีจำนวน 2 คนเท่านั้นสามารถเขียนได้ ดังสมการที่ (3.31)

$$\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} x_{r,i,j} = 2, \forall j \quad (3.31)$$

กำหนดให้นักบินทุกคนที่ถูกจัดสรรให้ทำการบินจะต้องเป็นรูปแบบเที่ยวบินเดียวเท่านั้นสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.32)

$$\sum_{j \in J} x_{r,i,j} \leq 1, \forall r, i \quad (3.32)$$

3.1.2 วิธีการเขียนรหัสโปรแกรมโอพีแอลของปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

เมื่อสามารถสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ได้ครบทั้งวัตถุประสงค์และข้อจำกัดแล้วก็สามารถนำสมการเหล่านี้เขียนรหัสของโปรแกรมโอพีแอล ดังรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.3 และกรอกข้อมูลเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดดังรูปที่ 3.4

งานวิจัยนี้จึงของยกตัวอย่างการคำนวณเป็นปัญหามิติเล็กในการกรอกข้อมูลเพื่อให้เห็นและเข้าใจในการนำข้อมูลมาทำการคำนวณในโปรแกรม ซึ่งได้ทำการยกตัวอย่างปัญหาที่มีนักบินตำแหน่งงานด้วยกัน 7 ระดับจำนวนนักบิน 12 คน ประกอบด้วยตำแหน่งต่าง ๆ ตำแหน่งกับตันระดับครูฝึกนักบิน (FCIP) ตำแหน่งกับตันระดับอาวุโส (FCS) ตำแหน่งกับตันระดับปฏิบัติการ (FCJ) ตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับอาวุโส (FOS) และตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับปฏิบัติการ (FOJ) ตำแหน่งอย่างละ 2 คน ส่วนตำแหน่งกับตันระดับฝึกหัด (FCT) และตำแหน่งนักบินผู้ช่วยระดับฝึกหัด (FOT) ตำแหน่งอย่างละ 1 คน จึงต้องการจัดสรรคู่นักบินจำนวน 3 คู่เพื่อทำการบินสำหรับรูปแบบเที่ยวบิน 3 แบบ ดังตารางที่ 3.1 นักบินแต่ละคนจะมีชั่วโมงบินสะสมรายสัปดาห์ (6 วันที่ผ่านมา) รายเดือน (27 ที่ผ่านมา) จำนวนชั่วโมงที่ทำการปฏิบัติหน้าที่ของเมื่อวาน เวลาสิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่ของเมื่อวานและจำนวนชั่วโมงพักผ่อนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3.2 เพื่อให้ง่ายกับการคำนวณในโปรแกรมโอพีแอลจึงแปลงหน่วยชั่วโมงเป็นหน่วยนาที่เพื่อให้กรอกข้อมูลได้สะดวกและเหมาะสมสำหรับโปรแกรมนี้ ดังตารางที่ 3.3 ถึง 3.7 ส่วนค่าจ้างนักบินแต่ละตำแหน่ง ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.2 รูปแบบเที่ยวบินของปัญหาขนาดเล็ก

No.	Start	End	Duty(Hrs)	Flight(Hrs)	Pattern code	Nautical mile
1	4:40 AM	9:45 AM	5.05	2.40	O45	854
2	12:40 PM	7:50 PM	7.10	4.00	O20	1,039
3	12:35 PM	9:50 PM	9.15	4.30	O23	1,354

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดชั่วโมงสะสม เวลาปฏิบัติหน้าที่นักบินของปัญหาขนาดเล็ก

Rank	No.	Weekly time (Hrs)	Monthly time (Hrs)	Duty Time (Hrs)	End time	Rest time (Hrs)
FCIP	1	15.45	58.20	8.15	11:15 PM	10.00
	2	4.50	55.30	0.00	0:00	0.00
FCS	1	16.00	64.20	9.15	9:50 PM	10.00
	2	14.05	60.20	0.00	0:00	0.00
FCJ	1	5.20	50.40	5.05	9:45 AM	8.00
	2	12.30	59.05	0.00	0:00	0.00
FCT	1	13.40	42.05	8.15	11:15 PM	10.00
FOS	1	10.55	63.05	0.00	0:00	0.00
	2	9.35	51.15	5.05	9:45 AM	8.00
FOJ	1	16.15	61.30	9.15	9:50 PM	10.00
	2	11.10	57.20	0.00	0:00	0.00
FOT	1	6.55	38.00	0.00	0:00	0.00

ตารางที่ 3.4 ชั่วโมงบินสะสมรายสัปดาห์ ของ 6 วันที่ผ่านมา (นาทีก)

Rank/No.	1	2
1	945	290
2	960	845
3	320	750
4	820	1439
5	655	575
6	975	670
7	415	1439

ตารางที่ 3.5 ชั่วโมงบินสะสมรายเดือน ของ 27 วันที่ผ่านมา (นาทีก)

Rank/No.	1	2
1	1439	1439
2	960	845
3	320	750
4	820	1439
5	655	575
6	975	670
7	415	1439

ตารางที่ 3.6 เวลาสิ้นสุดการปฏิบัติหน้าที่ (นาทีก)

Rank/No.	1	2
1	675	0
2	590	0
3	585	0
4	675	1440
5	0	585
6	590	0
7	0	1440

ตารางที่ 3.7 เวลาพักผ่อน (นาทีก)

Rank/No.	1	2
1	600	480
2	600	480
3	480	480
4	600	900
5	480	480
6	600	480
7	480	900

ตารางที่ 3.8 ค่าจ้างนักบินแต่ละตำแหน่ง

Cockpit crew rank	Position rank	Position rate
1	FCIP	5200
2	FCS	5200
3	FCJ	5200
4	FCT	5200
5	FOS	4000
6	FOJ	3600
7	FOT	3600

```

int NumRange=...;
int NumCrew=...;
int NumFlight=...;

range R=1.NumRange;
range I=1.NumCrew;
range J=1.NumFlight;

int time{J}=...;
int PositionRate{R}=...;
int WeeklyTime{R,I}=...;
int MonthlyTime{R,I}=...;
int NauticalMile{J}=...;
int RestTime{R,I}=...;
int EndTime{R,I}=...;
int StartTime{J}=...;

dvar boolean x{R,I,J};
dvar boolean y{R,I,J};

```

รูปที่ 3.1 การกำหนดตัวแปร พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก

```

dexpr float objective = sum(i in I) sum(j in J) sum(r in R) (x[i][j] * PositionRate[r] * (NauticalMile[j] * 1000));

minimize objective;

```

รูปที่ 3.2 การกำหนดสมการวัตถุประสงค์ในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก

```

constraint1:
forall(r in R, i in I)
sum(j in J)
x[i][j] * time[j] * WeeklyTime[r] <= 2040;

constraint2:
forall(r in R, i in I)
sum(j in J)
x[i][j] * time[j] * MonthlyTime[r] <= 6600;

constraint3:
forall(r in R, j in J)
sum(i in I) x[i][j] <= 1;

constraint4:
forall(j in J)
sum(i in I) x[2][j] - sum(i in I) x[3][j] <= 1;

constraint5:
forall(j in J)
sum(i in I) x[2][j] - sum(i in I) x[4][j] <= 1;

constraint6:
forall(j in J)
sum(i in I) x[2][j] - sum(i in I) x[7][j] <= 1;

constraint7:
forall(j in J)
sum(i in I) x[3][j] - sum(i in I) x[4][j] <= 1;

constraint8:
forall(j in J)
sum(i in I) x[3][j] - sum(i in I) x[6][j] <= 1;

constraint9:
forall(j in J)
sum(i in I) x[3][j] - sum(i in I) x[7][j] <= 1;

constraint10:
forall(j in J)
sum(i in I) x[4][j] - sum(i in I) x[5][j] <= 1;

constraint11:
forall(j in J)
sum(i in I) x[4][j] - sum(i in I) x[6][j] <= 1;

constraint12:
forall(j in J)
sum(i in I) x[4][j] - sum(i in I) x[7][j] <= 1;

constraint13:
forall(j in J)
sum(i in I) x[5][j] - sum(i in I) x[6][j] <= 1;

constraint14:
forall(j in J)
sum(i in I) x[5][j] - sum(i in I) x[7][j] <= 1;

constraint15:
forall(j in J)
sum(i in I) x[6][j] - sum(i in I) x[7][j] <= 1;

constraint16:
forall(j in J)
sum(r in R, i in I) x[i][j] = 2;

constraint17:
forall(r in R, i in I)
sum(j in J) x[i][j] <= 1;

constraint18:
forall(r in R, i in I, j in J)
EndTime[r][i] - RestTime[r][i] - StartTime[j] <= (1000000 * y[r][i][j]);

constraint19:
forall(r in R, i in I, j in J)
x[i][j] <= (1000000 * (1 - y[r][i][j]));

```

รูปที่ 3.3 การกำหนดสมการข้อจำกัดในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก

3.1.3 ผลจากการแก้ปัญหาการจัดการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยโปรแกรมโอพีแอล

ผลการทดลองของการดำเนินงานเพื่อแก้ปัญหาการจัดการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมโอพีแอลในการหาคำตอบที่ดีที่สุด และการหาคำตอบที่ดีด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกโดยใช้โปรแกรมภาษาไพธอนในการเขียนเพื่อหาคำตอบ

```

NumRange=7;
NumCrew=2;
NumFlight=3;

time={160 240 270};
NM={854 1039 1354};
ST={1720 2200 2195};
PR={5200 5200 5200 5200 4000 3600 3600};
WT={945 580 1120 845 2040 750 1110 2040 910 2040 1135 2040 415 2040};
MT={3500 3330 3860 3620 6600 3545 2525 6600 3785 6600 3690 6600 2280 6600};
EN={1395 0 1310 0 1440 0 1395 1440 0 1440 1310 1440 0 1440};
RT={600 0 600 0 1000 0 600 1000 0 1000 600 1000 0 1000};

```

รูปที่ 3.4 ข้อมูลในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก

จากที่ได้ทำการเขียนแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แล้วทำการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด โปรแกรมโอพีแอลให้ผลค่าจ้างนักบินที่น้อยที่สุดเป็นจำนวน 28,915 บาท 2 สตางค์ โดยจะเลือกคู่นักบิน 3 คู่ที่ทำการบินสำหรับ 3 รูปแบบเที่ยวบิน โดยจัดสรรให้นักบินตำแหน่ง FCJ คนที่ 2 คู่กับนักบินตำแหน่ง FOS คนที่ 1 บินรูปแบบเที่ยวบินที่ 1 (หมายเลข O45) ,นักบินตำแหน่ง FCIP คนที่ 2 คู่กับนักบินตำแหน่ง FOT คนที่ 1 บินรูปแบบเที่ยวบินที่ 2 (หมายเลข O20) และนักบินตำแหน่ง FCS คนที่ 2 คู่กับนักบินตำแหน่ง FOJ คนที่ 1 บินรูปแบบเที่ยวบินที่ 3 (หมายเลข O23) ดังรูปที่ 3.5

```
//solution (optimal)with objective 28915.2
x =#0 0 0;1 0 0;#0 0 0;1 0 0 1;#0 0 0;1 0 0;#0 0 0;1 0 0 0;#1 0 0;1 0 0 0;
#0 0 1;1 0 0 0;#0 1 0;1 0 0 0;#;
y =#1 0 0;1 0 0 0;#1 0 0;1 1;1 0 0 0;#1 0 0;1 1 1;#0 0 0;1 1 1;#;
#1 0 0;1 1 1;#0 0 0;1 1 1;#;
```

รูปที่ 3.5 ผลการรันคำตอบในโปรแกรม OPL ของปัญหาขนาดเล็ก

ในการศึกษางานวิจัยการจัตตารางปฏิบัติการนักบินจะเป็นการปรับปรุงการจัตตารางของพนักงานวางแผนที่ดำเนินงานอยู่ในปัจจุบันให้ดีขึ้น ลดความยุ่งยากซับซ้อน หลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดพร้อมยังสามารถประเมินวัตถุประสงค์ของการจัตตารางที่เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจได้ การที่จะประเมินวัตถุประสงค์ได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพของวิธีการค้นหาคำตอบ เนื่องจากการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการจัตตารางปฏิบัติการนักบินใช้เวลานานมากจึงไม่เหมาะสมกับการดำเนินงานจริงในปัจจุบัน ดังนั้น การปรับปรุงวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีของปัญหาให้มีประสิทธิภาพด้วยอัลกอริทึมที่ศึกษาจากงานวิจัยเหล่านี้ได้ประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาแบบเอ็นพีฮาร์ดจึงเล็งเห็นว่าสามารถเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยนี้ เห็นได้ว่างานวิจัยนี้มีทั้งด้านการปรับปรุงที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษาและด้านวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการนำอัลกอริทึมมาปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหาของการค้นหาคำตอบ ซึ่งจะช่วยให้สายการบินกรณีศึกษาสามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถจัตตารางปฏิบัติการนักบินได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ จึงทำการศึกษาวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีเมตาฮีริสติก และเปรียบเทียบผลด้วยวิธีการอื่นรายละเอียดจากกล่าวในบทถัดไป นอกจากนี้งานวิจัยที่ทำการศึกษายังสามารถเป็นแนวทางให้แก่นักวิจัยท่านอื่น ๆ ที่สนใจในการปรับปรุงวิธีการค้นหาคำตอบของปัญหาการจัตตารางได้อีกด้วย

บทที่ 4

วิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีของวิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก (Multi-Objective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition : MOEA/D) สำหรับประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน นอกจากนี้ยังอธิบายรวมไปถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการคำนวณ

4.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึม MOEA/D

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบขั้นตอนวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกหรือ MOEA/D มีเป้าหมายที่จะเพิ่มจำนวนคำตอบที่ดีที่อยู่ในพื้นที่ที่เป็นไปได้ในเส้นพारेโต (Pareto front) และเป็นวิธีการที่จะนำไปสู่คำตอบที่ดีได้รวดเร็วสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ การที่จะต้องแก้ปัญหาที่มีข้อจำกัดมากและเป็นปัญหาขนาดใหญ่การที่ค้นหาวิธีนำไปสู่คำตอบได้รวดเร็วนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่งานวิจัยนี้ได้นำวิธี MOEA/D ที่สามารถช่วยให้การค้นหาคำตอบที่ดีได้ในเวลาอันสั้น โดยนำหลักการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ของหลักการจำแนกปัญหาที่ถูกพัฒนาโดย Zhang and Li (2007) ที่มีแนวคิดในการแก้ปัญหาโดยการพัฒนาคำตอบแบบมากรวมวัตถุประสงค์ไปพร้อมๆ กันด้วยการสร้างจุดของค่าถ่วงน้ำหนัก (Point of Weight : λ_p) และกำหนดจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood Point) ด้วยระยะห่างระหว่างจุดแบบยูคลิดีอัน (Euclidian Distance) เพื่อใช้ในการระบุประชากรย่อย (Subpopulation) หรือปัญหาย่อย (Subproblem) นั้นเอง

จากนั้นใช้วิธีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) เพื่อพัฒนาคำตอบของประชากร (Population) ในแต่ละเจเนอเรชันซึ่งเป็นวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ที่จะให้คำตอบรุ่นลูกที่ได้มีความคล้ายคลึงกับคำตอบรุ่นเดิมที่เป็นค่าดี และประเมินคำตอบที่ดีด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) แล้วคำนวณค่าเชบิเชฟ (Tchebycheff Approach) เพื่อการเลือกคำตอบที่ดีมาแทนที่ในแต่ละจุดตั้งต้น จากนั้นนำสตริงลูกที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับค่าเชบิเชฟระหว่างสตริงลูกที่ได้จากการปรับปรุงวิธีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมมาเก็บเข้าพื้นที่จัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุด (Elitist) ตลอดกระบวนการค้นหาคำตอบ ซึ่งหลังจากดำเนินการกระบวนการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบขั้นตอนวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกครบเจเนอเรชันจะทำการ

เก็บคำตอบที่ดีในแต่ละเจเนอเรชันด้วยวิธีการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำ (Non-Dominate Sorting) ของผลคำตอบคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากกลุ่มประชากรและ Elitist

4.2 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D

พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D คือ จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ และร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ (Lattice: H)

จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักจะเป็นตัวกำหนดจำนวนจุดของค่าถ่วงน้ำหนัก (Lambda Set) หรือจำนวนของสตริงคำตอบ (Number of Population) โดยค่าถ่วงน้ำหนักจะมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$

2. จำนวนของจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood of Each Weight Vector: T)

จำนวนของจุดเพื่อนบ้านเป็นตัวกำหนดจำนวนของประชากรย่อยในการพัฒนาคำตอบในแต่ละจุดของค่าถ่วงน้ำหนักที่พิจารณา โดยจำนวนของประชากรย่อยจะเท่ากับ $T + 1$

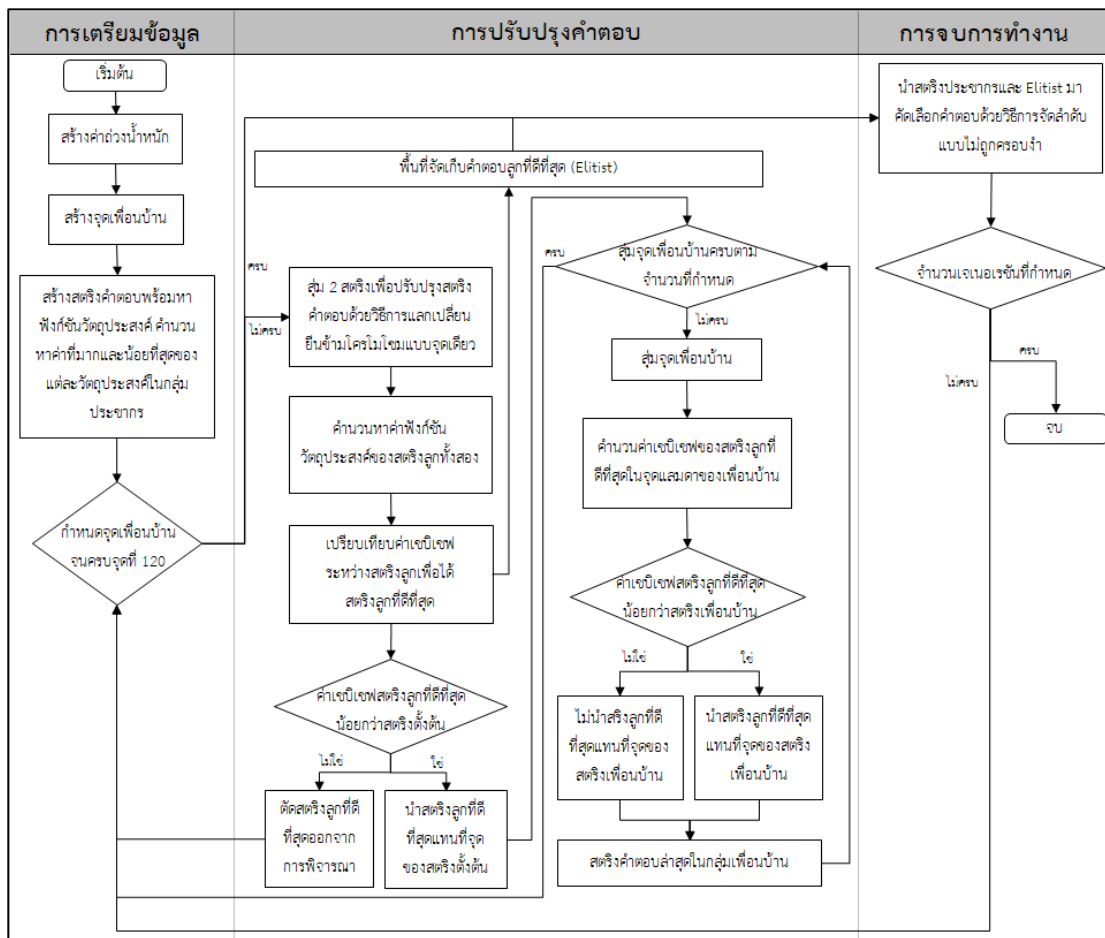
3. ร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน (%Replace)

ร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านจะเป็นตัวกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดที่ใกล้เคียงเพื่อนบ้านมาเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และแทนที่คำตอบของจุดเพื่อนบ้านที่สุ่มได้ด้วยวิธีการคำนวณค่าจำนวนครั้ง คือ ค่าร้อยละ $\times (T+1)$ โดยที่ T คือ จำนวนจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood of Each Weight Vector)

4.3 ขั้นตอนการทำงานของ MOEA/D สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม MOEA/D สำหรับการแก้ไขปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินในงานวิจัยนี้ จะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ และขั้นตอนการจบการทำงาน ซึ่งวิธี MOEA/D ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆโดยรวม ดังรูปที่ 4.1

1. การสร้างตารางแลมดา เริ่มต้นทำการกำหนดค่าแลมดา (Lambda: λ) จากโปรแกรม Minitab เลือกใช้การออกแบบซิมเพลกซ์แลคติส (Simplex-lattice design) โดยกำหนดค่าจำนวนแลมดาตามจำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาซึ่งจะใช้ชุดแลมดาจำนวน 120 ชุดสำหรับระบุตำแหน่งของสตริงคำตอบ 120 ชุด แลมดาจะเป็นตัวระบุตำแหน่งเวกเตอร์ให้แก่สตริงคำตอบแต่ละชุดสตริงคำตอบที่ 1 จะถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งของแลมดาชุดที่ 1 (λ_m^1) และชุดสตริงคำตอบที่ 2 เช่นกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2 จึงกำหนดชุดแลมดาได้ดังสมการที่ (4.1) ในการกำหนดค่าแลมดา



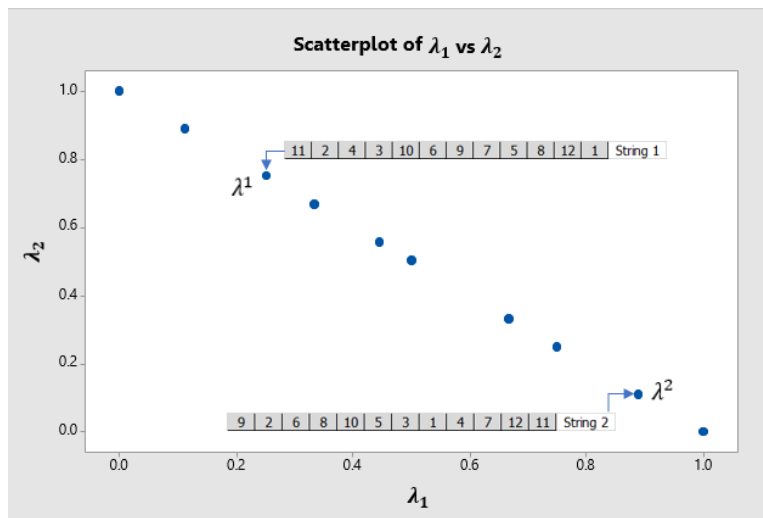
รูปที่ 4.1 แผนผังการไหลของวิธี MOEA/D

แต่ละชุดจะต้องมีผลรวมของแลมด่าย่อยเป็น 1 เสมอ ดังสมการที่ (4.2) λ^i คือ ค่าน้ำหนักตำแหน่งเวกเตอร์ ของสตริงคำตอบชุดที่ i แบบหลายวัตถุประสงค์ที่ m วัตถุประสงค์ โดยที่ $\lambda_j^i \geq 0$ สำหรับทุก $\forall j = 1, \dots, m$ และ N_p คือ ขนาดประชากร

$$\lambda^i = (\lambda_1^i, \dots, \lambda_m^i)^T \quad (4.1)$$

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j^i = 1 \quad (4.2)$$

การกำหนดขนาดประชากรคิดจากการออกแบบซิมเพลกซ์แลคคิตีที่มี m วัตถุประสงค์ ในแต่ละวัตถุประสงค์จะให้ $H + 1$ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 จะมีค่าเป็น C_{H+m-1}^{m-1} ยกตัวอย่าง เช่น $m = 3$, $H = 3$, $N_p = C_5^2 = 10$ จุดประกอบไปด้วยค่าตำแหน่งเวกเตอร์ที่แตกต่างกัน ดังนี้ (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (1/3,1/3,1/3), (0,1/3,2/3), (1/3,0,2/3), (1/3,2/3,0), (0,2/3,1/3), (2/3,1/3,0), และ (2/3,0,1/3) โดยกำหนดค่าจำนวนแลมด่าตามจำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะได้เมทริกซ์ขนาดเท่ากับ



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งเวกเตอร์ของสตริงคำตอบชุดที่ 1 และชุดที่ 2

จำนวนจุดของค่าถ่วงน้ำหนักทั้งหมด (P) \times จำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด (m) ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้มี 4 วัตถุประสงค์ จะได้ตารางเมทริกซ์ขนาด 120×4 และมีค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละจุดค่าถ่วงน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.1 การคำนวณหาค่าตอบแต่ละครั้งจะใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเลขเหล่านี้เหมือนเดิมไม่จำเป็นต้องคำนวณใหม่ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับการแก้ปัญหา 4 วัตถุประสงค์ ข้อมูลที่ใช้สามารถดูทั้งหมดได้จากภาคผนวกรูปที่ ก1

ตารางที่ 4.1 ค่าถ่วงน้ำหนัก λ_{im} ในแต่ละจุดค่าถ่วงน้ำหนัก λ^i

λ^i	λ_{i1}	λ_{i2}	λ_{i3}	λ_{i4}
1	0.71429	0	0.28571	0
2	0.28571	0	0.57143	0.14286
3	0.57143	0	0.42857	0
...
120	0	0	0.28571	0.71429

2. วิธีการคำนวณระยะทาง เนื่องจากค่าแลมดาเป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณทุกกรอบเหมือนกันภายใต้จำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียวกัน ดังนั้น การคำนวณหาตำแหน่งแลมดาที่เป็นเพื่อนบ้านไม่จำเป็นต้องคำนวณใหม่ทุกครั้ง จึงสามารถทำเป็นตารางไว้ให้โปรแกรมดึงไปใช้คำนวณได้โดยไม่ต้องคำนวณใหม่ทุกกรอบ สูตรหาระยะทางระหว่างจุดแลมดาด้วยการหาระยะทางแบบวิธียูเคลเดียน (Euclidean distance) หาจุดแลมดาที่เป็นเพื่อนบ้านโดยคิดได้จากระยะทางของเวกเตอร์ที่น้อยที่สุด ดังสมการที่ (4.3)

$$\text{dist}((x, y), (a, b)) = \sqrt{(x - a)^2 + (y - b)^2} \quad (4.3)$$

เมื่อได้ค่าระยะทางของแลมดาแต่ละชุดว่ามีเพื่อนบ้านเป็นระยะทางต่าง ๆ กันนำค่าระยะทางที่คำนวณได้มาเรียงลำดับจากน้อยไปมากทำให้ทราบได้ว่าค่าระยะทางของจุดแลมดาใดที่ใกล้ที่สุดตามจำนวนอันดับที่กำหนดตามจำนวนเพื่อนบ้านไว้ จะได้หมายเลขจุดเพื่อนบ้านของแต่ละจุดตั้งต้นดังตารางที่ 4.2 ในการใช้อัลกอริทึมในการคำนวณหาคำตอบแต่ละครั้งจะใช้กลุ่มเพื่อนบ้านเลขเหล่านี้เหมือนเดิมไม่จำเป็นต้องคำนวณใหม่ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กลุ่มเพื่อนบ้านที่มีจำนวน 9 ชุดข้อมูลที่ใช้สามารถดูทั้งหมดได้จากภาคผนวก รูปที่ ก2

3. การสร้างชุดสตรึงคำตอบจำนวน 120 ชุด โดยในสตรึงจะประกอบด้วยหมายเลขนักบินตามจำนวนนักบินที่จะนำมาทำการจัดตาราง ทำการสุ่มลำดับก่อนหลังด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน การนำชุดสตรึงคำตอบไปจัดตารางของงานวิจัยนี้จะพิจารณาตามหมายเลขนักบินซึ่งนักบินแต่ละคนจะมีข้อมูลสะสมที่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้เข้าใจถึงการจัดตารางที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จึงอธิบายรายละเอียดของชุดสตรึงคำตอบที่เกี่ยวข้องกับนักบิน โดยชุดสตรึงคำตอบนั้นจะประกอบด้วยหมายเลขนักบินเพื่อเป็นลำดับของคำตอบที่ทำการพิจารณาในการจัดสรรคู่นักบินให้แก่หมายเลขรูปแบบเที่ยวบินใด ๆ ที่ทำการจัดตารางในวันหนึ่ง ๆ

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างจุดเพื่อนบ้านมีจำนวน 9 ชุด

Initial No.	- Neighborhood								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3	9	11	17	27	38	43	107	114
2	16	19	24	26	34	62	64	78	101
3	1	6	11	16	17	43	58	78	84
...
120	28	30	36	40	89	92	109	116	4

การจัดตารางนี้จะนำหมายเลขนักบินตามลำดับที่สตรึงชุดคำตอบระบุไว้ไปทำการจัดตารางภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่ หากนักบินหมายเลขที่ทำการพิจารณาอยู่ไม่ผ่านข้อจำกัดใดข้อจำกัดหนึ่งจะพิจารณานักบินหมายเลขอื่นในลำดับถัดไปจนกว่าจะได้คู่นักบินครบจำนวนคนของรูปแบบเที่ยวบินที่พิจารณาอยู่เป็นการกวาดลำดับจากซ้ายไปขวา (First fit sweep) เมื่อครบคู่นักบินแล้วให้ทำการจัดสรรนักบินให้รูปแบบเที่ยวบินหมายเลขถัดไป โดยนักบินที่ถูกข้ามไปของการพิจารณาการจัดสรรคู่นักบินในรอบรูปแบบเที่ยวบินที่แล้วก็จะถูกนำมาพิจารณาอีกครั้ง เนื่องจากนักบินคนดังกล่าวอาจจะผ่านข้อจำกัดบางประการอาจจะถูกจัดสรรให้รูปแบบเที่ยวบินอื่น ๆ ได้ การจัดตารางนี้จะสิ้นสุดเมื่อ

ทำการจัดสรรคู้นักบินจนครบทุกหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินของวันที่ทำการพิจารณา ชุดสตริงคำตอบที่นำมาพิจารณาแต่ละชุดจะมีหมายเลขนักบินในลำดับที่แตกต่างกันแต่จะยังคงจำนวนที่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.3 มีชุดสตริงคำตอบ 2 ชุด นักบินมีจำนวน 12 คน ช่องในชุดสตริงคำตอบหมายถึงลำดับความสำคัญก่อนหลัง (Priority) ที่นำมาพิจารณา เช่น นักบินในช่องที่ 1 หมายถึง นักบินลำดับแรก และถัดไปจนถึงช่องที่ 12 เป็นนักบินลำดับสุดท้ายที่นำมาพิจารณา นำสตริงในประชากรทั้งหมดนี้ไปทำการจัดตารางนักบินภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้วเก็บค่าไว้

ช่องที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

สตริงชุดคำตอบที่ 1	11	2	4	3	10	6	9	7	5	8	12	1
--------------------	----	---	---	---	----	---	---	---	---	---	----	---

สตริงชุดคำตอบที่ 2	9	2	6	8	10	5	3	1	4	7	12	11
--------------------	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	----	----

รูปที่ 4.3 สตริงคำตอบชุดที่ 1 และชุดที่ 2

4. การที่จะระบุตำแหน่งจุดแลมดาให้แก่สตริงชุดคำตอบใด ๆ ที่ได้สร้างมาแล้ว ให้กำหนดแลมดาชุดที่ 1 เป็นตำแหน่งของสตริงชุดคำตอบชุดที่ 1 และถัดไปจนถึง แลมดาชุดที่ 120 เป็นตำแหน่งของสตริงชุดคำตอบชุดที่ 120 การดำเนินการวิธี MOEA/D กำหนดแลมดาตั้งต้นตามลำดับชุดแลมดาเริ่มจากแลมดาชุดที่ 1 ถึง 120 กำหนดให้จุดแลมดาตั้งต้นเป็นจุดแลมดาที่ 1 และสตริงตั้งต้นเป็นสตริงที่ 1 เพื่อที่จะทราบว่าเป็นบ้านของแต่ละชุดแลมดาที่จะเป็นสตริงตั้งต้นนั้นประกอบด้วยเพื่อนบ้านจุดแลมดาใดบ้าง นำเพื่อนบ้านจากการคำนวณหาระยะทางระหว่างจุดแลมดามาแล้วนั้นมาทำการสุ่มแลมดามา 2 ชุดจากกลุ่มเพื่อนบ้าน 9 ชุดด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน จะได้สตริงคำตอบพ่อและสตริงคำตอบแม่เพื่อทำการปรับปรุงชุดคำตอบด้วยการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียว (Single Point Crossover) ทำการสุ่มเลือกช่วงที่จะทำการตัดเพื่อข้ามโครโมโซมด้วยเป็นความน่าจะเป็นที่เท่ากันของช่วงตำแหน่งที่อยู่ติดกัน เช่น สตริงคำตอบมีจำนวนนักบิน 12 คนจะมีช่วงของการสุ่มหาช่วงการตัดข้ามโครโมโซมหรือจุดตัด (Cut Point) จำนวน 11 ช่วง เป็นต้น ตัวอย่างของสตริงคำตอบชุดที่ 1 ให้เป็นสตริงพ่อ และชุดที่ 2 ให้เป็นสตริงแม่ ดังรูปที่ 3.9 ทำการสุ่มหาช่วงตัดของการแลกเปลี่ยนพันธุกรรม โดยแบ่งให้ 11 ช่วงมีความน่าจะเป็นที่เท่ากันเป็นช่วงละ $1/11$ หรือ 0.0909 สุ่มค่าตัวเลขที่มีค่า 0 ถึง 1 สมมติว่าสุ่มได้ค่าเท่ากับ 0.8381 จึงตัดในช่วงที่ 10 (มีค่าความน่าจะเป็นอยู่ระหว่าง 0.8181 ถึง 0.9090) ดังตารางที่ 4.3

การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมระหว่างสองสตริงคำตอบที่จุดตัดช่วงที่ 10 จะได้สตริงคำตอบชุดใหม่เป็นสตริงคำตอบลูกจำนวน 2 ชุด ขั้นตอนของวิธีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมนี้จะมีการคัดลอกบางส่วนจากสตริงพ่อแม่อีกส่วนที่เหลือจะทำการปรับปรุง (Repair) เลขตามวิธี OX

Crossover ที่เป็นแนวคิดของ Davis (1985) โดยได้ทำการสุ่มจุดตัดมาแล้วจากนั้นทำการสุ่มเพื่อเลือกที่จะปรับปรุงโครโมโซมที่ครึ่งแรกหรือครึ่งหลัง สมมติสุ่มให้มีการปรับปรุงที่โครโมโซมครึ่งหลัง ทำการคัดลอกครึ่งแรกของสตริงพ่อแม่ให้แก่สตริงลูกที่ 1 และตรวจสอบดูแลแต่ละบิตของสตริง

ตารางที่ 4.3 การกำหนดช่วงการตัดของการแลกเปลี่ยนพันธุกรรม

ช่วงที่	ช่วงระหว่างลำดับที่	ช่วงความน่าจะเป็น
1	1-2	≤ 0.0909
2	2-3	$0.0909 < x \leq 0.1818$
3	3-4	$0.1818 < x \leq 0.2727$
4	4-5	$0.2727 < x \leq 0.3636$
5	5-6	$0.3636 < x \leq 0.4545$
6	6-7	$0.4545 < x \leq 0.5454$
7	7-8	$0.5454 < x \leq 0.6363$
8	8-9	$0.6363 < x \leq 0.7272$
9	9-10	$0.7272 < x \leq 0.8181$
10	10-11	$0.8181 < x \leq 0.9090$
11	11-12	> 0.9090

แม้ว่ามีค่าใดที่ไม่ซ้ำกับส่วนที่คัดลอกครึ่งแรกบ้างก็ให้นำค่านั้นวางที่ตำแหน่งบิตถัดไปของส่วนครึ่งหลังจนครบทุกบิต ส่วนสตริงลูกที่ 2 ให้ทำการคัดลอกครึ่งแรกของสตริงแม่ให้แก่สตริงลูกที่ 2 แล้วตรวจสอบดูแลแต่ละบิตของสตริงพ่อแม่ว่ามีค่าใดที่ไม่ซ้ำกับส่วนที่คัดลอกไปครึ่งแรกบ้างก็ให้นำค่านั้นวางที่ตำแหน่งบิตถัดไปของส่วนครึ่งหลังจนครบทุกบิต จะได้สตริงลูกทั้งสอง ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

สตริงพ่อแม่	11	2	4	3	10	6	9	7	5	8	12	1
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
สตริงลูกที่ 1	11	2	4	3	10	6	9	7	5	8	1	12
											↗	↗
สตริงแม่	9	2	6	8	10	5	3	1	4	7	12	11

รูปที่ 4.4 สตริงลูกตัวที่ 1 จากการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียว

สตริงพ่อ	11	2	4	3	10	6	9	7	5	8	12	1
สตริงลูกที่ 2	9	2	6	8	10	5	3	1	4	7	11	12
สตริงแม่	9	2	6	8	10	5	3	1	4	7	12	11

รูปที่ 4.5 สตริงลูกตัวที่ 2 จากการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียว

5. ดำเนินการนำสตริงลูกทั้งสองที่ได้มาใหม่นี้ (สตริงคำตอบลูกที่ 1 และสตริงคำตอบลูกที่ 2) ไปทำการจัดตารางนักบินภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

6. นำสตริงตั้งต้นและสตริงลูก 2 ชุดมาทำการคำนวณในสูตรเชบิเชฟ (Tchebycheff) ดังสมการที่ 4.4 แต่ด้วยปัญหานี้มีหลายวัตถุประสงค์และแต่ละวัตถุประสงค์มีผลของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตัวเลขขนาดไม่เท่ากัน เช่น ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้านค่าใช้จ่ายมีค่ามากกว่าหลักหมื่น เพราะคิดเป็นจำนวนเงิน ส่วนค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้านภาระงานมีค่าเป็นหลักร้อยเพราะคิดเป็นจำนวนนาทิต เป็นผลทำให้ไม่สามารถนำมาเทียบกันได้ ในงานวิจัยนี้จึงต้องทำให้เลขเป็นเลขที่เทียบกันได้ด้วยการทำให้เป็นค่ามาตรฐาน (Normalize) ดังสมการที่ 4.5 ก่อนเข้าสู่สูตรเชบิเชฟ การคำนวณค่ามาตรฐานนี้จะได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละวัตถุประสงค์ที่เป็นเลขมาตรฐานสามารถมาเทียบเป็นสัดส่วนมากน้อยกันได้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 กำหนดให้เลขศูนย์เป็นค่าที่ดีที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ส่วนเลขหนึ่งเป็นค่าที่แย่ที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ กรณีหาค่าวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด (Minimization) ให้เลือกค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบค่ามาตรฐานที่มีค่าต่ำที่สุดเป็นค่าที่ดีที่สุด อีกกรณีถ้าหาค่าวัตถุประสงค์ที่มากที่สุด (Maximization) ให้เลือกค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบค่ามาตรฐานที่มีค่ามากที่สุดเป็นค่าที่ดีที่สุด ดังสูตรที่ เป็นการหาค่ามาตรฐานฐาน (f'_m) โดยที่แกมมา γ เป็นค่าบวกที่น้อยมาก ๆ แทนเพื่อไม่ให้ช่วงของการหาเลขมาตรฐานนี้มีค่าบวกที่เป็นไปไม่ได้ จึงกำหนดให้แกมมามีค่าเท่ากับ 0.000001

สูตรเชบิเชฟ (Tchebycheff)

$$\text{minimize } g^{\text{te}}(x|\lambda, z^*) = \max_{1 \leq i \leq 2} \{ \lambda_1^i |f_1(x) - z^*|, \lambda_2^i |f_2(x) - z^*| \} \quad (4.4)$$

สูตรการหาค่ามาตรฐาน (Normalize)

$$f'_m = \frac{f_m - f_{\min} + \gamma}{f_{\max} - f_{\min} + \gamma} \quad (4.5)$$

เพื่อการคำนวณสมการที่ 4.4 หาค่าเซบิเซฟที่ทำให้ค่าวัตถุประสงค์ที่มากที่สุดของชุดคำตอบมีค่าน้อยที่สุด โดยที่ z^* เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบค่ามาตรฐานที่ดีที่สุดในวัตถุประสงค์ใด ๆ ทำการเลือกค่าเซบิเซฟที่มากที่สุด จะได้ค่าเซบิเซฟของสตริงที่ $1 \max\{\lambda_1^i |f'_1(x) - z^*|, \lambda_2^i |f'_2(x) - z^*|\}$

ตัวอย่างที่ 4.1 การคำนวณค่าเซบิเซฟของสตริงตั้งต้น

สมมติค่าที่ได้จากการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 4 ตัวของสตริงตั้งต้น (Initial String) มีค่าเท่ากับ 671580.00, 0.7812, 24, 0.5861 ตามลำดับ สตริงลูกที่ 1 (Offspring 1) มีค่าเท่ากับ 662254.39, 0.5762, 31 และ 0.5884 ตามลำดับ และสตริงลูกที่ 2 (Offspring 2) มีค่าเท่ากับ 1345664.20, 0.3553, 33 และ 0.8742 ตามลำดับ นำไปทำการหาค่ามาตรฐาน โดยจะมีค่าที่มากที่สุดในการของแต่ละวัตถุประสงค์ คือ 1970586.50, 0.9036, 34 และ 0.8822 ตามลำดับ และค่าที่น้อยสุดในการของแต่ละวัตถุประสงค์ คือ 632560.20, 0.3416, 14 และ 0.4909 ตามลำดับ โดยนำไปแทนสูตรการหาค่ามาตรฐาน (Normalize) เช่น หาค่าของสตริงตั้งต้นสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 1 ดังนี้

$$\begin{aligned} f'_1 &= \frac{f_m - f_{min} + \gamma}{f_{max} - f_{min} + \gamma} \\ &= \frac{f_1 - f_{min} + 0.000001}{f_{max} - f_{min} + 0.000001} \\ &= \frac{671580.00 - 632560.20 + 0.000001}{1970586.50 - 632560.20 + 0.000001} \\ &= 0.0291 \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่าครบทุกตัวจะได้ค่าวัตถุประสงค์ค่าใหม่สำหรับใช้คำนวณในสูตรเซบิเซฟ ดังตารางที่ 4.4 และนำไปแทนในสูตรเซบิเซฟ และกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของสตริงตั้งต้นของทั้ง 4 วัตถุประสงค์เท่ากับ 0.7142, 0, 0.2857 และ 0 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าวัตถุประสงค์ (f) และค่ามาตรฐาน (f') ของตัวอย่างที่ 4.1

String	f_1	f'_1	f_2	f'_2	f_3	f'_3	f_4	f'_4
Initial	671580	0.0291	0.7812	0.7822	24	0.5000	0.5861	0.2432
Offspring1	662254	0.0221	0.5762	0.4173	31	0.8500	0.5884	0.2493
Offspring2	1345664	0.5329	0.5884	0.0244	33	0.9500	0.8742	0.9797

หาค่าเซบิเซฟของสตริงตั้งต้นที่มี 4 วัตถุประสงค์

$$\text{minimize } g^{\text{te}}(x|\lambda, z^*) = \max_{1 \leq i \leq 4} \{\lambda_1^i |f'_1(x) - z^*|, \lambda_2^i |f'_2(x) - z^*|\}$$

แทนค่าถ่วงน้ำหนัก λ_1 ของแต่ละวัตถุประสงค์

$$= \max_{1 \leq i \leq 4} \{0.7142|f'_1(x) - z^*|, 0|f'_2(x) - z^*|, 0.2857|f'_2(x) - z^*|, 0|f'_2(x) - z^*|\}$$

แทนค่า $z^* = 0$ คือ ค่ามาตรฐานของแต่ละวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด

$$= \max_{1 \leq i \leq 4} \{0.7142|f'_1(x) - 0|, 0|f'_2(x) - 0|, 0.2857|f'_2(x) - 0|, 0|f'_2(x) - 0|\}$$

แทนค่า $f'_m(x)$ คือ ค่ามาตรฐานของสตริงตั้งต้นในแต่ละวัตถุประสงค์

$$= \max_{1 \leq i \leq 4} \{0.7142|0.0291 - 0|, 0|0.7822 - 0|, 0.2857|0.5 - 0|, 0|0.2432 - 0|\}$$

$$= \max_{1 \leq i \leq 4} \{0.0207, 0, 0.1428, 0\}$$

จะได้ ค่าเซบิเซฟของสตริงตั้งต้นเท่ากับ 0.1428

7. ทำการเทียบค่าเซบิเซฟระหว่างสตริงลูกทั้งสอง หากสตริงใดมีค่าเซบิเซฟมากกว่าให้ตัดออกจากการพิจารณา และเก็บผลของสตริงลูกที่ดีไว้ในเก็บเข้าพื้นที่จัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุด (Elitist) แล้วนำสตริงลูกที่มีค่าเซบิเซฟน้อยกว่าไปทำการเทียบกับสตริงตั้งต้นของการดำเนินวิธีการ MOEA/D รอบปัจจุบันของตัวอย่างนี้ให้การหาจุดเพื่อนบ้านเริ่มจากเทียบจุดแลมดาชุดที่ 1 จึงให้นำค่าเซบิเซฟของสตริงลูกไปเทียบกับค่าเซบิเซฟของสตริงเพื่อนบ้านชุดที่ 1 ก่อนเพื่อตรวจสอบว่าหากค่าเซบิเซฟของสตริงลูกมีค่าน้อยกว่าสตริงเพื่อนบ้านชุดตั้งต้นนี้ เมื่อสตริงลูกชุดใดมีค่าเซบิเซฟน้อยกว่าสตริงคำตอบตั้งต้นก็ให้ดำเนินการเทียบค่าเซบิเซฟของสตริงลูกกับสตริงเพื่อนบ้านชุดอื่น ๆ 3 ชุดหรือจำนวน 30 % ของจำนวนเพื่อนบ้านที่เหลือ ทำการสุ่มเพื่อนบ้านอีก 3 ชุดจาก 9 ชุดที่เหลือด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน จะได้แลมดาจำนวน 3 ชุด นำค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงชุดคำตอบลูกที่ได้จากการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมแล้วมาคำนวณค่าเซบิเซฟด้วยแลมดาชุดที่ถูกเลือกทั้ง 3 ชุดนี้

8. เมื่อเทียบค่าเซบิเซฟของสตริงลูกกับสตริงเพื่อนบ้านครบ 3 ชุดแล้วจะเห็นได้ว่ามีสตริงใดที่มีค่าเซบิเซฟน้อยกว่าจะเป็นสตริงชุดคำตอบที่ดีที่สุด ให้นำชุดสตริงคำตอบลูกชุดนี้แทนที่จุดแลมดาของเพื่อนบ้านชุดที่มีค่าเซบิเซฟมากกว่า แล้วทำการลบชุดสตริงคำตอบเพื่อนบ้านในจุดแลมดานี้ออกไป

9. จากการทำวิธี MOEA/D นี้จะได้ประชากรชุดใหม่จำนวน 120 ชุดเท่าเดิมแต่ประกอบไปด้วยสตริงคำตอบไม่เหมือนเดิมเพราะได้ถูกแทนที่ด้วยชุดสตริงคำตอบลูกหรือสตริงคำตอบที่ดี ให้นำประชากรที่ได้จากการทำด้วยวิธี MOEA/D ของรอบนี้ไปเป็นประชากรเริ่มต้นสำหรับการวนรอบการทำวิธี MOEA/D ต่อไปโดยใช้แลมดาชุดเดิม แต่ใช้สตริงคำตอบที่เปลี่ยนไปแล้วจากการทำของรอบนี้ โดยทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 จนได้สตริงประชากรชุดใหม่

บทที่ 5

วิธีการผสมพันธุ์ผึ้งสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีของวิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง (Honey Bee Mating Optimization: HBMO) สำหรับประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน นอกจากนี้ยังอธิบายรวมไปถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการคำนวณ

5.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึม HBMO

วิธีเมตาฮิวริสติกอีกตัวหนึ่งที่ใช้เพื่อการค้นหาคำตอบที่ดีในระยะเวลาอันสั้น คือ อัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้ง (Honey Bees Mating Optimization หรือ HBMO) วิธีการนี้จะอ้างอิงพฤติกรรมทางธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับการผสมพันธุ์ของผึ้งมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงเพื่อค้นหาคำตอบที่ดี โดยทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึม HBMO นี้เริ่มจากรังผึ้งเป็นที่สำหรับวางไข่ของราชินีผึ้ง ประกอบด้วยราชินี ผึ้งตัวผู้และผึ้งงาน สำหรับพฤติกรรมการผสมพันธุ์ผึ้งเริ่มจากราชินีผึ้งทำการส่ายกันโดยที่ผึ้งตัวผู้จะบินไปผสมพันธุ์บนอากาศเพื่อเป็นการเลือกคู่พ่อแม่ของตัวอ่อน ราชินีผึ้งจะสามารถเก็บเชื้อไว้ในปริมาณมากได้ถึง 7 ถึง 21 ตัว ซึ่งราชินีผึ้งนี้สามารถผสมพันธุ์กับตัวผู้ได้จำนวนมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความเร็วและค่าพลังงานของราชินีที่เหลืออยู่เพราะทุกครั้งเมื่อมีการผสมพันธุ์ค่าเหล่านี้ก็จะลดลง การผสมพันธุ์นี้ราชินีผึ้งจะเป็นผู้เลือกผึ้งตัวผู้เพื่อทำการสร้างทายาทใหม่กับผึ้งตัวผู้ที่ถูกเลือก ในการผสมพันธุ์แบบสุ่มและราชินีผึ้งจะเลือกเชื้อที่เก็บไว้มาฟักไข่อย่างสุ่มด้วยสูตรของอัลกอริทึม HBMO เมื่อเก็บเชื้อไว้หลังจากผสมพันธุ์แล้วผึ้งตัวผู้จะตายลง ดังนั้นตัวผู้จะสามารถเลือกมาเก็บในที่บรรจุเชื้อได้เพียงครั้งเดียว เมื่อราชินีผึ้งบินขาลงและเคลื่อนย้ายในระยะสั้นๆ เป็นการสิ้นสุดการเลือก ผึ้งตัวผู้สำหรับการผสมพันธุ์เป็นการที่ราชินีผึ้งผสมพันธุ์เรียบร้อยแล้วจึงบินกลับเข้าสู่รัง จะได้รับความน่าจะเป็นที่ผึ้งตัวผู้บินไปผสมพันธุ์ตัวราชินีผึ้งจะมีมากเมื่อราชินีผึ้งเริ่มบินสำหรับการผสมพันธุ์ คำตอบที่ดีของผึ้งตัวผู้จะเป็นช่วงนี้ หลังจากนั้นความเร็วและพลังงานของราชินีผึ้งจะลดลง ส่วนผึ้งงานเป็นเหมือนผู้ดูแลตัวอ่อนที่ทำการปรับปรุงทายาท ตัวอ่อนที่ถูกดูแลและปรับปรุงแล้วเป็นตัวที่ดีที่สุดแล้วไม่สามารถแทนที่ราชินีผึ้งหรือไม่เป็นตัวที่ดีกว่า ก็จะมีการผสมพันธุ์ในรอบใหม่เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดใน การลู่เข้าหาคำตอบต่อไป หากตัวอ่อนที่ปรับปรุงด้วยผึ้งงานนั้นได้คำตอบที่ดีกว่าราชินีให้นำตัวอ่อนที่ได้ใหม่นี้แทนที่ราชินี จะเป็นการพัฒนากลุ่มคำตอบในแต่ละรอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

5.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอัลกอริทึม HBMO

พารามิเตอร์ที่ต้องการหาเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา ได้กำหนดจำนวนสตริงตัวอ่อนที่จะถูกสร้างขึ้นจากงานวิจัยของ Abbass (2001) ได้ทดลองไว้เมื่อมีการกำหนดให้เลือก

สตริงราชินีแบบเดี่ยว นั่นคือ มีจำนวนเพียง 1 สตริงนั้นจะให้ผลได้ดีเมื่อมีการสร้างสตริงตัวอ่อนจำนวนอย่างน้อย 40 สตริง ในการทดลองนี้ได้กำหนดให้รังผึ้งของอัลกอริทึมนี้ประกอบด้วย ราชินี 1 ตัวจึงได้เลือกพารามิเตอร์จำนวนตัวอ่อน (Number of broods) เท่ากับ 40 นั่นเอง ส่วนพารามิเตอร์ที่ใช้ คือ จำนวนขนาดที่บรรจุเชื้อ (Spermatheca Size) เพื่อเลือกผึ้งตัวผู้ไว้สำหรับเลือกไปผสมพันธุ์ที่จะได้สร้างเป็นสตริงตัวอ่อนในการปรับปรุงสตริงขึ้นมาใหม่ต่อไป

5.3 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม HBMO สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ขั้นตอนของอัลกอริทึม HBMO ในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอสามารถสรุปที่ 5.1 ประกอบและมีขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization) การผสมพันธุ์ (Mating process) การสร้างและให้อาหารตัวอ่อน (Breeding and feeding processes) และการอัปเดตกระบวนการ (Updating process) ดังนี้

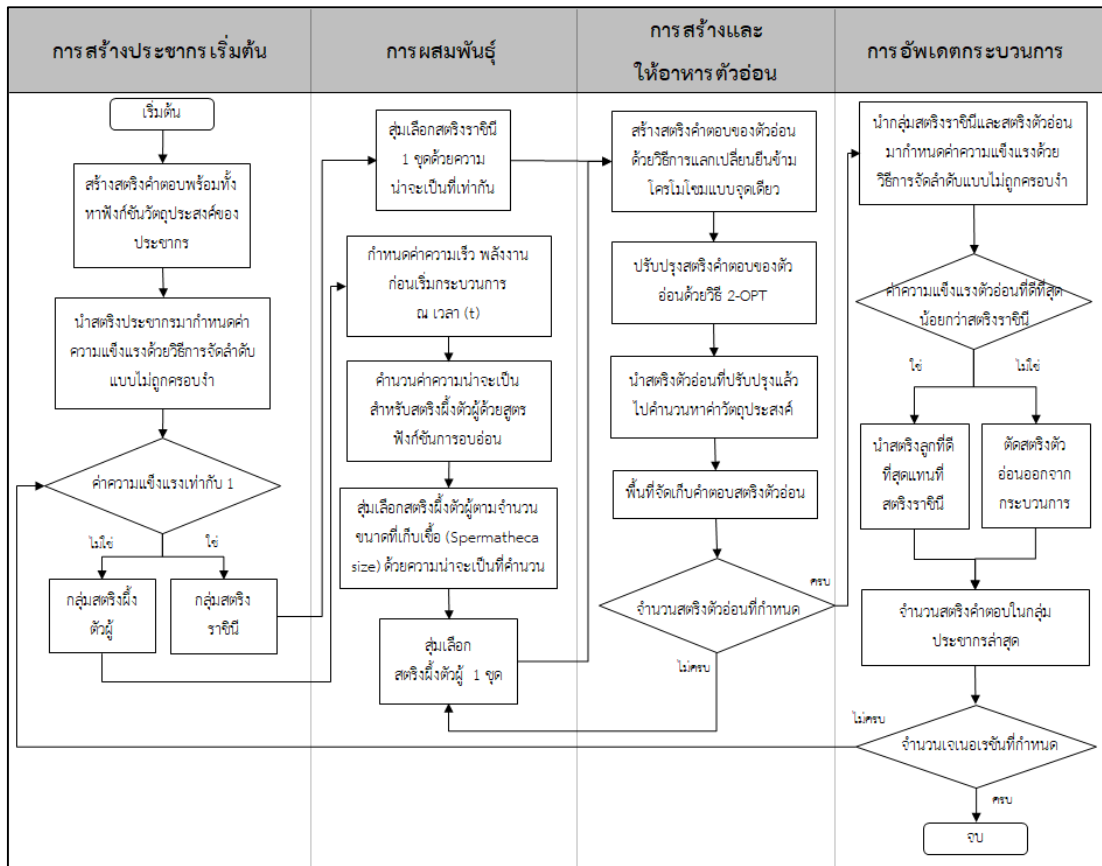
ขั้นตอนที่ 1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization)

การเริ่มต้นสร้างจำนวนผึ้งเพื่อเป็นโครงสร้างของรังผึ้ง คือ การสร้างประชากรและสตริงเริ่มต้นการทำอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้งจากสตริงคำตอบจำนวนที่ใช้ในการทดลองเป็นจำนวน 120 ชุดเท่ากับประชากรของอัลกอริทึมอื่นๆ (MOEA/D และ MOEA/D-HBMO) ที่จะมาเทียบสมรรถนะการที่จะสร้างราชินีผึ้งและผึ้งตัวผู้ในรังผึ้งจะเลือกจากผึ้งตัวที่มีค่าความแข็งแรง (Fitness) ที่ดีที่สุดเป็นราชินีผึ้งและสตริงที่เหลือจะกลายเป็นผึ้งตัวผู้ โดยการคำนวณค่าความแข็งแรงของแต่ละสตริงคำตอบจากการแก้ปัญหาตามแบบจำลองของปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยวิธีการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำ (Non-Dominate Sorting) ทั้งนี้ เพื่อที่จะเลือกสตริงเริ่มต้นสำหรับรังผึ้ง (Initial queen) เป็นสตริงที่มีค่าความแข็งแรงที่ดีเพราะมีค่าวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด (Queen solution) ส่วนสตริงที่เหลือเปรียบเสมือนเป็นผึ้งตัวผู้ (Drone solution)

ขั้นตอนที่ 2 การผสมพันธุ์ (Mating process)

การผสมพันธุ์จะเป็นการเลือกผึ้งตัวผู้โดยจะพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นด้วยฟังก์ชันการอบอ่อน (Annealing Function) ทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นให้กับผึ้งตัวผู้ทั้งหมด โดยสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บเชื้อผึ้งตัวผู้ ณ เวลา t ทำให้แทนค่าความเร็วของราชินีผึ้งที่เวลา t เมื่อผึ้งตัวแรกถูกเก็บเชื้อไว้แล้วทำให้ค่าพลังงานและค่าความเร็วของราชินีผึ้งลดลง ค่าพลังงานและค่าความเร็วที่คงเหลือนั้นจะนำไปแทนความเร็วในสูตรฟังก์ชันการอบอ่อน (Abbass, 2001) ของรอบถัดไป เพื่อนำไปคำนวณค่าความน่าจะเป็น ($Prob(Q, D)$) ดังสมการที่ (5.1)

$$Prob(Q, D) = \exp\left(\frac{-\Delta f}{S(t)}\right) \quad (5.1)$$



รูปที่ 5.1 แผนผังการไหลของอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้ง

โดยที่ Δf แทนค่าผลต่างสมบูรณ์ของค่าความแข็งแรง (Fitness) ระหว่างราชินีผึ้งกับผึ้งตัวผู้ ($f_i - f_{best}$)

$S(t)$ แทนค่าความเร็วของราชินีผึ้งที่เวลา t

ค่าความเร็วของราชินีผึ้งเริ่มต้นเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอิร์ม $S_0 \sim U(0,1)$ สุ่มค่าช่วง $[0,1]$

โดยที่ $a(t)$ คือ แฟคเตอร์ที่อยู่ในช่วง $[0,1]$ สมมติให้ค่าสุ่มครั้งแรกของค่าแฟคเตอร์เริ่มต้นเท่ากับ 0.1 โดยแทนค่า ดังสมการที่ (5.2) และ (5.3) ในแต่ละรอบจะทำการสุ่มแฟคเตอร์ใหม่ (Palominos et al. , 2012)

$$S(t + 1) = (1 - a(t)) * S(t) \tag{5.2}$$

$$S(t + 1) = 0.9 * S(t) \tag{5.3}$$

ค่าพลังงานเริ่มต้นเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอิร์ม $E_0 \sim U(0,1)$ สุ่มค่าช่วง $[0,1]$ จำนวนพลังงานที่ลดลงหลังจากทำการผสมพันธุ์ไปแล้วสามารถคำนวณค่าพลังงานรอบถัดไปได้ดังสมการที่

(5.4) ซึ่งจะลดลงตามค่าแฟคเตอร์ของค่าพลังงาน (γ) คำนวณได้จากสมการที่ (5.5) (Palominos et al. , 2012)

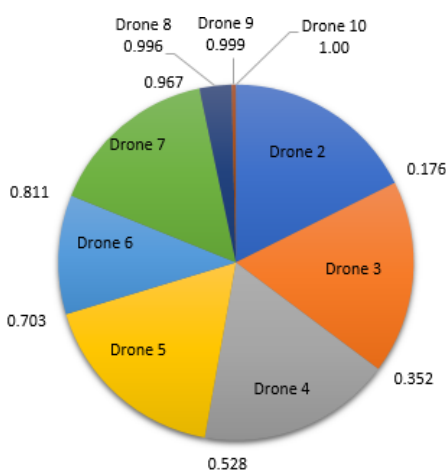
$$E(t + 1) = E(t) - \gamma \quad (5.4)$$

$$\gamma = 1 - \frac{0.5E(t)}{M} \quad (5.5)$$

กระบวนการนี้จะทำซ้ำไปจนพลังงานของราชินีผึ้งต่ำถึงค่าศูนย์ ($E = 0$) หรือที่เก็บจำนวนเชื้อของราชินีผึ้งนั้นบรรจุนเต็มหรือครบจำนวน 9 ตัว โดยที่ M แทนค่าขนาดที่เก็บจำนวนเชื้อของราชินีผึ้งได้สูงสุด เท่ากับ 20 ตัว การคำนวณค่าพลังงานในแต่ละรอบจะต้องพิจารณาจากค่า $E(t) - \gamma$ เทียบค่าพลังงานที่น้อยที่สุด (E_{min}) ถ้ามากกว่าค่าพลังงานที่น้อยที่สุดให้ค่าพลังงานตามสมการที่ (5.6) หรือกรณีอื่น ๆ ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าพลังงานที่น้อยที่สุดให้ค่าพลังงานเท่ากับศูนย์ โดยที่ $0 < E_{min} < 0.5$ (Palominos et al. , 2012)

$$E(t + 1) = \begin{cases} E(t) - \gamma, & \text{if } E(t) - \gamma > E_{min} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.6)$$

นำค่า $Prob(Q, D)$ ที่คำนวณได้ของผึ้งตัวผู้แต่ละตัวมาทำการหาค่ามาตรฐานเพื่อแบ่งช่วง ทำให้ทราบได้ว่าผึ้งตัวผู้แต่ละตัวอยู่ในช่วงไหนบ้างตามความน่าจะเป็นแล้วเรียงลำดับแบบวงล้อรูเล็ต ที่ช่วงของวงล้อเป็นค่าความน่าจะเป็นของผึ้งแต่ละตัว จากนั้นทำการสุ่มค่าในช่วง $[0,1]$ ($rand1$) เมื่อค่าที่ได้จากการสุ่มนั้นตกอยู่ในช่วงของผึ้งตัวผู้ตัวไหนเชื้อของผึ้งตัวผู้นั้น ๆ ก็จะถูกเลือกเพื่อผสมพันธุ์ การสร้างสตริงคำตอบตัวอ่อนเสร็จสมบูรณ์ ตัวอย่างจะได้ค่าความน่าจะเป็นของสตริงตัวผู้ที่จะถูกเลือก ดังรูปที่ 5.2 สมมติสุ่มค่า $rand1$ ได้ค่า 0.825 และ 0.336 จึงเลือกสตริงคำตอบผึ้งตัวผู้ตัวที่ 7 และ 3 เพื่อไปทำการผสมพันธุ์ในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 5.2 การแบ่งช่วงของการเลือกสตริงคำตอบฝั่งตัวผู้

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างและให้อาหารตัวอ่อน (Breeding and feeding processes)

การฟักตัวอ่อนตัวใหม่ผ่านการถ่ายทอดพันธุกรรมด้วยการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียวแล้วทำการปรับปรุงตัวเลขในสตริงด้วยวิธี OX แบบเดียวกันในขั้นตอนของ MOEA/D เมื่อได้สตริงตัวอ่อนจำนวน 2 ตัวแล้วนำไปปรับปรุงสตริงด้วยวิธี 2-OPT กำหนดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $0.1 (P_m)$ เพื่อไปพิจารณาการมิวเตชันในแต่ละบิต โดยสุ่มค่าความน่าจะเป็น ($rand2_j$) ช่วง $[0,1]$ ถ้า $rand2_j$ ที่บิต j มีค่าน้อยกว่า P_m ก็ให้บิตนั้นทำการมิวเตชันโดยทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็น ($rand3_j$) ช่วง $[0,1]$ อีกครั้งของบิตที่ j จะสลับกับบิตที่เท่าไรของโครโมโซมตัวอ่อนเองก็ให้นำค่าในยีนนั้นมาสลับที่ แล้วปรับปรุงเพื่อสุ่มค่า $rand3_j$ อีกเพื่อจะเลือกบิตที่มาสลับจนครบทุกบิตที่ $rand2_j < P_m$ จะได้สตริงคำตอบตัวอ่อนชุดที่ 1 มีค่า $P_m = 0.2834$ จะได้ค่า $rand2_{2}, rand2_{10}$ และ $rand2_{12}$ น้อยกว่าค่า P_m จะได้สตริงคำตอบ ดังรูปที่ 5.3 ส่วนสตริงคำตอบตัวอ่อนชุดที่ 2 มีค่า $P_m = 0.0001$ ซึ่งไม่มี $rand2_j$ ใด ๆ น้อยกว่าค่า P_m จะได้สตริงคำตอบเหมือนเดิม ดังรูปที่ 5.4

เมื่อทำการมิวเตชันครบทุกบิตจะได้สตริงคำตอบตัวอ่อนฝั่งงานจะทำการปรับปรุงตัวอ่อนด้วยวิธีสลับสองตำแหน่ง (2-opt) (Lin, 1965) ดังรูปที่ 5.5 เมื่อได้สตริงคำตอบที่ปรับปรุงแล้วให้ดำเนินการกระบวนการอัปเดตต่อไปเพื่อจะได้ทราบว่าค่าความแข็งแรงของตัวอ่อนมีค่าความแข็งแรงที่ดีกว่าของราชินีฝั่งก็ให้นำสตริงตัวอ่อนนั้น ๆ แทนที่สตริงคำตอบราชินีฝั่ง

Brood 1	12	5	4	3	10	6	9	1	2	7	11	8	
<i>rand2_j</i>	0.6513	0.2422	0.9957	0.7720	0.7808	0.7779	0.8388	0.6810	0.9094	0.0988	0.9002	0.0563	
<i>rand3_j</i>		0.0619											
Bit 1	5 ↔ 12												
Updated Brood	5	12	4	3	10	6	9	1	2	7	11	8	
<i>rand3_j</i>										0.9182			
Bit 12										8 ↔ 7			
Updated Brood	5	12	4	3	10	6	9	1	2	8	11	7	
<i>rand3_j</i>												0.2999	
Bit 4				7	←								3
Updated Brood	5	12	4	7	10	6	9	1	2	8	11	3	

รูปที่ 5.3 การมีเวตชันบิตของสตริงคำตอบตัวอ่อนชุดที่ 1

Brood 2	5	11	4	3	10	6	9	8	12	7	2	1
<i>rand2_j</i>	0.536	0.773	0.750	0.716	0.478	0.419	0.653	0.387	0.408	0.726	0.252	0.341
Updated Brood	5	11	4	3	10	6	9	8	12	7	2	1

รูปที่ 5.4 การมีเวตชันบิตของสตริงคำตอบตัวอ่อนชุดที่ 2

5	11	4	3	10	6	9	8	12	7	2	1
5	11	4	8	9	6	10	3	12	7	2	1

รูปที่ 5.5 การสลับสองตำแหน่งของสตริงคำตอบตัวอ่อน

ขั้นตอนที่ 4 การอัปเดตกระบวนการ (Updating process)

นำสตริงของตัวอ่อนที่ได้ไปทำการจัดตารางแก้ปัญหาเพื่อได้ค่าวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรง ทำการเทียบค่าความแข็งแรงระหว่างราชินีผึ้งกับตัวอ่อน ในกระบวนการนี้เมื่อราชินีผึ้งได้ถูกแทนที่ด้วยตัวอ่อนที่ดีกว่า หรือไม่มีตัวอ่อนผู้ใดในกระบวนการที่ดำเนินอยู่นั้นแทนที่ราชินีผึ้งได้ ประชากรของกระบวนการจะถูกอัปเดตเพื่อนำไปสุ่มรอบถัดไปจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ตัวอ่อนในรอบปัจจุบันที่เป็นคำตอบที่ไม่ดีหรือไม่สามารถแทนที่ราชินีผึ้งได้นั้นจะถูกตัดออก ไม่สามารถนำมารวมในรังได้จึงไม่อยู่ในประชากรของกระบวนการต่อไป

บทที่ 6

วิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับวิธีการผสมพันธุ์ผึ้งสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีของวิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้ง (A Hybrid Multi-Objective Evolutionary and Honey Bee Mating Optimization : MOEA/D-HBMO) สำหรับประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน นอกจากนี้ยังอธิบายรวมไปถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการคำนวณ

6.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบขั้นตอนวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้งเป็นการนำหลักการการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยหลักการจำแนกปัญหาด้วยการสร้างจุดของค่าถ่วงน้ำหนัก (Point of Weight : λ_p) และกำหนดจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood Point) ด้วยระยะห่างระหว่างจุดแบบยูคลิดีียน (Euclidian Distance) จะได้กลุ่มสตริงคำตอบที่จะทำการพัฒนาคำตอบตามหลักอัลกอริทึม MOEA/D (Multi-objective Evolution Algorithm Based on Decomposition) แล้วใช้วิธีของอัลกอริทึม HBMO (Honey Bee Mating Optimization) เพื่อพัฒนาคำตอบในกลุ่มประชากรย่อยโดยนำสตริงคำตอบที่อยู่ในค่าความแข็งแรง 1 เป็นสตริงราชินีแล้วสุ่มเลือกสตริงผึ้งตัวผู้ตามความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการอบอ่อน (Annealing Function) ของขั้นตอนวิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง แล้วทำการปรับปรุงสตริงตัวอ่อนนี้ด้วยกัน 2 วิธี คือ Conventional และ Unconventional จากนั้นทำการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดของสตริงตัวอ่อนเข้าพื้นที่จัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุดตลอดกระบวนการค้นหาคำตอบ (Elitist) นำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีเชบิเชฟ (Tchebycheff Approach) ระหว่างสตริงตั้งต้นกับสตริงตัวอ่อนที่ดีที่สุดทำการมิวเตชันเพื่อให้กระบวนการค้นหาคำตอบนั้นได้คำตอบที่ดีขึ้น และทำการสุ่มเพื่อปรับปรุงคำตอบแบบเฉพาะที่ทำให้ได้คำตอบใหม่ที่ดียิ่งขึ้นอีก หลังจากดำเนินการกระบวนการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบขั้นตอนวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้งนี้แล้วครบเงื่อนไขจะทำการเก็บคำตอบที่ดีในแต่ละเจเนอเรชันด้วยวิธีการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำ (Non-Dominate Sorting) ของผลคำตอบคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากกลุ่มประชากรและ Elitist

6.2 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO

พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO พารามิเตอร์จากอัลกอริทึม MOEA/D คือ จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ และร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ (Lattice: H) คือ จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักจะเป็นตัวกำหนดจำนวนจุดของค่าถ่วงน้ำหนัก (Lambda Set) หรือ จำนวนของสตริงคำตอบ (Number of Population) โดยค่าถ่วงน้ำหนักจะมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$

2. จำนวนของจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood of Each Weight Vector: T) คือ จำนวนของจุดเพื่อนบ้านเป็นตัวกำหนดจำนวนของประชากรย่อยในการพัฒนาคำตอบในแต่ละจุดของค่าถ่วงน้ำหนักที่พิจารณา โดยจำนวนของประชากรย่อยจะเท่ากับ $T + 1$

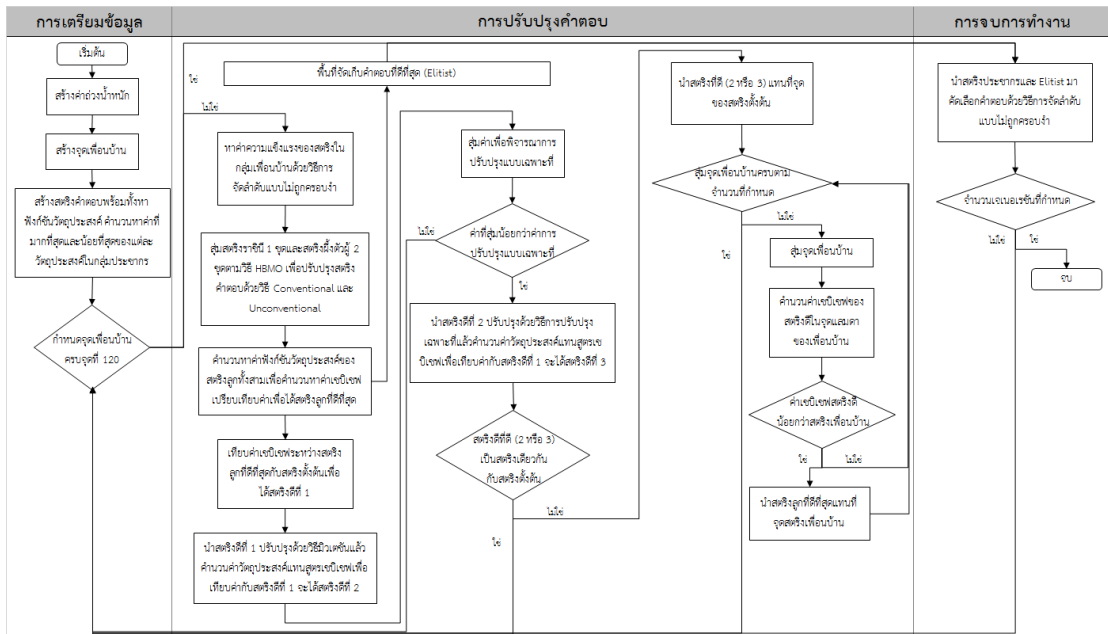
3. ร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน คือ ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านจะเป็นตัวกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดที่ใกล้เคียงเพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และแทนที่คำตอบของจุดเพื่อนบ้านที่สุ่มได้ด้วยวิธีการคำนวณค่าจำนวนครั้ง คือ ค่าร้อยละ $\times (T+1)$ โดยที่ T คือ จำนวนจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood of Each Weight Vector)

6.3 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO สำหรับการแก้ไขปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินในงานวิจัยนี้ จะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ขั้นตอนการพัฒนาคำตอบ และขั้นตอนการจบการทำงาน ดังรูปที่ 6.1 โดยขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีดังนี้

1. การสร้างตารางค่าถ่วงน้ำหนักหรือแลมดดา เริ่มต้นทำการกำหนดค่าค่าถ่วงน้ำหนัก (Lambda: λ) จากโปรแกรม Minitab เลือกใช้การออกแบบซิมเพลกซ์แลคคิส โดยกำหนดค่าจำนวนค่าถ่วงน้ำหนักตามจำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะได้เมทริกซ์ขนาดเหมือนขั้นตอนที่ 1 ของอัลกอริทึม MOEA/D ในงานวิจัยนี้กำหนดให้มี 4 วัตถุประสงค์ จะได้ตารางเมทริกซ์ขนาด 120×4 และมีค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละจุดค่าถ่วงน้ำหนักตัวอย่าง ดังตารางที่ 6.2

2. การที่จะระบุตำแหน่งจุดค่าถ่วงน้ำหนักให้แก่สตริงชุดคำตอบใด ๆ ที่ได้สร้างมาแล้ว ให้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักชุดที่ 1 เป็นตำแหน่งของสตริงชุดคำตอบชุดที่ 1 และถัดไปจนถึง ค่าถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 6.1 แผนผังการไหลของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO

จุดที่ 120 เป็นตำแหน่งของสตริงชุดคำตอบจุดที่ 120 แล้วกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักตั้งต้นตามลำดับชุดค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มจากแลมดาชุดที่ 1 ถึง 120กำหนดให้จุดค่าถ่วงน้ำหนักตั้งต้นเป็นจุดค่าถ่วงน้ำหนักที่ 1 และสตริงตั้งต้นเป็นสตริงที่ 1 เพื่อที่จะทราบว่าเพื่อนบ้านของแต่ละจุดค่าถ่วงน้ำหนักที่จะเป็นสตริงตั้งต้นนั้นประกอบด้วยเพื่อนบ้านจุดค่าถ่วงน้ำหนักใดบ้างด้วยสูตรหาระยะทางระหว่างจุดค่าถ่วงน้ำหนักแบบวิธียูคลีเดียน (Euclidean distance) ซึ่งสามารถใช้จุดเพื่อนบ้านตามขั้นตอนเดียวกันกับวิธี MOEA/D ในขั้นตอนที่ 3

3. สร้างสตริงคำตอบของประชากรเริ่มต้นให้กับจุดของค่าถ่วงน้ำหนักทั้งหมด โดยการสุ่มตามความยาวของสตริงคำตอบจะเท่ากับจำนวนนักบินที่ทำการพิจารณา แล้วนำไปจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละสตริงคำตอบ จากนั้นคำนวณหาค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดในแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของประชากรไว้เพื่อใช้แทนในสูตรการคำนวณเชิเชฟต่อไป

4. ในแต่ละจุดตั้งต้นให้ทำการหาค่าความแข็งแรงในกลุ่มเพื่อนบ้านเพื่อจะที่กำหนดสตริงราชินีและสตริงผึ้งตัวผู้ด้วยวิธีการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำ (Non-Dominate Sorting) โดยสตริงที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 ให้เลือกเป็นสตริงราชินีและสตริงที่เหลือให้เป็นสตริงผึ้งตัวผู้ ซึ่งจะทำการเลือกสตริงผึ้งตัวผู้ไหนมาทำการผสมพันธุ์นั้นให้คำนวณค่าความน่าจะเป็นแก่สตริงผึ้งตัวผู้ตามสูตรการอบอ่อนที่เป็นความน่าจะเป็นที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงของสตริงผึ้งตัวผู้ เมื่อได้ค่าช่วงความน่าจะเป็นของสตริงผึ้งตัวผู้แล้วให้ทำการสุ่มค่าช่วงความน่าจะเป็น [0,1] หากตกอยู่ในช่วงของสตริงผึ้งตัวผู้ชุดใดให้ทำการเลือกมาผสมพันธุ์ ในขั้นตอนนี้จะเลือกมาจำนวน 2 ชุด ยกตัวอย่างเมื่อ

สมมติค่าความแข็งแรงในกลุ่มเพื่อนบ้านตัวอย่างและคำนวณค่าความน่าจะเป็นจะได้ ดังตารางที่ 6.3 เลือกรุ่นจุดตั้งต้นที่ 1 เป็นตัวอย่าง แทนค่าความเร็ว (Speed) เท่ากับ 0.9 เมื่อได้ค่าจากสูตรการรอบอ่อนแล้วให้นำผลรวมของสตริงฝั่งตัวผู้ทุกตัวมาทำการให้เป็นค่าผลรวมเท่ากับ 1 ดังตารางที่ 6.4 เพื่อจะได้สุ่มช่วง $[0,1]$ สำหรับการเลือกสตริงฝั่งตัวผู้ได้

ทำการสุ่มด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากันเมื่อมีสตริงราชินีมากกว่า 1 สตริง ตัวอย่างจะมีสตริงราชินีจำนวน 6 สตริง ได้แก่ สตริงที่ 1, 3, 11, 27, 107 และ 114 มีค่าความน่าจะเป็นแต่ละช่วงเท่ากับ $1/6 = 0.1667$ สมมติสุ่มค่าความน่าจะเป็นที่เลือกสตริงราชินีได้เท่ากับ 0.4859 จะตกในช่วงของสตริงที่ 11 ตัวอย่างนี้จะมีสตริงฝั่งตัวผู้จำนวน 4 สตริง ได้แก่ สตริงที่ 9, 17, 38 และ 43 โดยมีค่าความน่าจะเป็นของแต่ละตัวจากการคำนวณตามสูตรการรอบอ่อนมาแล้ว สุ่มค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่งๆ ขึ้นมาเพื่อเลือกสตริงฝั่งตัวผู้มา 2 สตริง ตามความน่าจะเป็นของกลุ่มสตริงฝั่งตัวผู้ ดังตารางที่ 6.5 สมมติได้ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2468 และ 0.9814 ตามลำดับ จะได้สตริงที่ 9 และ 43 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 ค่าถ่วงน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละจุด

Lambda	String	Cockpit crew number priority											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	2	1	8	11	6	7	3	9	5	12	4	10
3	3	1	12	2	11	4	9	6	7	8	5	10	3
9	9	9	2	3	7	12	1	11	4	6	10	5	8
11	11	11	2	4	3	10	6	9	7	5	8	12	1
17	17	2	3	7	1	11	4	10	5	8	9	12	6
27	27	1	12	8	5	7	9	6	10	3	4	11	2
38	38	11	6	7	3	9	12	5	10	4	2	1	8
43	43	5	1	4	10	8	6	12	3	7	2	9	11
107	107	7	6	11	8	1	2	10	4	12	5	9	3
114	114	10	8	6	12	3	4	1	5	7	9	2	11
...
120	120	12	11	1	2	3	10	9	6	4	5	8	7

ตารางที่ 6.2 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของช่วงการเลือกสตริงผึ้งตัวผู้

String	Fitness	Bee in the Hive	Annealing Function	Probability of Drone
1	1	Queen	0	0
3	1	Queen	0	0
9	2	Drone	$\exp\left(\frac{- 1-2 }{0.9}\right) = 0.3292$	$0.3292 / 1.0959 = 0.3004$
11	1	Queen	0	0
17	2	Drone	$\exp\left(\frac{- 1-2 }{0.9}\right) = 0.3292$	$0.3292 / 1.0959 = 0.3004$
27	1	Queen	0	0
38	3	Drone	$\exp\left(\frac{- 1-3 }{0.9}\right) = 0.1083$	$0.1083 / 1.0959 = 0.0988$
43	2	Drone	$\exp\left(\frac{- 1-2 }{0.9}\right) = 0.3292$	$0.3292 / 1.0959 = 0.3004$
107	1	Queen	0	0
114	1	Queen	0	0
Sum			1.0959	1.000

ตารางที่ 6.3 ค่าช่วงความน่าจะเป็นตัวอย่างของสตริงราชินี

String	Probability Range
1	≤ 0.1667
3	$0.1667 < x \leq 0.3333$
11	$0.3333 < x \leq 0.5000$
27	$0.5000 < x \leq 0.6667$
107	$0.6667 < x \leq 0.8333$
114	> 0.8333

ตารางที่ 6.4 ค่าช่วงความน่าจะเป็นตัวอย่างของสตริงฝั่งตัวผู้

String	Probability Range
9	≤ 0.3004
17	$0.3004 < x \leq 0.6008$
38	$0.6008 < x \leq 0.6996$
43	> 0.6996

5. ทำการผสมพันธุ์ระหว่างสตริงราชินี 1 ชุดกับสตริงฝั่งตัวผู้ 2 ชุด โดยคัดลอกสตริงจากตารางที่ 6.2 ของสตริงราชินีและสตริงฝั่งตัวผู้ที่ถูกเลือก ซึ่งคู่แรกจะถูกพัฒนาด้วยวิธี Conventional และอีกคู่จะถูกพัฒนาด้วยวิธี Unconventional ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

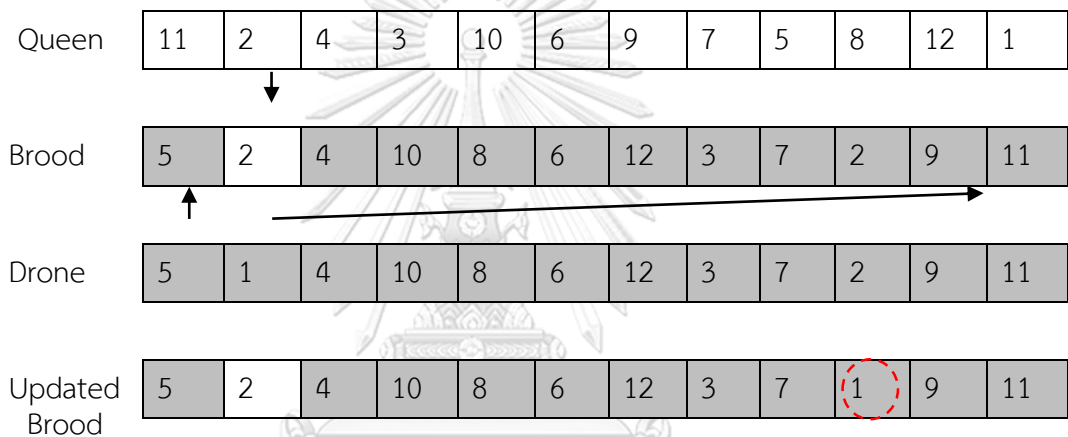
- วิธี Conventional เพื่อทำการปรับปรุงชุดคำตอบด้วยการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียว (Single Point Crossover) ดังวิธีการที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 จะได้สตริงตัวอ่อนจำนวน 2 ชุด ดังตารางที่ 6.6 จะเป็นการยกตัวอย่างที่สร้างสตริงตัวอ่อนจากวิธีนี้ ด้วยการปรับปรุงจากสตริงที่ 11 และ 9 สมมติสุ่มค่าความน่าจะเป็นของช่วงจุดตัดให้เท่ากับ 0.3816 และปรับปรุงค่าสตริงครึ่งหลัง (Repair) จากตารางที่ 4.3 ทำให้เกิดจุดตัดช่วงที่ 5 คือระหว่างบิตที่ 5 และ 6 ดำเนินการปรับปรุงสตริงด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียวจะได้สตริงตัวอ่อน

ตารางที่ 6.5 สตริงตัวอ่อนที่ได้จากวิธี Conventional

String	String Number	Cockpit crew number priority											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Queen	11	11	2	4	3	10	6	9	7	5	8	12	1
Drone	9	9	2	3	7	12	1	11	4	6	10	5	8
Offspring1	New	11	2	4	3	10	9	7	12	1	6	5	8
Offspring2	New	9	2	3	7	12	11	4	10	6	5	8	1

- วิธี Unconventional เป็นการปรับปรุงชุดคำตอบด้วยการคัดลอกค่าบางบิตจากสตริงราชินีไปยังสตริงตัวอ่อน โดยให้สตริงตัวอ่อนเริ่มต้นเหมือนกับสตริงฝั่งตัวผู้ จากนั้นทำการสุ่มค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ของแต่ละบิตว่าบิตใดมีค่าน้อยกว่าอัตราการมิวเตชันหรือ P_m ให้คัดลอกตัวเลขจากบิตตำแหน่งเดียวกันนั้นของสตริงราชินีไปยังสตริงตัวอ่อน หากมีค่ามากกว่าให้คงค่าตัวเลขในบิตที่พิจารณาค่าเดิม แล้วทำการปรับปรุงคำตอบด้วยการพิจารณาว่าหากมีเลข

ซ้ำในสตริงตัวอ่อนเดียวกันให้นำเลขที่ถูกแทนที่สลับไปยังตำแหน่งของเลขตัวใหม่ที่มาแทนที่จะได้สตริงตัวอ่อนจำนวน 1 ชุด ตัวอย่างกำหนดให้ค่า $P_m = 0.1$ มีจำนวน 12 บิต ยกตัวอย่างจึงสมมติสุ่มให้บิตที่ 2 มีค่าน้อยกว่าค่า P_m เท่ากับ 0.098 บิตที่ 1 มีค่ามากกว่า P_m ยังคงเลข 5 ที่คัดลอกจากสตริงฝั่งตัวผู้ไว้ และเมื่อบิตที่ 2 จะต้องเปลี่ยนค่าบิตจากเลขในบิตของสตริงราชินีโดยการคัดลอกเลข 2 ใส่ยังบิตนี้ จากนั้นพิจารณาแล้วว่าค่าเลข 2 ที่นำมาแทนนี้มีค่าซ้ำในสตริงตัวอ่อนเดียวกันคือ ตำแหน่งบิตที่ 10 ให้นำเลข 1 ที่ได้ถูกแทนที่ย้ายไปยังตำแหน่งบิตที่ 10 จะได้สตริงตัวอ่อนที่ทำการปรับปรุงบิตที่พิจารณาแล้ว (Updated Brood) ทำแบบนี้ไปจนครบทุกบิตจะได้สตริงตัวอ่อนใหม่จำนวน 1 ชุด ตัวอย่างสมมติมีการสุ่มให้ถูกปรับค่าบิตเพียงบิตเดียว จะได้สตริงตัวอ่อนที่ปรับปรุงแล้ว ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 สตริงตัวอ่อนที่ได้จากวิธี Unconventional

6. ดำเนินการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสตริงตัวอ่อนทั้ง 3 ชุดเพื่อหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คำนวณหาค่าเซบิเซฟเมื่อสตริงตัวอ่อนใดมีค่าเซบิเซฟน้อยที่สุดจึงเลือกสตริงตัวอ่อนตัวอ่อนนั้นเป็นสตริงที่ดีที่สุด แล้วจัดเก็บเข้าพื้นที่จัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุดตลอดกระบวนการค้นหาคำตอบ (Elitist) ในงานวิจัยนี้มีจุดตั้งต้น (Initial) จำนวน 120 จุด จึงเกิดการเก็บสตริงตัวอ่อนที่ดีที่สุดในทุกๆครั้งที่เกิดการสร้าง ดังนั้นใน 1 เจเนอเรชันจะได้สตริงตัวอ่อนที่ดีที่สุดเก็บไว้ใน Elitist นี้จำนวน 120 สตริง วิธีการคำนวณเซบิเซฟเหมือนวิธี MOEA/D วิธีการคำนวณดูได้จากบทที่ 4 ขั้นตอนที่ 6 ก่อนจะคำนวณค่าเซบิเซฟในงานวิจัยนี้จึงต้องทำให้ค่าวัตถุประสงค์เป็นเลขที่เทียบกันได้ด้วยการทำให้เป็นค่ามาตรฐาน (Normalize) ดังสูตรที่ 4.5 ก่อนเข้าสู่ตรเซบิเซฟ จะได้ค่าเซบิเซฟของสตริงตัวอ่อนที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0.2428, 0.3806 และ 0.7142 ตามลำดับ จะได้ว่าสตริงตัวอ่อนที่ 1 เป็นตัวที่ดีที่สุด

ตารางที่ 6.6 ตัวอย่างพื้นที่จัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุดของกระบวนการค้นหาคำตอบ (Elitist)

Initial	Best Offspring	f_1	f_2	f_3	f_4
1	Offspring1	662254	0.5762	31	0.5884
2	Offspring1	2068763	0.3416	33	0.8822
3	Offspring1	2068763	0.3416	33	0.8822
...
120	Offspring3	2068763	0.3416	33	0.8822

7. ทำการเทียบค่าเซบิเซพระหว่างสตริงตั้งต้นกับสตริงตัวอ่อนที่ดีที่สุด หากสตริงใดมีค่าเซบิเซพน้อยกว่าให้เลือกเป็นสตริงที่ดีที่สุดตัวที่ 1 (Good String 1) ส่วนสตริงที่ไม่ดีให้ตัดออกจากการพิจารณา จากตัวอย่างนี้ได้คำนวณค่าเซบิเซพของสตริงตั้งต้นเท่ากับ 0.1428 ที่มีค่าน้อยกว่าค่าเซบิเซพของสตริงตัวอ่อนที่ดีที่สุด จึงให้สตริงตั้งต้นเป็นสตริงที่ดีที่สุดตัวที่ 1

8. นำสตริงที่ดีที่สุดตัวที่ 1 ไปปรับปรุงด้วยวิธีมิวเตชัน โดยจะได้กำหนดค่าความน่าจะเป็น P_m ไปพิจารณาการมิวเตชันในแต่ละบิต โดยสุ่มค่าความน่าจะเป็น ($rand2_j$) ในช่วง $[0,1]$ ถ้า $rand2_j$ ที่บิต j มีค่าน้อยกว่า P_m ($rand2_j < P_m$) ก็ให้บิตนั้นทำการมิวเตชันโดยทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นขึ้นมาอีกครั้ง ($rand3_j$) ในช่วง $[0,1]$ ของบิตที่ j จะสลับกับบิตที่เท่าไรของโครโมโซมตัวสตริงที่ดีที่สุดตัวที่ 1 นี้เองก็ให้นำค่าในยีนนั้นมาสลับที่ จะทำแบบนี้เพื่อเลือกบิตที่มาสลับจนครบทุกบิต จะได้สตริงคำตอบชุดใหม่ สมมติค่า $P_m = 0.1$ สมมติได้ค่า $rand2_1$ เท่ากับ 0.6513 ที่มีค่ามากกว่าค่า P_m ให้คงเลข 9 ไว้ที่บิตที่ 1 แล้วสุ่ม $rand2$ สมมติได้ค่าเท่ากับ 0.0422 ซึ่งน้อยกว่าค่า P_m จึงหมายความว่าบิตที่ 2 นี้จะถูกมิวเตชัน จึงต้องสุ่มค่า $rand3$ เพื่อหาช่วงของบิตที่จะมาสลับสมมติได้ค่าเท่ากับ 0.0619 เป็นช่วงของบิตที่ 1 ที่มีหมายเลข 2 ดังนั้นจึงนำเลข 9 สลับตำแหน่งกับเลข 2 ดังรูปที่ 6.3 สุ่มแบบนี้ให้ครบทุกบิต จะได้สตริงคำตอบใหม่เป็นสตริงมิวเตชัน ตัวอย่างนี้มีการสลับบิตที่ 2 ตำแหน่งเดียว

Good string1	9	2	3	7	12	11	4	10	6	5	8	1
Bit 1	2	←→	9									
Update	2	9	3	7	12	11	4	10	6	5	8	1

รูปที่ 6.3 การมิวเตชันบิตของสตริงคำตอบ

9. นำสตริงมิวเตชันไปทำการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ แล้วแทนค่าเข้าสู่ตรรกะเชิงเงื่อนไขแทนค่าแลมดาของสตริงตั้งต้น ทั้งนี้ เพื่อเทียบกันระหว่างสตริงที่ดีที่สุดที่ 1 กับสตริงมิวเตชัน หากสตริงชุดใดมีค่าเชิงเงื่อนไขน้อยกว่าให้เลือกเป็นสตริงที่ดีที่สุดที่ 2 (Good String 2) ส่วนสตริงที่ไม่ดีให้ตัดออกจากการพิจารณา จากตัวอย่างจะได้ค่าเชิงเงื่อนไขของสตริงมิวเตชันเท่ากับสตริงที่ดีที่สุดที่ 1 จึงไม่เกิดการปรับปรุงจึงให้สตริงที่ดีที่สุดที่ 1 เป็นสตริงที่ดีที่สุดที่ 2 ต่อไป

10. สุ่มค่าเพื่อจะทำการปรับปรุงแบบเฉพาะที่ โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นไว้ค่าๆหนึ่ง เมื่อค่าที่สุ่มไว้มีน้อยกว่าค่าของความน่าจะเป็นของการปรับปรุงแบบเฉพาะที่ให้ดำเนินการปรับปรุงของสตริงที่ดีที่สุดที่ 2 โดยเลือกนักบินที่มีค่าวัตถุประสงค์มากที่สุดพิจารณาสลับรูปแบบเที่ยวบินที่ถูกจัดสรรไปแล้วกับนักบินที่มีค่าวัตถุประสงค์น้อยที่สุด เป็นการจัดสรรงานจากนักบินคนที่มีงานมากๆให้นักบินที่มีงานน้อยกว่าเพื่อทดสอบดูว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงนี้จะดีขึ้นหรือไม่ และต้องพิจารณาข้อจำกัดเกี่ยวกับการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วย โดยจะมีขั้นตอน ดังนี้

- 1.1 สุ่มเลือกวัตถุประสงค์ที่พิจารณาในการปรับปรุงแบบเฉพาะที่สำหรับงานวิจัยนี้มี 4 วัตถุประสงค์ คือ วัตถุประสงค์ที่ 1 หรือค่าใช้จ่าย วัตถุประสงค์ที่ 2 หรือค่าความแตกต่างชั่วโมงบินกับค่าเป้าหมาย วัตถุประสงค์ที่ 3 หรือค่าการจัดงานของตำแหน่งงานอาวุโส และวัตถุประสงค์ที่ 4 หรือจำนวนเที่ยวบินซ้ำโดยเฉลี่ย
- 2.1 สุ่มเลือกวันที่จะต้องการพิจารณาปรับปรุง โดยกำหนดจำนวนวันที่ต้องการปรับปรุงไว้
- 3.1 พิจารณาข้อจำกัดการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินหากผ่านทุกประการให้จัดสรรโดยนำรูปแบบเที่ยวบินของนักบินที่มีค่าวัตถุประสงค์มากที่สุดให้นักบินที่มีค่าวัตถุประสงค์น้อยที่สุด ในทางกลับกันก็ให้นำรูปแบบเที่ยวบินของนักบินที่มีค่าวัตถุประสงค์น้อยที่สุดให้นักบินที่มีค่าวัตถุประสงค์มากที่สุดทำการปฏิบัติการบิน ดำเนินการปรับปรุงนี้ในวันที่ทำการพิจารณาให้ครบตามจำนวนนักบินที่ได้กำหนดจำนวนคนที่พิจารณาเป็นจำนวนร้อยละไว้เมื่อครบก็ให้ดำเนินการพิจารณาวันถัดไป
- 4.1 เมื่อจัดสรรรูปแบบเที่ยวบินใหม่แล้วสำหรับการปรับปรุงแบบเฉพาะที่ให้คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่ทั้งหมด เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนค่านักบินใหม่นี้ จากนั้นทำการเทียบผลด้วยค่าเชิงเงื่อนไขระหว่างสตริงที่ดีที่สุดที่ 2 กับสตริงของการปรับปรุงแบบเฉพาะที่ หากสตริงชุดใดมีค่าเชิงเงื่อนไขน้อยกว่าให้เลือกเป็นสตริงที่ดีที่สุดที่ 3 (Good String 3) ส่วนสตริงที่ไม่ดีให้ตัดออกจากการพิจารณา

11. เมื่อได้สตริงที่ดีที่สุดที่ 3 หรือสตริงที่ดีที่สุดที่ 2 (เมื่อไม่มีการปรับปรุงแบบเฉพาะที่) ที่เป็นสตริงที่ดีที่สุดให้ทำการพิจารณาเพื่อแทนที่จุดตั้งต้นและจุดเพื่อนบ้าน หากสตริงสุดท้ายนี้เป็นสตริงตั้งต้นอยู่แล้วไม่ต้องแทนที่ใดๆ ก็ให้ดำเนินการเริ่มขั้นตอนที่ 3 วนจนครบทุกจุดตั้งต้น แต่ถ้าสตริงสุดท้าย

ที่ได้ไม่ใช่สตริงตั้งต้นแต่เป็นสตริงที่ปรับปรุงได้ใหม่นั้นดีกว่าสตริงตั้งต้นให้ทำการแทนที่สตริงตั้งต้นด้วยสตริงที่ปรับปรุงเป็นสตริงสุดท้ายนี้

12. สุ่มจุดเพื่อนบ้านตามจำนวนร้อยละที่กำหนดไว้ จากนั้นนำสตริงสุดท้ายนี้ไปคำนวณเซบิเชฟที่แทนด้วยแลมดาของจุดเพื่อนบ้านที่สุ่มได้ หากค่าเซบิเชฟของสตริงสุดท้ายน้อยกว่าให้ทำการแทนที่สตริงที่จุดเพื่อนบ้าน เป็นการจบกระบวนการในรอบจุดตั้งต้นหนึ่งๆ ทำไปจนครบทุกจุดตั้งต้น จะเป็นการดำเนินการครบ 1 เจเนอเรชัน ทำให้ได้สตริงประชากรชุดใหม่แล้วจะกลายเป็นประชากรเริ่มต้นสำหรับเจเนอเรชันถัดไป



บทที่ 7

การทำงานของโปรแกรมไพธอนเบื้องต้นสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินและ อัลกอริทึม

ในบทนี้จะยกตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมไพธอน (Python) เบื้องต้นเพื่อให้เข้าใจถึงการคำนวณในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่การแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินโดยจะแสดงเป็นโจทย์ปัญหาขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วยนักบิน 12 คนและรูปแบบเที่ยวบิน 3 รูปแบบ มาทำการคำนวณในโปรแกรมเพื่อคำนวณค่าวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณหาทั้ง 4 วัตถุประสงค์ให้มีค่าน้อยที่สุดและเป็นไปตามข้อจำกัดทุกประการจนถึงกระบวนการทำงานของอัลกอริทึมทั้งสามวิธี ได้แก่ วิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก (MOEA/D) วิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง (HBMO) และวิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับวิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง (MOEA/D-HBMO) โดยแสดงผลของแต่ละขั้นตอนเพื่อเป็นตัวอย่างให้ได้เข้าใจถึงขั้นตอนในการหาคำตอบของงานวิจัยนี้

7.1 โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสำหรับการคำนวณค่าวัตถุประสงค์

โปรแกรมจะทำการเลือกนักบินหมายเลขไปคำนวณตามข้อจำกัดต่างๆ โดยจะทำการเลือกนักบินตำแหน่งกับต้นก่อนซึ่งนักบินลำดับนี้จะต้องมีตำแหน่งกับต้น หากนักบินดังกล่าวผ่านข้อจำกัดทั้งเรื่องชั่วโมงบินสะสม เวลาพักผ่อน และเรื่องกิจกรรมอื่นที่ถูกกำหนดไว้แล้ว นักบินหมายเลขที่พิจารณาจะถูกจัดสรรให้ทำการบินในรูปแบบเที่ยวบินที่พิจารณา จากนั้นโปรแกรมจะเลือกนักบินในหมายเลขลำดับถัดไปในสตริงซึ่งจะเป็นการพิจารณานักบินตำแหน่งนักบินผู้ช่วยมาทำการคำนวณตามข้อจำกัดต่างๆ เรื่องชั่วโมงบินสะสม เวลาพักผ่อน และเรื่องกิจกรรมอื่น ส่วนตำแหน่งคู่นักบินของนักบินผู้ช่วยนี้จะต้องพิจารณาว่าเป็นตำแหน่งที่สามารถปฏิบัติร่วมกับตำแหน่งกับต้นก่อนหน้านี้ได้ จึงเป็นการจัดสรรที่ครบคู่นักบินสำหรับรูปแบบเที่ยวบินใดๆ แล้วโปรแกรมจะเลือกคำนวณรูปแบบเที่ยวบินในลำดับต่อไปจนครบทุกหมายเลข ดังรูปที่ 7.1 โปรแกรมจะทำการพิจารณานักบินแต่ละคนตามลำดับที่โปรแกรมได้ทำการสร้างสตริงชุดคำตอบเป็นประชากรที่กำหนดไว้ ผลคู่นักบินของสตริงตัวอย่างนี้ได้ทำการจัดนักบินหมายเลข 2 กับ 12 สำหรับรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O45, นักบินหมายเลข 1 กับ 7 สำหรับรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O20 และนักบินหมายเลข 3 กับ 10 สำหรับรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O23

```
Captain {'ActID': 'O45', 'CrewID': 2.0, 'isMainPilot': True}
Co-pilot {'ActID': 'O45', 'CrewID': 12.0, 'isMainPilot': False}
Captain {'ActID': 'O20', 'CrewID': 1.0, 'isMainPilot': True}
Co-pilot {'ActID': 'O20', 'CrewID': 7.0, 'isMainPilot': False}
Captain {'ActID': 'O23', 'CrewID': 3.0, 'isMainPilot': True}
Co-pilot {'ActID': 'O23', 'CrewID': 10.0, 'isMainPilot': False}
String number 1
String crew [12, 1, 2, 7, 3, 9, 4, 5, 6, 10, 8, 11]
Objectives string= {'Cost': 30236.0, 'Workload': 0.11527575515456677, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 60}
```

รูปที่ 7.1 คำตอบคู่นักบินที่ถูกจัดสรรด้วยสตริงของประชากรตัวอย่าง

7.2 โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยอัลกอริทึม MOEA\D

ขั้นตอนของการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยอัลกอริทึม MOEA\D ดังที่อธิบายขั้นตอนในบทที่ 4 ซึ่งการเขียนโปรแกรมการคำนวณนี้ได้แสดงผลแต่ละขั้นตอนเพื่อให้ทราบถึงกระบวนการของอัลกอริทึม MOEA\D หรือดูรหัสเทียม (Pseudo Code) ดังภาคผนวก รูปที่ ข1 (ขั้นตอนที่ 1) ระบุชุดแลมดาค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละสตริงตามจำนวนประชากร ซึ่งจะมีค่าจุดแลมดาย่อยตามจำนวนวัตถุประสงค์ที่มีผลรวมของแต่ละชุดเท่ากับ 1 เสมอ ดังรูปที่ 7.2 และกำหนดสตริงเพื่อนบ้านตามระยะทางยูเคเดียน (บทที่ 4 ขั้นตอนที่ 2) ดังรูปที่ 7.3 นำสตริงประชากรทั้งหมดทำการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเพื่อให้ได้ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 4 ตัว (บทที่ 4 ขั้นตอนที่ 3) ในส่วนของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยอัลกอริทึม MOEA\D จะทำการกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น จำนวนเพื่อนบ้านและจำนวนการแทนที่ในแต่ละกลุ่มเพื่อนบ้าน ดังรูปที่ 7.4 โปรแกรมจะทำการปรับปรุงชุดคำตอบด้วยการเริ่มที่จุดเพื่อนบ้านที่แลมดาดั้งเดิม (Initial lambda) ชุดที่ 1 ดังรูปที่ 7.5 แล้ว เป็นการสุ่มเลือกสตริงพ่อแม่เพื่อทำการปรับปรุงสตริงคำตอบด้วยวิธีการสับเปลี่ยนแบบไขว้กันทำให้ได้สตริงคำตอบลูก 2 ตัว ดังรูปที่ 7.5 (บทที่ 4 ขั้นตอนที่ 4)

```
dict_lambda_NBHset={1:[0.71429,0,0.28571,0],\
2:[0.28571,0,0.57143,0.14286],\
3:[0.57143,0,0.42857,0],\
4:[0.14286,0.14286,0.14286,0.57143],\
5:[0.57143,0.14286,0,0.28571],\
6:[0.42857,0.14286,0.28571,0.14286],\
7:[0.14286,0.42857,0,0.42857],\
8:[0.42857,0.14286,0.14286,0.28571],\
9:[0.85714,0,0.14286,0],\
10:[0,0.57143,0.14286,0.28571],\
11:[0.57143,0.14286,0.14286,0.14286],\
12:[0.28571,0.42857,0.14286,0.14286],\
```

รูปที่ 7.2 ชุดค่าถ่วงน้ำหนัก (แลมดาค่า)

```
index_lambda={1:[1,3,9,11,17,27,38,43,107,114],\
2:[2,16,19,24,26,34,62,64,78,101],\
3:[3,1,6,11,16,17,43,58,78,84],\
4:[4,14,18,30,39,40,82,86,89,106],\
5:[5,8,11,27,47,50,61,83,97,115],\
6:[6,8,11,17,24,43,58,85,99,119],\
7:[7,18,39,41,46,55,60,69,95,108],\
8:[8,6,5,11,14,47,50,56,84,102],\
9:[9,1,38,43,54,61,83,91,107,114],\
10:[10,23,46,55,60,65,73,108,111,117],\
11:[11,6,8,5,17,27,43,88,99,115],\
12:[12,44,52,56,69,70,73,81,93,96],\
```

รูปที่ 7.3 เลขสตริงเพื่อนบ้าน

```
Cockpit_crew_scheduling_small_problem
Number of neighborhood 10
Number of replace 3
Captain {'ActID': '045', 'CrewID': 2.0, 'isMainPilot': True}
Co-pilot {'ActID': '045', 'CrewID': 12.0, 'isMainPilot': False}
Captain {'ActID': '020', 'CrewID': 1.0, 'isMainPilot': True}
Co-pilot {'ActID': '020', 'CrewID': 7.0, 'isMainPilot': False}
Captain {'ActID': '023', 'CrewID': 3.0, 'isMainPilot': True}
Co-pilot {'ActID': '023', 'CrewID': 10.0, 'isMainPilot': False}
String number 1
String crew [12, 1, 2, 7, 3, 9, 4, 5, 6, 10, 8, 11]
Objectives string= {'Cost': 30236.0, 'Workload': 0.11527575515456677, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 60}
```

รูปที่ 7.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม MOEA/D

```
generation number 1
initial number 1
Random parents string number = 8 2
Father string [2, 6, 5, 7, 9, 8, 3, 4, 1, 10, 12, 11]
Mother string [11, 1, 8, 3, 12, 6, 9, 4, 5, 10, 7, 2]
Cut point= 4
Offspring 1 [2, 6, 5, 7, 12, 1, 9, 4, 8, 10, 3, 11]
Offspring 2 [11, 1, 8, 3, 9, 5, 7, 4, 6, 10, 12, 2]
```

รูปที่ 7.5 การปรับปรุงสตริงด้วยการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบจุดเดียว (Single Point Crossover)

จากนั้นนำสตริงลูกไปคำนวณหาวัตถุประสงค์จากนั้นคำนวณค่าเซบิเชฟของสตริงลูกทั้งสองด้วยค่าแลมดาของจุดตั้งต้นที่พิจารณาอยู่ ดังรูปที่ 7.6 มีค่าแลมดาของวัตถุประสงค์ที่ 1 ถึง 4 นั้นมีค่าเท่ากับ 0.71429, 0, 0.28571 และ 0 ตามลำดับ นำไปคำนวณหาค่าเซบิเชฟของลูกทั้งสองและสตริงตั้งต้นนี้ ทำการเทียบค่าเซบิเชฟของสตริงลูกทั้งสองว่าค่าน้อยที่สุด พบว่าค่าของสตริงลูกที่ดีที่สุดนั้นมีค่า 0.6023 ส่วนค่าเซบิเชฟของสตริงตั้งต้นที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรมมีค่าเท่ากับ 0.2464 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสตริงลูก ทำให้การปรับปรุงในรอบนี้สตริงลูกมีค่าที่ไม่ดีกว่าสตริงตั้งต้นจึงไม่เกิดการแทนที่ของคำตอบใหม่นี้ (บทที่ 4 ชั้นตอนที่ 5-6)

```
Objectives offspring 1 {'Cost': 32143.999999999996, 'Workload': 0.1261790117677569, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 60}
Objectives offspring 2 {'Cost': 32743.999999999996, 'Workload': 0.1250492798995334, 'Bidline': 2, 'RegionCount': 62}
Lambda set at initial = [0.71429, 0, 0.28571, 0]
Tchebysheff of offspring 1 on each objectives function = 0.602355712337454 0.0 0.1428549285725357 0.0
Tchebysheff of offspring 1 = 0.602355712337454
Tchebysheff of offspring 2 on each objectives function = 0.7142899998134429 0.0 0.2857098571450714 0.0
Tchebysheff of offspring 2 = 0.7142899998134429
Best te offspring = 0.602355712337454
Tchebysheff of initial string = 0.24640467816381006
Population updated = [12, 1, 2, 7, 3, 9, 4, 5, 6, 10, 8, 11], [3, 12, 9, 10, 11, 7, 1, 5, 6, 2, 8, 4], [11, 1, 8, 3, 12, 9, 3, 5, 4, 10], [3, 7, 12, 11, 1, 8, 2, 6, 9, 4, 10, 5], [7, 3, 11, 2, 12, 4, 5, 1, 8, 10, 6, 9], [3, 1, 7, 9, 12, 11]
```

รูปที่ 7.6 ค่าเซบิเชฟของสตริงตั้งต้นและสตริงลูก

หากสุ่มคู่สตริงใหม่ในจุดตั้งต้นทำให้ได้สตริงลูกชุดใหม่ ดังรูปที่ 7.7 เพื่อเป็นตัวอย่างการรันโปรแกรมของจุดตั้งต้นที่ 1 จากนั้นนำไปคำนวณหาวัตถุประสงค์ ดังรูปที่ 7.8 พบว่าค่าเซบิเชฟของสตริงลูกมีค่าน้อยกว่าเป็นชุดคำตอบที่ดีกว่า สตริงลูกที่ 1 ดีกว่าสตริงลูกที่ 2 จึงนำสตริงลูกที่ 1 นี้ไปแทนที่จุดแลมดาของสตริงตั้งต้นที่ทำการเทียบอยู่ ดังรูปที่ 7.9 และทำการสุ่มสตริงเพื่อนบ้านอีกจำนวน 3 ตัวเพื่อทำการเทียบเพิ่มเติมโดยคำนวณค่าเซบิเชฟตามในแต่ละจุดแลมดาของเพื่อนบ้านที่

ถูกเลือกมาเทียบมีสตริงหมายเลข 27, 43 และ 107 นี้ ดังรูปที่ 7.10 เช่น สตริงลูกมีค่าเซบิเซฟน้อยกว่าสตริงเพื่อนบ้านหมายเลข 43 เป็นต้น (บทที่ 4 ชั้นตอนที่ 7-8)

```
Random parents string number = 8 113
Father string [2, 6, 5, 7, 9, 8, 3, 4, 1, 10, 12, 11]
Mother string [3, 4, 12, 11, 1, 7, 2, 10, 6, 5, 8, 9]
Cut point= 2
Offspring 1 '[3, 4, 12, 11, 1, 7, 2, 10, 6, 5, 8, 9]'
Offspring 2 [2, 6, 5, 7, 9, 8, 3, 4, 1, 10, 12, 11]
```

รูปที่ 7.7 สตริงลูกที่ 1 เป็นคำตอบที่ดีกว่าสตริงตั้งต้น

```
Objectives offspring 1 {'Cost': 28915.2, 'Workload': 0.12137577205050225, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 62}
Objectives offspring 2 {'Cost': 32143.999999999996, 'Workload': 0.12751469050498163, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 60}
Lambda set at initial = [0.71429, 0, 0.28571, 0]
Tchebysheff of offspring 1 on each objectives function = 0.0 0.0 0.1428549285725357 0.0
Tchebysheff of offspring 1 = 0.1428549285725357
Tchebysheff of offspring 2 on each objectives function = 0.602355712337454 0.0 0.1428549285725357 0.0
Tchebysheff of offspring 2 = 0.602355712337454
Best te offspring = 0.1428549285725357
Tchebysheff of initial string = 0.24640467816381006
```

รูปที่ 7.8 การเทียบค่าเซบิเซฟระหว่างสตริงตั้งต้นและสตริงลูก

```
Population updated ([3, 4, 12, 11, 1, 7, 2, 10, 6, 5, 8, 9], [3, 12, 9, 10, 9, 3, 5, 4, 10], [3, 7, 12, 11, 1, 8, 2, 6, 9, 4, 10, 5], [7, 3, 11, 2, 12, 11, 8, 4, 5], [2, 6, 5, 7, 9, 8, 3, 4, 1, 10, 12, 11], [10, 2, 7, 8, 11, 3, 12, 6, 3], [3, 8, 10, 12, 6, 5, 2, 9, 7, 4, 1, 11], [5, 3, 9, 7, 6, 1, 8, 1, 6, 2, 1, 8, 7, 9, 12, 1, 4, 5, 2, 11, 10, 21, 11, 5, 2, 8, 6, 7, 4, 11])
```

รูปที่ 7.9 การแทนที่สตริงตั้งต้นด้วยสตริงลูก

```
Tchebysheff of offspring is less than initial spring
Neighborhood string number = [27]
Lambda set of neighborhood = [0.57143, 0, 0.14286, 0.28571]
Tchebysheff of best offstring at lambda of neighborhood = 0.2857098571450714
Tchebysheff of neighborhood = 0.24810521096737745
Neighborhood string number = [43]
Lambda set of neighborhood = [0.57143, 0, 0.28571, 0.14286]
Tchebysheff of best offstring at lambda of neighborhood = 0.14285992857003568
Tchebysheff of neighborhood = 0.3233247888833774
Neighborhood string number = [107]
Lambda set of neighborhood = [0.85714, 0.14286, 0, 0]
Tchebysheff of best offstring at lambda of neighborhood = 0.04522639001917377
```

รูปที่ 7.10 การเทียบค่าเซบิเซฟระหว่างสตริงเพื่อนบ้านและสตริงลูก

หลังจากทำการสุ่มเพื่อนบ้านเพื่อเปรียบเทียบค่าเซบิเซฟจนครบจำนวนเพื่อนบ้านที่กำหนดตามร้อยละในการกำหนดจำนวนการสุ่มจุดเพื่อนบ้านแล้ว ให้ทำการพิจารณาว่าซ้ำในขั้นตอนที่ 3 ของการเปลี่ยนสตริงจุดตั้งต้นจนแล้วทำการคำนวณ ปรับปรุงคำตอบ และเปรียบเทียบคำตอบจนถึงขั้นตอนที่ 8 ให้ครบทุกจุดสตริงตั้งต้น จะทำให้สตริงประชากรใหม่ที่ปรับปรุงแล้วของ 1 เจเนอเรชัน จากนั้นพิจารณาจำนวนเจเนอเรชันครบตามที่กำหนดให้ครบตามที่กำหนดในการรันผลแล้วโปรแกรมจะหยุดการทำงาน เพื่อแสดงคำตอบที่ดีที่สุดท้าย (บทที่ 4 ชั้นตอนที่ 9)

7.3 โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินด้วยอัลกอริทึม HBMO

อัลกอริทึม HBMO เป็นอัลกอริทึมที่นำมาทดลองเพื่อปรับปรุงคำตอบของการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเพื่อที่จะหาคำตอบที่ดี จึงได้ทำการแสดงผลของแต่ละขั้นตอนเพื่อเป็นตัวอย่างหรือคู่มือเทียม (Pseudo Code) ดังภาคผนวก รูปที่ ข2 ให้ได้เข้าใจถึงขั้นตอนของอัลกอริทึม HBMO ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization)

ทำการกำหนดจำนวนสตริงลูก (Number of broods) ที่ต้องการสร้าง และขนาดถุงเก็บเชื้อ (Spermatheca size) ที่ราชินีสามารถบรรจุได้ จากนั้นโปรแกรมจะทำการสุ่มสตริงประชากร ดังรูปที่ 7.11 แล้วเริ่มต้นในเจเนอเรชันที่ 1 โดยทำการเลือกสตริงที่มีค่าความแข็งแรงที่ 1 เป็นสตริงราชินี ดังรูปที่ 7.12 และทำการเลือกสตริงราชินีมา 1 ตัวเพื่อทำการปรับปรุงสตริงต่อไป และสตริงที่เหลือจะเป็นสตริงผึ้งตัวผู้ ดังรูปที่ 7.13

```
number of broods 10
mutation rate 0.1
spermatheca size 7
problem S
Population string = [[3, 11, 1, 6, 12, 8, 2, 4, 5, 10, 7, 9], [2, 3, 5, 11, 7, 1, 9, 10,
6, 5, 3, 12, 11], [4, 7, 12, 11, 10, 1, 8, 6, 9, 2, 5, 3], [7, 4, 12, 6, 11, 8, 9, 10, 2,
, 1, 5, 3, 6], [7, 10, 11, 6, 2, 4, 8, 1, 9, 12, 5, 3], [10, 4, 7, 11, 6, 5, 2, 8, 1, 9,
5, 9, 12], [8, 2, 11, 10, 12, 6, 7, 3, 5, 1, 9, 4], [10, 8, 12, 6, 3, 2, 9, 7, 5, 4, 11,
2, 11], [1, 5, 7, 12, 11, 3, 9, 6, 8, 4, 2, 10], [8, 1, 7, 10, 3, 5, 2, 6, 4, 12, 11, 9],
```

รูปที่ 7.11 ประชากรของรังผึ้งและค่าพารามิเตอร์

```
Generation number 1
Fitness = [12, 14, 5, 10, 1, 2, 16, 24, 6, 14, 9, 22, 19, 6, 10, 31, 21, 19, 1, 4, 10,
, 3, 12, 21, 25, 24, 23, 12, 13, 16, 15, 11, 18, 24, 24, 25, 4, 15, 11, 13, 8, 15, 24,
26, 17, 17, 14, 22, 13, 33, 17, 3, 25, 31, 21, 7, 9, 25, 7, 12, 22, 1, 18, 15, 27, 8, 3
List of queen = [4, 18, 24, 37, 69, 70, 73, 106]
Queen= [4, 7, 12, 11, 10, 1, 8, 6, 9, 2, 5, 3]
Queen= [5, 4, 11, 8, 1, 12, 2, 7, 10, 3, 6, 9]
Queen= [8, 12, 9, 6, 10, 4, 5, 2, 1, 7, 11, 3]
Queen= [7, 11, 9, 10, 12, 2, 3, 8, 1, 4, 6, 5]
Queen= [4, 12, 8, 1, 7, 2, 10, 5, 11, 9, 3, 6]
Queen= [9, 4, 8, 12, 1, 10, 7, 2, 11, 5, 6, 3]
Queen= [12, 1, 8, 4, 6, 7, 5, 9, 2, 11, 3, 10]
Queen= [5, 2, 10, 7, 12, 8, 1, 3, 11, 4, 6, 9]
Queenselected index number string = [4]
```

รูปที่ 7.12 สตริงราชินี

```
List of drone = [0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21,
44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65,
89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109
Fitness of drone = [12, 14, 5, 10, 0, 2, 16, 24, 6, 14, 9, 22, 19, 6, 10, 31, 21, 19, 0
, 9, 8, 6, 3, 12, 21, 25, 24, 23, 12, 13, 16, 15, 11, 18, 24, 24, 25, 4, 15, 11, 13, 8,
17, 34, 26, 17, 17, 14, 22, 13, 33, 17, 3, 25, 31, 21, 7, 9, 25, 7, 12, 22, 0, 18, 15,
```

รูปที่ 7.13 หมายเลขสตริงผึ้งตัวผู้และค่าความแข็งแรง

ขั้นตอนที่ 2 การผสมพันธุ์ (Mating process)

ทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะเลือกสตริงผึ้งตัวผู้เพื่อเก็บเชื้อในถุงของราชินีโดยใช้สูตรการอบอ่อน (Annealing function) ทำให้ได้ค่าช่วงที่จะเลือกสตริงตัวผู้ ดังรูปที่ 7.14 หลังจากที่เลือกสตริงผึ้งตัวผู้ตัวแรกแล้ว ทำให้ราชินีมีค่าพลังงานและความเร็วลดลง ดังรูปที่ 7.15 ทำการสุ่มเลือกสตริงผึ้งตัวผู้จนครบจำนวนที่เก็บเชื้อที่ได้กำหนดไว้ (Spermatheca size) หรือจนกว่าค่าพลังงานเหลือน้อยตามที่กำหนดขั้นต่ำไว้ ขั้นตอนนี้จะได้สตริงผึ้งตัวผู้ครบ ดังรูปที่ 7.16 เพื่อนำไปปรับปรุงสตริงในขั้นต่อไป

```
Energy = 0.9285714285714286
Speed = 0.9
Random to select sperm of drone = 0.643917926757242
Probability accumulate [4.187418107241917e-06, 4.6522840102136995e-06, 0.010025
5259571, 0.2942120601230837, 0.29421251498889867, 0.29433017543890844, 0.2943301
0154, 0.29766712404286405, 0.2976671258013393, 0.3281024285693262, 0.3281411615
, 0.3281443799721789, 0.3282620404221006, 0.32826204042210066, 0.32826208971501
, 0.35870173964054264, 0.35905916052822684, 0.35905916059095866, 0.359059161169836
6330753744217487, 0.45576182381885444, 0.4557660212369622, 0.4557660214275247,
16006359273, 0.45577164992884606, 0.4557717996675117, 0.4557845502978811, 0.455
234783, 0.48622000816214395, 0.4862327587925134, 0.48623414055312136, 0.4865915
585, 0.4865917111885245, 0.4865917111907624, 0.4865917111910049, 0.517027013958
609520033378483, 0.612818246934975, 0.8936695706291161, 0.8936695706291959, 0.
01347408, 0.8940411401354775, 0.8940411563623607, 0.8940411725892439, 0.8940416
1, 0.9864973118820496, 0.9864973118842875, 0.9864973118842904, 0.98649731207485
87906675220537, 0.9887906675847855, 0.9887906729265616, 0.9887908226652273, 0.9
285233, 0.9898631015554065, 0.9899807620053281, 0.999998502583599, 0.99999850
```

รูปที่ 7.14 ค่าความน่าจะเป็นของการเลือกสตริงผึ้งตัวผู้

```
Energy = 0.9234693877551021
Speed = 0.81
Random to select sperm of drone = 0.3606941530822282
Probability accumulate [1.8908085346344696e-06, 2.050880582046937e-06, 0.01071255
65031237, 0.44866954162829026, 0.44866970170033765, 0.44874646358606696, 0.448746
956153, 0.4518851306078203, 0.4518851309416196, 0.4886959745333906, 0.48871830920
```

รูปที่ 7.15 ค่าพลังงานและความเร็วที่ลดลง

```
List sperm of drone in spermatheca = [81, 5, 96, 74, 75, 44, 34]
Drone = [5, 10, 12, 4, 3, 11, 9, 8, 2, 1, 6, 7]
Drone = [7, 4, 12, 6, 11, 8, 9, 10, 2, 1, 5, 3]
Drone = [8, 11, 12, 2, 9, 6, 10, 4, 1, 7, 3, 5]
Drone = [2, 12, 7, 5, 1, 8, 4, 6, 3, 9, 10, 11]
Drone = [3, 2, 9, 7, 12, 11, 5, 4, 1, 6, 10, 8]
Drone = [6, 7, 12, 11, 2, 10, 1, 5, 8, 9, 4, 3]
Drone = [7, 12, 2, 4, 9, 11, 5, 1, 8, 6, 3, 10]
```

รูปที่ 7.16 สตริงผึ้งตัวผู้ที่ถูกเก็บในถุงเก็บเชื้อ

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างและให้อาหารตัวอ่อน (Breeding and feeding processes)

เมื่อได้สตริงราชินีและสตริงผึ้งตัวผู้ในถุงเก็บเชื้อแล้ว ทำการปรับปรุงสตริงเพื่อสร้างสตริงตัวอ่อนตามจำนวนที่กำหนดไว้ ด้วยวิธีการสับเปลี่ยนแบบไขว้กัน (Crossover) และการกลายพันธุ์

(Mutation) ซึ่งสตริงลูกจะถูกปรับปรุงแบบเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ดังรูปที่ 7.17 จากนั้นนำสตริงตัวอ่อนใหม่ที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ ดังรูปที่ 7.18

```
Sperm select for generate brood = 75
Crossover offsprings = [[4, 7, 12, 11, 5, 1, 3, 6, 9, 2, 10, 8], [8, 2, 9, 7, 12, 11, 10, 4, 1, 6, 5, 3]]
Mutation offsprings = [[4, 10, 7, 11, 5, 1, 3, 6, 9, 2, 12, 8], [1, 2, 9, 7, 12, 8, 10, 4, 11, 6, 5, 3]]
2-opt offsprings = [[4, 10, 7, 11, 5, 1, 3, 8, 12, 2, 9, 6], [1, 2, 9, 7, 12, 8, 10, 4, 11, 6, 3, 5]]
```

รูปที่ 7.17 สตริงตัวอ่อนใหม่

```
objective of broods [{'Cost': 30577.6, 'Workload': 0.12246088304204437, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 61},
1, 'RegionCount': 60}, {'Cost': 30481.6, 'Workload': 0.13310015139402778, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 60},
2, 'RegionCount': 61}, {'Cost': 30577.6, 'Workload': 0.11360296278268361, 'Bidline': 2, 'RegionCount':
ine': 1, 'RegionCount': 61}, {'Cost': 32743.999999999996, 'Workload': 0.12651228681917864, 'Bidline': 2,
004267, 'Bidline': 2, 'RegionCount': 61}, {'Cost': 30577.6, 'Workload': 0.12137151014856197, 'Bidline': 1,
102788799, 'Bidline': 1, 'RegionCount': 61}]
```

รูปที่ 7.18 ค่าวัตถุประสงค์ของสตริงตัวอ่อนใหม่

ขั้นตอนที่ 4 การอัปเดตกระบวนการ (Updating process)

นำค่าวัตถุประสงค์ของสตริงราชินีทั้งหมดและสตริงตัวอ่อนที่ได้มาประเมินหาค่าความแข็งแรง หากถ้าค่าความแข็งแรงของตัวอ่อนนั้นไม่ดีกว่าสตริงราชินี ดังรูปที่ 7.19 ค่าความแข็งแรงของสตริงราชินียังคงมีค่าเท่ากับ 1 ที่ยังไม่มีสตริงตัวอ่อนใดๆ ทำให้ค่าความแข็งแรงของสตริงราชินีเปลี่ยนไป ดังนั้น ต้องเก็บสตริงราชินีไว้เหมือนเดิมแล้วลบสตริงตัวอ่อนที่เลือทิ้ง ดังรูปที่ 7.20 สตริงราชินีของเจเนอเรชันถัดจะไปคงเหมือนเดิม (Generation 2) กับเจเนอเรชันก่อนหน้านี (Generation 1) เพราะไม่การถูกแทนที่ เมื่อวนรอบถัดไปทำการปรับปรุงสตริง ดังรูปที่ 7.21 ทำให้ค่าความแข็งแรงของตัวอ่อนนั้นดีกว่าสตริงราชินีเพราะค่าความแข็งแรงสตริงราชินีเปลี่ยนไปแล้วสตริงลูกมีค่าความแข็งแรงดีกว่า ดังรูปที่ 7.22 ให้ทำการลบสตริงราชินีออกจากรังหรือในสตริงประชากร แล้วนำสตริงตัวอ่อนที่ดีที่สุดทำการแทนที่ ดังรูปที่ 7.23 เพื่อคำนวณในเจเนอเรชันถัดไป

```
Fitness queen and broods = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 5, 2, 3, 3, 1, 4, 6, 1, 2, 2]
Population in hive updated = [[3, 11, 1, 6, 12, 8, 2, 4, 5, 10, 7, 9], [2, 3, 5, 11,
, 10, 4, 6, 5, 3, 12, 11], [4, 7, 12, 11, 10, 1, 8, 6, 9, 2, 5, 3], [7, 4, 12, 6, 11,
9, 12, 11, 1, 5, 3, 6], [7, 10, 11, 6, 2, 4, 8, 1, 9, 12, 5, 3], [10, 4, 7, 11, 6, 5,
```

รูปที่ 7.19 ค่าความแข็งแรงของการเทียบระหว่างสตริงราชินีกับสตริงตัวอ่อนใหม่ที่ด้อยกว่า

```
Generation number 1
Fitness = [12, 14, 5, 10, 1, 2, 16, 24, 6, 14, 9,
, 3, 12, 21, 25, 24, 23, 12, 13, 16, 15, 11, 18,
26, 17, 17, 14, 22, 13, 33, 17, 3, 25, 31, 21, 7,
List of queen = [4, 18, 24, 37, 69, 70, 73, 106]
Queen= [4, 7, 12, 11, 10, 1, 8, 6, 9, 2, 5, 3]
Queen= [5, 4, 11, 8, 1, 12, 2, 7, 10, 3, 6, 9]
Queen= [8, 12, 9, 6, 10, 4, 5, 2, 1, 7, 11, 3]
Queen= [7, 11, 9, 10, 12, 2, 3, 8, 1, 4, 6, 5]
Queen= [4, 12, 8, 1, 7, 2, 10, 5, 11, 9, 3, 6]
Queen= [9, 4, 8, 12, 1, 10, 7, 2, 11, 5, 6, 3]
Queen= [12, 1, 8, 4, 6, 7, 5, 9, 2, 11, 3, 10]
Queen= [5, 2, 10, 7, 12, 8, 1, 3, 11, 4, 6, 9]
```

```
Generation number 2
Fitness = [12, 14, 5, 10, 1, 2, 16, 24, 6, 14, 9,
, 3, 12, 21, 25, 24, 23, 12, 13, 16, 15, 11, 18,
26, 17, 17, 14, 22, 13, 33, 17, 3, 25, 31, 21, 7,
List of queen = [4, 18, 24, 37, 69, 70, 73, 106]
Queen= [4, 7, 12, 11, 10, 1, 8, 6, 9, 2, 5, 3]
Queen= [5, 4, 11, 8, 1, 12, 2, 7, 10, 3, 6, 9]
Queen= [8, 12, 9, 6, 10, 4, 5, 2, 1, 7, 11, 3]
Queen= [7, 11, 9, 10, 12, 2, 3, 8, 1, 4, 6, 5]
Queen= [4, 12, 8, 1, 7, 2, 10, 5, 11, 9, 3, 6]
Queen= [9, 4, 8, 12, 1, 10, 7, 2, 11, 5, 6, 3]
Queen= [12, 1, 8, 4, 6, 7, 5, 9, 2, 11, 3, 10]
Queen= [5, 2, 10, 7, 12, 8, 1, 3, 11, 4, 6, 9]
```

รูปที่ 7.20 สตริงราชินีที่ไม่ถูกแทนที่คำตอบ

ภาคผนวก รูปที่ ข3 เริ่มจากการระบุชุดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละสตริงตามจำนวนประชากรและกำหนดสตริงเพื่อนบ้านจนถึงการนำสตริงประชากรมาคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 4 ตัว สามารถดูตัวอย่างได้จากหัวข้อที่ 7.2 ในขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 เมื่อเริ่มกระบวนการปรับปรุงคำตอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO จะใช้วิธีการที่แตกต่างจากอัลกอริทึม MOEA/D โดยจะนำแนวคิดจากอัลกอริทึม HBMO มาประยุกต์ใช้ร่วมกันในขั้นตอนต่อไปนี้ ตัวอย่างนี้ใช้พารามิเตอร์จำนวนจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 4 และร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 30

การปรับปรุงคำตอบของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO เริ่มด้วยการนำค่าวัตถุประสงค์ของกลุ่มเพื่อนบ้านในแต่ละจุดตั้งต้นที่ทำการพิจารณาอยู่นั้นไปทำการหาค่าความแข็งแรงเพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสูตรการรอบอ่อน จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดค่าความแข็งแรงแล้วมีค่าเท่ากับ 1 จำนวน 4 สตริงจึงสุ่ม 1 สตริงให้เป็นสตริงราชินี คือสตริงในจุดตำแหน่งที่ 5 (Queen selected 4) ของกลุ่มเพื่อนบ้านนี้ สตริงผิงตัวผู้อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO จะทำการเลือกมา 2 สตริง ซึ่งผลความแข็งแรงนี้มีเพียงสตริงเดียวที่เป็นสตริงผิงตัวผู้ คือสตริงในจุดแรกที่มีค่าความแข็งแรงที่ไม่เท่ากับ 1 (มีค่าเท่ากับ 2) และสุ่มเลือกสตริงอีก 1 สตริงจากกลุ่มสตริงราชินีเพื่อให้สามารถปรับปรุงสตริงตัวอ่อนต่อไปได้ เพราะอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO ต้องการที่จะเลือกสตริงมากกว่า 1 สตริงเพื่อให้ได้สตริงตัวอ่อนที่เกิดจากวิธี Conventional และ Unconventional ทำให้ได้สตริงตัวอ่อนจำนวน 3 สตริง ดังรูปที่ 7.24

```

generation number 1
initial number 1
Fitness at initial [1, 1, 1, 1]
Queenselected 0
List of drone = [3, 1]
Father string [11, 1, 2, 10, 3, 8, 12, 9, 4, 5, 6, 7]
Mother string [9, 1, 11, 8, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 12, 5]
Offspring 1 [1, 11, 2, 10, 3, 8, 12, 9, 4, 5, 6, 7]
Offspring 2 [1, 9, 11, 8, 2, 3, 4, 6, 7, 10, 12, 5]
Offspring 3 [1, 11, 2, 12, 3, 10, 7, 4, 8, 5, 6, 9]

```

รูปที่ 7.24 การสร้างสตริงตัวอ่อนในกลุ่มเพื่อนบ้าน

เมื่อปรับปรุงสตริงแล้วจะได้ลำดับการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินลำดับใหม่ให้นำสตริงตัวอ่อนไปทำการหาค่าวัตถุประสงค์โดยการการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ผลดังรูปที่ 7.25 จะนำมาคำนวณเป็นตัวอย่าง เช่น สตริงตัวอ่อนที่ 1 (Offspring 1) มีค่าวัตถุประสงค์ที่ 1 ถึง 4 เท่ากับ 645315.90, 0.5689, 32 และ 0.6444 ตามลำดับ (หมายเลข 1) และค่าถ่วงน้ำหนัก (Lambda) ของวัตถุประสงค์ที่ 1 ถึง 4 เท่ากับ 0.71429, 0, 0.28571, และ 0 ตามลำดับ (หมายเลข 4) ค่ามาตรฐานจากสูตร Normalization เมื่อค่าน้อยที่สุดของวัตถุประสงค์ที่ 1 ถึง 4 เท่ากับ 630354.80, 0.3407, 16 และ 0.4429 ตามลำดับ (หมายเลข 3) ค่ามากที่สุดของวัตถุประสงค์ที่ 1 ถึง 4 เท่ากับ 1932736.90, 0.8884, 36 และ 0.8463 ตามลำดับ (หมายเลข 3) จะได้ค่ามาตรฐานของสตริงตัวอ่อนที่ 1 นี้เท่ากับ 0.0114, 0.4165, 0.8000, และ 0.4994 ตามลำดับ (หมายเลข 2) นำค่ามาตรฐานและค่าถ่วงน้ำหนักไปแทนในสูตรเซบิเชฟจะได้ค่าเท่ากับ 0.2285 จากนั้นคำนวณค่าเซบิเชฟของสตริงตัวอ่อนทั้งหมดและสตริงตั้งต้น (หมายเลข 5) จะได้ค่าเซบิเชฟสตริงตัวอ่อนทั้งสาม เท่ากับ 0.2285, 0.3834 และ 0.7142 ตามลำดับ โดยค่าเซบิเชฟที่น้อยที่สุดในสตริงตัวอ่อนมีค่าเท่ากับ 0.2285 จะต้องนำผลของสตริงตัวอ่อนที่ดีที่สุดนี้เป็นไว้ใน Etilist เพื่อนำไปทำการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำหลังจากจบเจ

เนอเรชัน เมื่อไปเทียบกับค่าเซบิเซฟของสตริงตั้งต้นเท่ากับ 0.1999 นั้นยังมีค่ามากกว่า แสดงว่าในการปรับปรุงครั้งนี้สตริงตัวอ่อนให้ค่าที่แย่กว่าสตริงตั้งต้น ดังนั้น สตริงตั้งต้นยังถือว่าเป็นสตริงที่ดีที่สุดที่ 1 (Good String 1) เพื่อนำไปปรับปรุงต่อในวิธีการมิวเตชัน

```
Objectives of offspring 1&2&3 [645315.9000000003, 0.5689031340742564, 32, 0.64
4417526917527, 1, 1], [1329469.0002, 0.3586908498327284, 36, 0.8463466563678, 6,
4784, 4, 0], [1932736.9000000039, 0.34076492606522185, 36, 0.8463466563678, 6,
0]]
Normalization of string 0.0099347956340846 0.6304442968473823 0.7000000149999992
0.46059646480130473
Normalization of offspring1 0.0114874889642514 0.41651968589563204 0.80000000999
99995 0.4994640366667219
Normalization of offspring2 0.5367966896968739 0.0344292220936957777 1.0 0.9795371
440798466
Normalization of offspring3 1.0 1.8257260097051682e-06 1.0 1.0
Maximum and minimum objectives for 1&2&3&4 630354.8000000002 1932736.9000000039
0.34076492606522185 0.8884912382052769 16 36 0.44292220936957777 0.8463462865636
78
Lambda [0.71429, 0, 0.28571, 0]
Tchebycheff for initial offspring 1&2&3 [0.19999671857564977, 0.2285677171470998
6. 0.38342779319358, 0.71428928570999999]

```

รูปที่ 7.25 การคำนวณค่าเซบิเซฟเพื่อหาค่าตอบสตริงที่ดีที่สุดที่ 1

เมื่อการปรับปรุงแล้วได้สตริงที่ดีที่สุดที่ 1 แล้วนำมาทำการปรับปรุงด้วยวิธีการมิวเตชันนำสตริงไปจัดตารางปฏิบัติงานนักบินเพื่อคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 4 ตัว ดังตัวอย่างรูปที่ 7.26 จะได้ค่าเท่ากับ 2054201.90, 0.3407, 36 และ 0.8463 ตามลำดับ (หมายเลข 1) แล้วนำไปคำนวณหาค่ามาตรฐานและใช้ค่าถ่วงน้ำหนักชุดเดิมเพราะยังอยู่ในจุดสตริงตั้งต้น แล้วเข้าสู่ตรเซบิเซฟทำให้ได้ค่าเซบิเซฟของสตริงมิวเตชันจะได้ค่าเท่ากับ 0.7142 (หมายเลข 2) เมื่อเทียบกับค่าเซบิเซฟของสตริงตั้งต้น (0.1999) นั้นมีค่ามากกว่า แสดงว่าสตริงตั้งต้นยังเป็นสตริงที่ดีกว่าสตริงมิวเตชันจึงให้สตริงที่ดีที่สุดที่ 2 (Good String 2) นี้เป็นสตริงตั้งต้นตัวเดิม จากนั้นสุ่มค่าความน่าจะเป็นช่วง [0,1] เพื่อเข้ากระบวนการปรับปรุงเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นของการสุ่มของการปรับปรุงเฉพาะที่นี้เท่ากับ 0.1 ถ้าหากสุ่มได้น้อยกว่าค่านี้ให้เริ่มกระบวนการปรับปรุงเฉพาะที่ ตัวอย่างนี้สุ่มได้ค่า 0.3124 (หมายเลข 3) ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.1 จึงไม่ดำเนินการปรับปรุงเฉพาะที่แล้ววนซ้ำไปกระบวนการที่จุดตั้งต้นถัดไป (Initial number 2)

```
Tchebycheff initial good at GA
First good string [643293.7000000001, 0.6860754862314656, 30, 0.6287373737373738
, 1, 1]
Objectives of string [643293.7000000001, 0.6860754862314656, 30, 0.6287373737373738
738, 1, 1]
Objectives of new string [2054201.9000000039, 0.34076492606522185, 36, 0.8463462
865636778, 6, 0]
Normalization of string 0.0090872819146036 0.6304442968473823 0.7000000149999992
0.460596464801305
Normalization of new string 1.0 1.8257260097051682e-06 1.0 1.0
Maximum and minimum objectives for 1&2&3&4 630354.8000000002 2054201.9000000039
0.34076492606522185 0.8884912382052769 16 36 0.44292220936957777 0.8463462865636
778
Lambda [0.71429, 0, 0.28571, 0]
Tchebycheff for good1 and mutation string 0.19999671857564977 0.71428928570999999
Tchebycheff good at Mutation
Random to reach local search 0.31245067829713413

```

รูปที่ 7.26 การคำนวณค่าเซบิเซฟเพื่อหาค่าตอบสตริงที่ดีที่สุดที่ 2

ตัวอย่างผลของจุดสตริงตั้งต้นอื่นๆ เมื่อสุ่มค่าการปรับปรุงเฉพาะที่ได้น้อยกว่า 0.1 ที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 7.27 ได้ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0530 (หมายเลข 1) ให้นำสตริงที่ดีที่สุดที่ 2 (ค่าวัตถุประสงค์ 4 ตัวเท่ากับ 665016.00, 0.7242, 22 และ 0.6020 ที่หมายเลข 2) ไปทำการปรับปรุงเฉพาะที่ ขั้นตอนการปรับปรุงนี้เป็นการลองแลกเปลี่ยนรูปแบบเที่ยวบินที่จัดสรรให้นักบินไปแล้วของสองคนระหว่างคนที่มีความวัตถุประสงค์ที่มากที่สุดกับคนที่มีความวัตถุประสงค์น้อยที่สุดดูว่าแลกเปลี่ยนงานกันได้หรือไม่และจะต้องผ่านข้อจำกัดทุกประการ ถ้าสลับรูปแบบเที่ยวบินกันได้ให้แลกรูปแบบเที่ยวบินกัน เมื่อจัดเสร็จให้คำนวณค่าวัตถุประสงค์ของแผนการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินนี้ดูว่าค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 4 ตัวทั้งหมดนี้เปลี่ยนแปลงไป ดังตัวอย่างนี้จะได้ค่าเท่ากับ 665016.00, 0.7226, 21 และ 0.6018 (หมายเลข 3) จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงเฉพาะที่นี้ทำให้ค่าวัตถุประสงค์ที่ 2, 3 และ 4 มีค่าลดลง ค่าตอบที่ดีที่สุดที่ 3 นี้จึงเป็นคำตอบที่ได้จากวิธีการปรับปรุงเฉพาะที่

```

Random to reach local search [0.05301842679955138]
Good objectives [665016.0000000002, 0.7242552474484887, 22, 0.6020225487073313, 0, 2]
Local search loop
Objectives of string [665016.0000000002, 0.7242552474484887, 22, 0.6020225487073313, 0, 2]
Objectives of new string [665016.0, 0.7226145773156173, 21, 0.6018118763952097, 0, 0]
Normalization of string 0.43853737103713325 0.3652694113689184 0.40000002999999845 0.45404586829742555
Normalization of new string 0.4385373710371301 0.3594656745530586 0.35000003249999834 0.45318500968651226
Maximum and minimum objectives for 1&2&3&4 632560.2000000004 706569.4000000007 09974966300791 0.9036885250466588 14 34 0.49090786528286534 0.73563034188734
Lambdda [0, 0.42857, 0.57143, 0]
Objectives of local search [665016.0, 0.7226145773156173, 21, 0.6018118763952097, 0, 0]
Tchebycheff bad at local search
Objectives of good string final for replacement [665016.0, 0.7226145773156173, 21, 0.6018118763952097, 0, 0]

```

รูปที่ 7.27 การคำนวณค่าเซบิเซฟเพื่อหาคำตอบสตริงที่ดีที่สุดที่ 3

เมื่อการปรับปรุงคำตอบที่ติดนี้มีค่าเซบิเซฟที่น้อยกว่าสตริงตั้งต้น หมายความว่า การที่ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Conventional, Unconvention, มิวเตชัน หรือการปรับปรุงเฉพาะที่อย่างใดอย่างหนึ่งแล้วให้ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีกว่าสตริงตั้งต้นเมื่อเทียบด้วยค่าเซบิเซฟแล้วมีค่าน้อยกว่า ให้ดำเนินการนำสตริงที่ดีที่สุดท้ายนี้ไปแทนที่คำตอบของสตริงตั้งต้น ดังรูปที่ 7.28 ทำการสุ่มตำแหน่งสตริงในกลุ่มเพื่อนบ้านตามจำนวนร้อยละร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านที่เท่ากับ 30 จากจำนวนจุดเพื่อนบ้าน 4 จะได้ 2 จุด จะต้องสุ่มเลขมา 2 จำนวนแล้วเลือกตำแหน่งเพื่อนบ้านมา 2 สตริงเพื่อเปรียบเทียบในการแทนที่คำตอบของสตริงที่ดีที่สุดท้ายนี้ ตัวอย่างสุ่มจุดเพื่อนบ้านที่ 2 (หมายเลข 1) จะอยู่ในจุดค่าถ่วงน้ำหนักทั้ง 4 ตัวเท่ากับ 0, 0.2857, 0.7142 และ 0 ตามลำดับ (หมายเลข 2) และมีค่าวัตถุประสงค์เท่ากับ 648945.6, 0.7545, 32 และ 0.5103 ตามลำดับ (หมายเลข 4) นำไปเข้าสู่ตรเซบิเซฟคำนวณค่าได้เท่ากับ 0.6428 จากนั้นนำค่าวัตถุประสงค์ของสตริงที่ดีที่สุดท้ายนี้ไปเข้าสู่ตรเซบิเซฟแล้วแทนค่าถ่วงน้ำหนักของจุดเพื่อนบ้านนี้จะเท่ากับ 0.2500 (หมายเลข 4) เมื่อเปรียบเทียบค่าเซบิเซฟทั้งสองพบว่าค่าเซบิเซฟของสตริงที่ดีที่สุดท้ายนี้ดีกว่าสตริงเพื่อนบ้านที่พิจารณา ดังนั้นให้นำสตริงที่ดีที่สุดท้ายนี้ไปแทนที่จุดสตริงเพื่อนบ้าน วนซ้ำแบบนี้จนครบทุกสตริงตั้งต้นทั้ง 120 จุด

```

Objectives of good string final for replacement 1 [665016.0, 0.7226145773156173, 21, 0.6018118763952097, 0, 0]
Index of neighborhood for replacement 2 [1]
Objectives of string [648945.6, 0.7545198930835921, 32, 0.5103418803418803, 0, 0]
Objectives of new string [665016.0, 0.7226145773156173, 21, 0.6018118763952097, 0, 0]
Normalization of string 0.22139679932735692 0.4723281275436277 0.9000000049999998 0.07941622654773689
Normalization of new string 0.4385373710371301 0.3594656745530586 0.35000003249999834 0.45318500968651226
Maximum and minimum objectives for 1&2&3&4 632560.2000000004 706569.4000000001 0.6209979466300791 0.9036885250466588 14 34 0.49090786528286534 0.7356303418803419
Lambda [0, 0.28571, 0.71429, 0]
Tchebycheff of neighborhood and good string [0.6428602892814498 0.25000080892442383]
Index of neighborhood for replacement 1 [1]
Objectives of string [681792.9000000003, 0.6508302782881124, 26, 0.5302342029315713, 1, 0]
Objectives of new string [665016.0, 0.7226145773156173, 21, 0.6018118763952097, 0, 0]
Normalization of string 0.665224053230339 0.10553456998819123 0.6000000199999999 0.16070112355175442
Normalization of new string 0.4385373710371301 0.3594656745530586 0.35000003249999834 0.45318500968651226
Maximum and minimum objectives for 1&2&3&4 632560.2000000004 706569.4000000001 0.6209979466300791 0.9036885250466588 14 34 0.49090786528286534 0.7356303418803419
Lambda [0.14286, 0.28571, 0.57143, 0]
Tchebycheff of neighborhood and good string 0.3428574399985994 0.19999994714147407
    
```

รูปที่ 7.28 การเปรียบเทียบคำตอบที่ดีกับสตริงคำตอบในกลุ่มเพื่อนบ้าน

เมื่อวนซ้ำการปรับปรุงสตริงด้วยวิธี Conventional, Unconvention, มิวเทชัน หรือการปรับปรุงเฉพาะที่ของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO แล้วครบทุกจุดตั้งต้นทั้ง 120 จุดให้นำคำตอบที่อยู่ใน Elitist มารวมกับสตริงในกลุ่มประชากรที่ปรับปรุงได้มานี้มาทำการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำเพื่อคัดเลือกคำตอบที่ดีคงเหลือไว้ใน Elitist เป็นจำนวนไม่เกินกว่าจำนวนประชากร คือ 120 คำตอบทั้งหมดนี้เป็นขั้นตอนของ 1 เจเนอเรชัน เมื่อดำเนินการจนครบตามจำนวนเจเนอเรชันที่กำหนดให้นำคำตอบที่อยู่ใน Elitist และคำตอบของประชากรมาทำการคัดเลือกคำตอบด้วยวิธีการจัดลำดับแบบไม่ถูกครอบงำแล้วเลือกสตริงคำตอบที่อยู่ในความแข็งแรง 1 เท่านั้น ทำให้ได้สตริงประชากรสุดท้ายเป็นคำตอบของกระบวนการนี้ ดังรูปที่ 7.29

```

ep result for fitness1 [[2068763.5000000026, 0.34160571570949544, 33, 0.8822339466089466, 6, 0], [690627.2000000001, 0.8600992383646423, 33, 0.5054744209092035, 0, 2], [664215.600000002, 0.6783396383469064, 28, 0.7356303418803419, 0, 1], [2068763.5000000028, 0.34160571570949544, 33, 0.8822339466089466, 6, 0], [2068763.5000000033, 0.34160571570949544, 33, 0.8822339466089466, 6, 0], [2068763.5000000028, 0.34160571570949544, 33, 0.8822339466089465, 6, 0], [2068763.5000000028, 0.34160571570949544, 33, 0.8822339466089465, 6, 0], [659903.500000006, 0.7523010418534236, 28, 0.5452351011561537, 1, 1], [648409.5999999999, 0.7569863866542348, 30, 0.5667337366422035, 0, 0], [2068763.5000000026, 0.34160571570949544, 33, 0.8822339466089466, 6, 0], [2068763.5000000042, 0.34160571570949544, 33, 0.8822339466089465, 6, 0], [662900.2000000003, 0.7549785370355022, 28, 0.5922137524311438, 1, 0], [648367.9000
    
```

รูปที่ 7.29 สตริงคำตอบประชากรสุดท้าย

7.5 การนำผลจากโปรแกรมไปใช้ในการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

การค้นหาคำตอบที่ดีด้วยอัลกอริทึมต่างๆ ทำให้ได้ผลการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ดังรูปที่ 7.30 ที่ระบุหมายเลขนักบิน (คอลัมน์ที่ 1) วันที่ปฏิบัติงาน (คอลัมน์ที่ 2) รูปแบบเที่ยวบิน (คอลัมน์ที่ 3) และตำแหน่งงานนักบิน (คอลัมน์ที่ 4) จึงทำให้นักวางแผนหรือผู้ใช้งานนำผลเหล่านี้ไปกรอกในแผนงานได้ ซึ่งผลของการค้นหาคำตอบนี้ได้ผ่านข้อจำกัดทุกประการแล้ว โดยนักวางแผนสามารถเลือกคำตอบที่ดีจากชุดคำตอบที่ดีแบบมากวัตถุประสงค์นี้จะมีหลายชุดคำตอบในแต่ละคำตอบจะดีต่างกันในแต่ละวัตถุประสงค์ จึงขอยกตัวอย่างเพื่อแสดงให้เห็นถึงการนำผลของการค้นหาคำตอบ

เหล่านี้นำไปใช้งานในการปฏิบัติงานนักบิน ผลบรรทัดแรกคือ 13.0 1 O2 FCIP หมายความว่า นักบินคนที่ 13 ที่เป็นนักบินกัปตันระดับอาวุโสถูกจัดตารางให้ปฏิบัติการบินรูปแบบเที่ยวบินหมายเลข O2 ในวันที่ 2 ในโปรแกรมนี้กำหนดเลขวันเริ่มจากเลขศูนย์ เช่น เลขวัน 1 คือ วันที่ 2 เป็นต้น

13.0 1 O2 FCIP
13.0 3 O2 FCIP
13.0 4 O20 FCIP
13.0 5 O19 FCIP
13.0 6 O20 FCIP
13.0 8 O2 FCIP
13.0 10 O41 FCIP
13.0 11 O41 FCIP
13.0 12 O2 FCIP
13.0 13 O19 FCIP
13.0 15 O45 FCIP
13.0 17 O19 FCIP
13.0 18 O20 FCIP
13.0 19 O45 FCIP
13.0 20 O23 FCIP
13.0 22 O45 FCIP
13.0 23 O41 FCIP
13.0 26 O45 FCIP
13.0 27 O45 FCIP
13.0 28 O23 FCIP
13.0 29 O23 FCIP
1.0 2 O2 FCIP
1.0 3 O19 FCIP

รูปที่ 7.30 ผลการจัดสรรรูปแบบเที่ยวบินของนักบินแต่ละคน

บทที่ 8

การเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆสำหรับการแก้ปัญหา การจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน

ในบทนี้ขอเสนอผลการทดลองแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินแบบมากวัตถุประสงค์ที่ใช้อัลกอริทึม MOEA/D, HBMO และ MOEA/D-HBMO จึงนำผลที่ได้จากทดลองมาประเมินแล้วเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมทั้งสามตัวนี้มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบแตกต่างกัน โดยใช้ตัวชี้วัดมาใช้เปรียบเทียบจำนวน 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ (Ratio of Non-Dominated Solution I) อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution II)

8.1 ปัญหาที่ในการทดลองสำหรับงานวิจัย

ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย 5 ปัญหามาสร้างโดยจะประกอบด้วยจำนวนนักบินและจำนวนรูปแบบเที่ยวบินที่แตกต่างกันจำนวนรูปแบบเที่ยวบินจะเป็นจำนวนโดยเฉลี่ยเพราะในแต่ละวันมีการวางแผนไว้ไม่เท่ากันในแต่ละโจทย์ปัญหา ส่วนจำนวนนักบินของโจทย์การทดลองนี้เป็นจำนวนเดียวกันทั้งเดือน ซึ่งมีข้อมูลดังตารางที่ 8.1

8.2 วิธีการทดลองของงานวิจัย

วิธีการทดลองโดยใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาสายการประกอบมากวัตถุประสงค์ของการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของอัลกอริทึมที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาแต่ละโจทย์ปัญหา
2. ทำการทดลองแก้ปัญหาตัวอย่างด้วยอัลกอริทึมต่างๆ โดยทำการทดลองหาคำคำตอบที่เหมาะสมที่สุดตลอดกระบวนการทำงานตามจำนวนรอบการทำงานที่กำหนด
3. นำคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (First Frontier) ที่แต่ละอัลกอริทึมหามาได้ (Obtained Pareto-optimal Solution) มารวมกันแล้วจัดอันดับคำตอบด้วยวิธีการจัดลำดับแบบไม่ถูกรอบงำ เป็นคำตอบมีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 ที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง (True Pareto-Optimal Solution) บนเส้นพาเรโต

ตารางที่ 8.1 จำนวนนักบินและรูปแบบเที่ยวบินในแต่ละโจทย์ปัญหา

Problem		Number of Flight Pattern			Number of Cockpit crew
Size	Code	Normal duty time	Duty end time after 6 p.m.	Total	
Small	S1	43	17	60	12
	S2	62	31	93	15
Medium	M1	145	76	221	45
	M2	132	116	248	58
Large	L	341	331	672	123

4. ประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึมทั้ง 4 ตัว และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะในแต่ละด้านการทดลองในการแก้ปัญหาตัวอย่างด้วยอัลกอริทึมต่างๆเป็นการทดลองผ่านโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษา PYTHON ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ Intel® Core™ i7-7500U CPU@2.70GHz 2.90 GHz RAM 8.00 GB

8.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในอัลกอริทึม

การทดลองแก้ปัญหาจากโจทย์จริงและตัวอย่างในแต่ละปัญหาที่แตกต่างกันก็จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแก้ปัญหาอาจแตกต่างกันด้วย เพื่อที่จะได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาแต่ละปัญหา จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

8.3.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองสำหรับอัลกอริทึมต่างๆ

8.3.1.1 พารามิเตอร์สำหรับทุกอัลกอริทึม

พารามิเตอร์ที่ทำการทดลองนี้มีบางส่วนที่เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ค่าเดียวกันทั้งหมดในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ดังนี้

1. จำนวนประชากร (Number of Population)

จำนวนประชากร คือ จำนวนสตริงคำตอบทั้งหมดที่สร้างขึ้นเริ่มต้นและเมื่อเกิดการปรับปรุงคำตอบก็จะอยู่ในแต่ละเจเนอเรชันที่ทดลองเป็นจำนวนสตริงคำตอบสุดท้ายที่ยังคงจำนวนเท่าเดิม โดยในงานวิจัยทั่วไปได้กำหนดจำนวนประชากรเท่ากับ 100 สตริงคำตอบ (Hwang et al., 2008) สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D จำนวนของประชากรจะขึ้นอยู่กับจำนวนของวัตถุประสงค์และสัดส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งคำนวณได้จากฟังก์ชันการ

ออกแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ (Simplex Lattice Design) ซึ่งงานวิจัยนี้มีจำนวน 4 วัตถุประสงค์ จึงได้คำนวณจำนวนของประชากรได้เท่ากับ 120 จะได้จำนวนของประชากรที่ใช้ในงานวิจัยเท่ากับ 120 สตรีงคำตอบที่ใช้สำหรับทุกอัลกอริทึม การที่จำนวนประชากรเป็นค่าเดียวกันจะทำให้จำนวนคำตอบเบื้องต้นที่ทำการเทียบกันได้เหมาะสม

2. จำนวนเจเนอเรชัน (Generation Size)

จำนวนเจเนอเรชัน คือ จำนวนรอบของการทำงานนับตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม หากกำหนดจำนวนเจเนอเรชันน้อยเกินไปจะทำให้คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด หรือถ้ากำหนดจำนวนเจเนอเรชันมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณเกินความจำเป็น ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนเจเนอเรชันในแต่ละโจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลองไว้ ดังตารางที่ 8.2

8.3.1.2 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบที่แตกต่างกันจะทำให้การค้นหาคำตอบมีประสิทธิภาพต่างกัน สำหรับอัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก จะต้องทำการทดสอบเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

ตารางที่ 8.2 จำนวนเจเนอเรชันในแต่ละโจทย์ปัญหา

Problem		Number of Flight Pattern	Number of Cockpit crew	Generation Size
Size	Code			
Small	S1	60	15	1000
	S2	93	20	1000
Medium	M1	221	45	1500
	M2	248	58	1500
Large	L	672	123	2000

1. จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ (lattice: H) คือ ตัวกำหนดจำนวนจุดของค่าถ่วงน้ำหนัก (Number of λ_p) หรือจำนวนของสตรีงคำตอบทั้งหมด (Population size) โดยงานวิจัยนี้จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7 เพื่อให้ประชากรเบื้องต้นของสตรีงคำตอบมีค่าเท่ากับ 120

2. จำนวนจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood of Each Weight Vector: T) คือ ตัวกำหนดจำนวนของประชากรย่อยในการพัฒนาคำตอบในแต่ละจุดของค่าถ่วงน้ำหนักที่พิจารณา ซึ่งจำนวนของประชากรย่อยจะเท่ากับ $T+1$ การพัฒนาคำตอบของ MOEA/D จะเกิดจากการนำสตริงคำตอบที่อยู่ในกลุ่มประชากรย่อยรวมถึงบริเวณที่จะทำการแทนที่คำตอบที่ดี ถ้ามากหรือน้อยเกินอาจทำให้เกิดคำตอบที่ไม่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพิจารณาจำนวนของจุดเพื่อนบ้านเป็นปัจจัยที่ต้องทำการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีระดับปัจจัยทั้งหมด 2 ระดับ (Ishibuchi et al., 2013) ดังนี้

- ระดับที่ 1 จำนวนจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 4
- ระดับที่ 2 จำนวนจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 9

3. ร้อยละในการกำหนดจำนวนการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน (%Replace) คือ ค่าร้อยละในการสุ่มเพื่อเปรียบเทียบกับจุดเพื่อนบ้านของกลุ่มประชากรย่อยเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และแทนที่คำตอบในจุดเพื่อนบ้านที่สุ่มได้ ทั้งนี้ คำตอบที่ปรับปรุงได้เป็นคำตอบที่ดีแทนที่ในกลุ่มประชากรย่อยมากขึ้น ถ้าค่าร้อยละมีค่ามากเกินไปอาจจะทำให้สตริงคำตอบในประชากรย่อยมีโอกาสเป็นสตริงเดียวกันเกือบทั้งหมดจึงส่งผลให้ไม่เกิดการพัฒนาคำตอบอีกและมีคำตอบที่กระจายตัวน้อย ดังนั้น จึงทำการนำค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านในกลุ่มประชากรย่อยมาเป็นปัจจัยในการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละโจทย์ปัญหา โดยมีระดับปัจจัยทั้งหมด 2 ระดับ ดังนี้

- ระดับที่ 1 ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน เท่ากับ 30
- ระดับที่ 2 ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน เท่ากับ 50

8.3.1.3 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม HBMO

วิธีการนี้ได้กำหนดจำนวนสตริงตัวอ่อน 40 สตริงไว้เมื่อมีการกำหนดให้เลือกสตริงราชินีแบบ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่ต้องการหาเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาด้วยวิธี HBMO คือ จำนวนขนาดที่บรรจุเชื้อ (Spermatheca Size) เพื่อเลือกฝังตัวผู้มาทำการผสมพันธุ์นั้นได้กำหนดให้ทดลอง ดังนี้

- ระดับที่ 1 คือ ขนาดที่บรรจุเชื้อจำนวน 7 ตัว
- ระดับที่ 2 คือ ขนาดที่บรรจุเชื้อจำนวน 21 ตัว

8.3.1.4 พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO

สำหรับอัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบขั้นตอนวิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับอัลกอริทึมการผสมพันธุ์ผึ้ง (MOEA/D-HBMO) จะทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบเช่นเดียวกับวิธีวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก (MOEA/D) จึงทำการนำจำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ จำนวนจุดเพื่อนบ้าน และร้อยละในการกำหนดจำนวนการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน ดังรายละเอียด ดังนี้

1. จำนวนส่วนในการแบ่งค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ (lattice : H) คือ ตัวกำหนดจำนวนจุดของค่าถ่วงน้ำหนัก (Number of λ_p) หรือจำนวนของสตริงคำตอบทั้งหมด (Population size) โดยงานวิจัยนี้จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7 เพื่อให้ประชากรเบื้องต้นของสตริงคำตอบมีค่าเท่ากับ 120
2. จำนวนจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood of Each Weight Vector: T) คือ ตัวกำหนดจำนวนของประชากรย่อยในการพัฒนาคำตอบในแต่ละจุดของค่าถ่วงน้ำหนักที่พิจารณา การพัฒนาคำตอบของ MOEA/D-HBMO งานวิจัยนี้พิจารณาจำนวนของจุดเพื่อนบ้านที่มีระดับปัจจัยทั้งหมด 2 ระดับ (Ishibuchi et al., 2013) ดังนี้
 - ระดับที่ 1 จำนวนจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 4
 - ระดับที่ 2 จำนวนจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 9
3. ร้อยละในการกำหนดจำนวนการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน (%replace) คือ ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านในกลุ่มประชากรย่อยมาเป็นปัจจัยในการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละโจทย์ปัญหา โดยมีระดับปัจจัยทั้งหมด 2 ระดับ ได้แก่
 - ระดับที่ 1 ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน เท่ากับ 30
 - ระดับที่ 2 ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน เท่ากับ 50

8.3.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design ทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ซ้ำเพื่อทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จะนำตัวชี้วัดสมรรถนะในด้านการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (Convergence to Pareto-Optimal Set) และการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ (Spread) มาเป็นตัวแปรตอบสนองกับระดับปัจจัยที่กำหนดไว้ เนื่องจากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโตเป็นตัวชี้วัดหลักที่สำคัญในการประเมินว่ากลุ่ม

คำตอบที่แต่ละอัลกอริทึมหามาได้นั้นเป็นกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาราโตที่แท้จริงมากน้อยอย่างไร และตัวชี้วัดที่สำคัญรองลงมา คือ การกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ

8.3.2.1 ขั้นตอนการทดสอบค่าพารามิเตอร์

โดยจะทำการทดสอบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design
2. ทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ
3. คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้งหมดในทุกระดับปัจจัย เพื่อใช้เป็นค่าตัวแปรตอบสนอง
4. พิจารณาค่าตัวชี้วัดสมรรถนะ ด้วยโปรแกรม Minitab 17
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

8.3.2.2 รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบ

จากการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design และจำนวนพารามิเตอร์ของแต่ละอัลกอริทึมที่แตกต่างกัน จะได้จำนวนทรีทเมนต์ (Treatment Combination) ในแต่ละปัญหาการทดลองและแต่ละอัลกอริทึมดังนี้

1. อัลกอริทึม MOEA/D

สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D มีจำนวนพารามิเตอร์ หรือปัจจัย 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ และมีการทำการทดลอง 2 ซ้ำ ในแต่ละปัญหาทำการทดลอง เท่ากับ $2 \times 2 \times 2 = 8$ การทดลอง ดังตารางที่ 8.3

ตารางที่ 8.3 จำนวนปัจจัยและระดับปัจจัยของอัลกอริทึม MOEA/D

ปัจจัย	จำนวนระดับปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. จำนวนจุดเพื่อนบ้าน	2	4
		9
2. ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน	2	30
		50

2. อัลกอริทึม HBMO

สำหรับอัลกอริทึม HBMO มีจำนวนพารามิเตอร์ หรือปัจจัย 1 ปัจจัย 2 ระดับ และมีการทำการทดลอง 2 ซ้ำ ดังนั้นในแต่ละปัญหาจะทำการทดลอง เท่ากับ $2 \times 2 = 4$ การทดลอง ตามตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8.4 จำนวนปัจจัยและระดับปัจจัยของอัลกอริทึม HBMO

ปัจจัย	จำนวนระดับปัจจัย	ระดับปัจจัย
จำนวนขนาดที่บรรจุเชื้อ	2	7
		21

3. อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO

สำหรับอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีจำนวนพารามิเตอร์ หรือปัจจัย 2 ปัจจัยมี 2 ระดับ และมีการทำการทดลอง 2 ซ้ำ ดังนั้นในแต่ละปัญหาจะทำการทดลอง เท่ากับ $2 \times 2 \times 2 = 8$ การทดลอง ตามตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 จำนวนปัจจัยและระดับปัจจัยของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO

ปัจจัย	จำนวนระดับปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. จำนวนจุดเพื่อนบ้าน	2	4
		9
2. ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน	2	30
		50

8.3.2.3 โจทย์ปัญหาที่นำมาทดสอบพารามิเตอร์

ปัญหาที่ใช้ทดลองในการทดสอบพารามิเตอร์มีปัญหาการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหาที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้ ดังตารางที่ 8.6

8.3.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์และสรุปผลการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมประกอบด้วยขั้นตอนการพิจารณา ดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์ผลจากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนองอันดับแรก ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุดจะเป็นค่าที่เข้าใกล้ค่าศูนย์มากที่สุด นั่นคือ กลุ่มคำตอบที่ได้จากการทดลองด้วยระดับของปัจจัยมีค่าใกล้เคียงกลุ่มคำตอบที่แท้จริงมีการพิจารณา ดังนี้

ตารางที่ 8.6 โจทย์ปัญหาที่ใช้ทดสอบพารามิเตอร์

Problem		Number of Flight Pattern			Number of Cockpit crew
Size	Code	Normal duty time	Duty end time after 6 p.m.	Total	
Small	S1	43	17	60	12
	S2	62	31	93	15
Medium	M1	145	76	221	45
	M2	132	116	248	58
Large	L	341	331	672	123

- วิเคราะห์ ANOVA เพื่อหาว่าปัจจัยใดบ้าง มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ค่า p-value น้อยกว่าที่ระดับ $\alpha=0.05$) ถ้ามีให้ดำเนินการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป ถ้าไม่มีให้ไปทำการวิเคราะห์ผลจากตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบในลำดับถัดไป
- วิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยจากกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect) หรือ กราฟอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) เพื่อเลือกระดับปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าดีที่สุด ถ้ามีระดับปัจจัยเพียงระดับเดียว จะกำหนดให้ระดับปัจจัยนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม ถ้ามีหลายระดับ หรือยังไม่สามารถระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดได้ชัดเจน โดยจะนำปัจจัยนั้นไปทำการวิเคราะห์ต่อในข้อ 2

2. ทำการวิเคราะห์ผลจากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง โดยค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด คือค่าที่เข้าใกล้ค่าศูนย์มากที่สุด นั่นคือ กลุ่มคำตอบที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวของคำตอบอย่างสม่ำเสมอโดยจะวิเคราะห์ผลเช่นเดียวกับในขั้นตอนแรก

3. ถ้าทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ของตัวแปรตอบสนองใน 2 ขั้นตอนข้างต้นแล้วยังไม่สามารถกำหนดระดับปัจจัยหรือค่าพารามิเตอร์ได้ ให้ทำการหาค่าพารามิเตอร์จากฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab เพื่อกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองในด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้มีค่าดีที่สุด

8.3.2.5 ตัวอย่างการทดสอบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ผล

1. อัลกอริทึม MOEA/D

การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึม MOEA/D นี้ เป็นตัวอย่างของ โจทย์ขนาดเล็ก (S2) โดยมีนักบินจำนวน 15 คน 93 รูปแบบเที่ยวบิน และจำนวนรอบในการทดสอบ 1000 รอบ โดยค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของการทดสอบแสดงในตารางที่ 8.7 ไปทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโจทย์ปัญหาเหล่านี้ด้วยโปรแกรม Minitab ผลการวิเคราะห์ของตัวแปรตอบสนอง ด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง (Convergence) แสดงดังรูปที่ 8.1 จะเห็นได้ว่า ค่า P-Value ของ ปัจจัยร่วม มีค่ามากกว่าที่ระดับ $\alpha=0.05$ หมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างจำนวนจุดเพื่อนบ้านและ ค่าร้อยละในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการพิจารณาที่ตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบต่อไป ตารางที่ 8.7 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะค่าพารามิเตอร์ที่ระดับต่างๆของ MOEA/D

Number of Neighborhood	Percent of Replacement	Replicate	Performance	
			Convergence	Spread
4	30	1	1.8486	NaN
		2	1.7435	0.95983
	50	1	1.7846	0.89159
		2	1.7846	0.91342
9	30	1	1.7082	0.86702
		2	1.4639	0.91297
	50	1	1.4552	0.9021
		2	1.8507	0.8974

หมายเหตุ: NaN คือ ค่าที่ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้มีเพียงคำตอบเดียว

พิจารณาผลการวิเคราะห์ของตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว ดังรูปที่ 8.2 ค่า P-Value ของปัจจัยร่วม มีค่ามากกว่าที่ระดับ $\alpha=0.05$ หมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างจำนวนจุดเพื่อนบ้าน และค่าร้อยละในการสุ่มจุดเพื่อนบ้าน ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยร่วมทั้งสอง ด้วยวิธี Response Optimizer ต่อไป

Factorial Regression: Convergence versus Neighborhood, %Replace					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.062969	0.020990	0.74	0.581
Linear	2	0.059900	0.029950	1.05	0.429
Neighborhood	1	0.058362	0.058362	2.06	0.225
%Replace	1	0.001537	0.001537	0.05	0.827
2-Way Interactions	1	0.003069	0.003069	0.11	0.759
Neighborhood*%Replace	1	0.003069	0.003069	0.11	0.759
Error	4	0.113574	0.028394		
Total	7	0.176543			

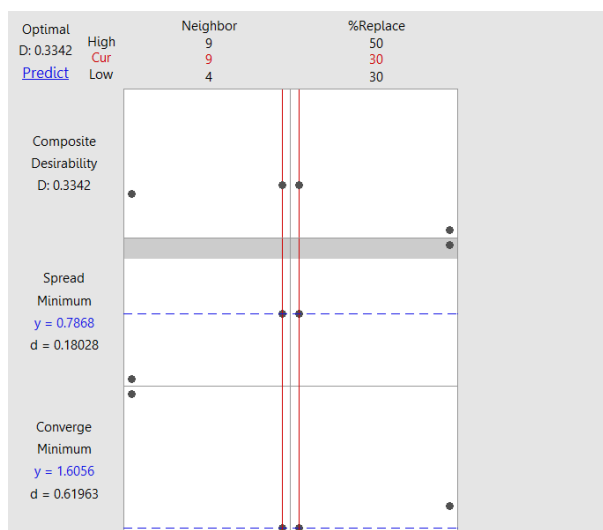
รูปที่ 8.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองด้าน Convergence ในปัญหาขนาดเล็ก (S2)

Factorial Regression: Spread versus Neighborhood, %Replace					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.26164	0.08721	0.76	0.574
Linear	2	0.17642	0.08821	0.76	0.524
Neighborhood	1	0.08296	0.08296	0.72	0.444
%Replace	1	0.09346	0.09346	0.81	0.419
2-Way Interactions	1	0.08521	0.08521	0.74	0.439
Neighborhood*%Replace	1	0.08521	0.08521	0.74	0.439
Error	4	0.46194	0.11549		
Total	7	0.72358			

รูปที่ 8.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองด้าน Spread ในปัญหาขนาดเล็ก (S2)

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Response Optimizer เพื่อที่จะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโจทย์ปัญหานี้ที่ทำให้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง และด้านการกระจายตัวมีค่าน้อยที่สุด คือ จำนวนจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 9 และค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 30 ดังรูปที่ 8.3

ดังนั้น สำหรับปัญหาขนาดเล็ก (S2) ด้วยอัลกอริทึม MOEA/D ไม่มีปัจจัยจำนวนจุดเพื่อน และค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านที่มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดของการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงและการกระจายของคำตอบในปัญหานี้ จึงกำหนดให้จุดเพื่อนบ้านจำนวน 9 จุดและจำนวนครั้งในการสุ่มเป็นร้อยละ 30 ของจำนวนจุดเพื่อนบ้านนั่นเอง



รูปที่ 8.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยร่วมทั้งสอง ด้วยวิธี Response Optimizer ในปัญหาขนาดเล็ก (S2)

2. อัลกอริทึม HBMO

การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึม HBMO นี้เป็นตัวอย่างของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M1) โดยมีนักบินจำนวน 45 คน 221 รูปแบบเที่ยวบินและจำนวนรอบในการทดสอบ 1500 รอบ โดยค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของการทดสอบแสดงดังตารางที่ 8.8 ทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโจทย์ปัญหานี้ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งผลการวิเคราะห์ของตัวแปรตอบสนองด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริง (Convergence) แสดงดังรูปที่ 8.4 จะเห็นได้ว่า ค่า P-Value ของขนาดบรรจุเชื้อมีค่าเท่ากับ 0.263 ซึ่งมากกว่าที่ระดับ $\alpha=0.05$ หมายความว่า ขนาดบรรจุเชื้อไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการพิจารณาที่ตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบต่อไป

ตารางที่ 8.8 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะค่าพารามิเตอร์ที่ระดับต่างๆของ HBMO

Spermatheca Size	Replicate	Performance	
		Convergence	Spread
7	1	0.7181	0.6252
	2	0.6026	0.5339
21	1	0.7289	0.4503
	2	0.8504	0.6107

One-way ANOVA: Convergence versus Spermatheca					
Method					
Null hypothesis	All means are equal				
Alternative hypothesis	At least one mean is different				
Significance level	$\alpha = 0.05$				
Equal variances were assumed for the analysis.					
Factor Information					
Factor	Levels	Values			
Spermatheca	2	7, 21			
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spermatheca	1	0.01672	0.016724	2.38	0.263
Error	2	0.01405	0.007023		
Total	3	0.03077			

รูปที่ 8.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของตัวชี้วัดด้าน Convergence ในปัญหาขนาดกลาง (M1)

พิจารณาผลการวิเคราะห์ของตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว ดังรูปที่ 8.5 ค่า P-Value ของขนาดบรรจุเชื้อ มีค่าเท่ากับ 0.648 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ระดับ $\alpha=0.05$ หมายความว่า ค่าขนาดบรรจุเชื้อ (Spermatheca size) ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการหาค่าขนาดบรรจุเชื้อที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหานี้ ด้วยวิธี Response Optimizer ต่อไปได้คำตอบที่ดีที่สุดของการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงและการกระจายของคำตอบในปัญหานี้ จึงกำหนดให้ค่าการสร้างตัวอ่อนจำนวน 40 ตัวและขนาดบรรจุเชื้อจำนวน 7 ตัวนั่นเอง

3. อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO

การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO นี้ เป็นตัวอย่างของโจทย์ขนาดใหญ่ (L) โดยมีนักบินจำนวน 123 คน 672 รูปแบบเที่ยวบิน และจำนวนรอบในการทดสอบ 2000 รอบ ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของการทดสอบแสดงดังตารางที่ 8.9

นำค่าที่ได้ในตารางที่ 8.9 ไปทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโจทย์ปัญหานี้ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งผลการวิเคราะห์ของตัวแปรตอบสนองด้าน การเข้าสู่คำตอบที่แท้จริง (Convergence) แสดงดังรูปที่ 8.7 จะเห็นได้ว่า ค่า P-Value ของปัจจัยจำนวนจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood) ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุมจุดเพื่อนบ้าน (%Replace) และปัจจัยร่วมระหว่าง Neighborhood กับ %Replace เท่ากับ 0.019 ,0.649 และ 0.044 ตามลำดับซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ ระดับ $\alpha=0.05$ หมายความว่า ปัจจัยทั้งจำนวนจุดเพื่อนบ้านและปัจจัยร่วมระหว่าง

จำนวนจุดเพื่อนบ้านกับค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 8.9 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะค่าพารามิเตอร์ที่ระดับต่างๆของ MOEA/D-HBMO

Number of Neighborhood	%replace	Replicate	Performance	
			Convergence	Spread
4	30	1	0.8133	0.9284
		2	0.8157	0.9462
	50	1	0.3752	0.9194
		2	0.5770	NaN
9	30	1	0.2529	0.9053
		2	0.0425	0.6555
	50	1	0.2526	0.9845
		2	0.5239	0.9045

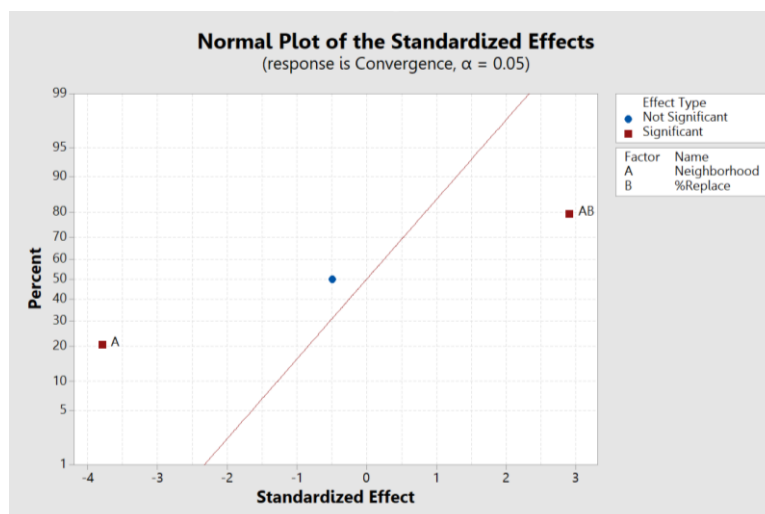
หมายเหตุ: NaN คือ ค่าที่ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้มีเพียงคำตอบเดียว

Factorial Regression: Convergence versus Neighborhood, %Replace						
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	3	0.457082	0.152361	7.69	0.039	
Linear	2	0.289493	0.144746	7.30	0.046	
Neighborhood	1	0.284699	0.284699	14.36	0.019	
%Replace	1	0.004794	0.004794	0.24	0.649	
2-Way Interactions	1	0.167589	0.167589	8.46	0.044	
Neighborhood*%Replace	1	0.167589	0.167589	8.46	0.044	
Error	4	0.079278	0.019819			
Total	7	0.536359				

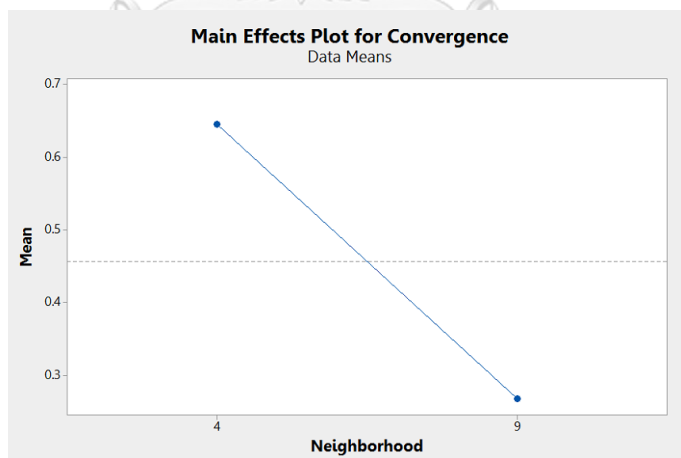
รูปที่ 8.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO กับตัวแปรตอบสนองด้าน Convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L)

พิจารณาที่กราฟอิทธิพลหลัก Main Effect Plot ดังรูปที่ 8.8 ทำให้ทราบได้ว่าเมื่อจำนวนจุดเพื่อนบ้าน (Neighborhood) มากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของการลู่เข้าสู่คำตอบมีค่าน้อยลงเป็นการเข้าใกล้ค่าเป้าหมายเพิ่มขึ้นที่ค่าศูนย์ สำหรับปัจจัยร่วม (Neighborhood*%Replace) ที่มีผลต่อการลู่เข้าสู่คำตอบนี้ทำการพิจารณาจากกราฟ Interaction Plot ดังรูปที่ 8.9 เมื่อระดับของจำนวนจุดเพื่อนบ้านที่ค่า 4 เมื่อเปลี่ยนค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านจากระดับต่ำ

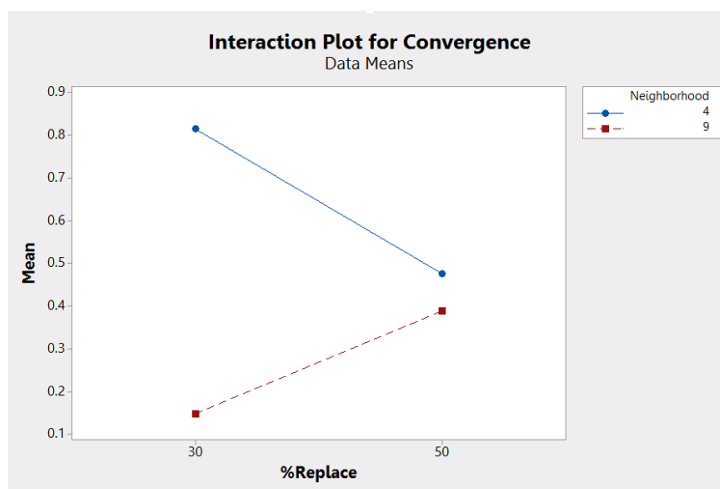
ไประดับสูงที่มากขึ้นนี้ทำให้ค่าเฉลี่ยของแกน Y (การลู่เข้าคำตอบ) มีค่าลดลงที่ทำให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายหรือศูนย์มากขึ้น แต่เมื่อปรับจำนวนจุดเพื่อนบ้านที่ค่า 9 เมื่อเปลี่ยนระดับของค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการลู่จุดเพื่อนบ้านจากระดับต่ำไประดับสูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่จะทำให้ค่าเฉลี่ยแกน Y มีค่ามากขึ้นที่ทำให้ผลคำตอบไม่เข้าใกล้จากค่าเป้าหมาย



รูปที่ 8.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO กับตัวแปรตอบสนองด้าน convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L)



รูปที่ 8.7 กราฟอิทธิพลหลัก (Main Effects Plot) ของปัจจัย Neighborhood ของตัวชี้วัดด้าน Convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L)



รูปที่ 8.8 กราฟความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Plot) Neighborhood กับ %Replace ของตัวชี้วัดด้าน Convergence ในปัญหาขนาดใหญ่ (L)

ดังนั้น การแก้ปัญหาขนาดใหญ่ (L) ด้วยอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO นี้มีปัจจัยจำนวนจุดเพื่อนบ้านและค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านมีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับจำนวนจุดเพื่อนบ้านที่ระดับแตกต่างกันทำให้ค่าเฉลี่ยแกน Y ต่างกันที่ค่าร้อยละในการกำหนดจำนวนครั้งในการสุ่มจุดเพื่อนบ้านที่ระดับเดียวกัน

8.3.3 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินในแต่ละโจทย์และสำหรับอัลกอริทึม MOEA/D, HBMO และ MOEA/D-HBMO ดังตารางที่ 8.10

ตารางที่ 8.10 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาแต่ละโจทย์ปัญหาของทุกอัลกอริทึม

Algorithm	Parameters	Problem				
		S1	S2	M1	M2	L
MOEA/D	Neighborhood	9	4	9	4	9
	%Replace	30	50	30	30	50
HBMO	Spermatheca Size	21	21	7	7	21
MOEA/D-HBMO	Neighborhood	9	9	9	9	9
	%Replace	30	30	30	30	30
Population		120				
Generation		1000		1500		2000

8.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาตัวอย่างและสมรรถนะของอัลกอริทึม

ในการทดลองแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของสายการบินราคาประหยัดแบบมากวัตดูประสงค์ โดยการทำการทดลองซ้ำโจทยละ 2 รอบ แล้วทำการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (First Frontier) ของแต่ละอัลกอริทึมในแต่ละรอบนำคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโตทั้งหมดของทั้ง 3 อัลกอริทึมของโจทยตัวอย่างนั้นๆ มาหากลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง (Approximate True Pareto-Optimal) ด้วยวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรงร่วมกันด้วยวิธี Non-Dominated Sorting และทำการประเมินอัลกอริทึมด้วยตัวชี้วัดที่กำหนดไว้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึม จึงนำเสนอผลของการแก้ปัญหาใน 3 ส่วน ดังนี้ 1. ค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แต่ละอัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบได้ 2. กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง (นำเสนอเพียง 10 คำตอบเนื่องจากมีจำนวนมาก) 3. ผลตัวชี้วัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม

8.4.1 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดเล็ก (S1)

ปัญหาขนาดเล็ก (S1) ประกอบไปด้วยนักบิน 12 คน รูปแบบเที่ยวบินทั้งหมด 60 รูปแบบ โดยเฉลี่ยต่อวันที่มีรูปแบบเที่ยวบินช่วงกลางวัน (เลิกงานก่อน 18.00น.) จำนวน 43 รูปแบบและรูปแบบเที่ยวบินช่วงค่ำ (เลิกงานตั้งแต่ 18.00น. เป็นต้นไป) จำนวน 17 รูปแบบ สามารถดูคำตอบที่น้อยที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหานี้ แสดงดังตารางที่ 8.11

ตารางที่ 8.11 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหาขนาดเล็ก (S1)

Algorithm	Minimum Objectives			
	f_1	f_2	f_3	f_4
MOEA/D	635,189	0.6136	15	0.4814
HBMO	634,755	0.5983	11	0.4559
MOEA/D-HBMO	635,674	0.5814	16	0.4728

จากผลการทดลองเมื่อเทียบจากกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงตัวอย่าง ดังตารางที่ 8.12 คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง การกระจายตัวและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ R_{NDS2} ของอัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดีที่สุดและอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีค่ารองลงมาใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ R_{NDS1} ของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 8.13

ตารางที่ 8.12 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดเล็ก (S1)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
1	647,809	0.7597	19	0.5571
2	640,016	0.7066	22	0.5660
3	644,737	0.7021	32	0.4791
4	652,230	0.6790	17	0.5802
5	634,755	0.6378	29	0.6074
6	647,072	0.7219	20	0.5110
7	645,022	0.7447	23	0.5444
8	641,312	0.6568	26	0.5479
9	649,108	0.7835	30	0.4902
10	637,662	0.7584	28	0.5049

ตารางที่ 8.13 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดเล็ก (S1)

Algorithm	Performance			
	Convergence	Spread	RNDS1	RNDS2
MOEA/D	0.3437	0.5847	0.2163	0.0385
HBMO	<u>0.2930</u>	<u>0.4164</u>	0.3739	<u>0.0923</u>
MOEA/D-HBMO	0.3101	0.7408	<u>0.3857</u>	0.0846

8.4.2 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดเล็ก (S2)

ปัญหาขนาดเล็ก (S2) ประกอบไปด้วยนักบิน 15 คน รูปแบบเที่ยวบินทั้งหมด 93 รูปแบบมีรูปแบบเที่ยวบินช่วงกลางวัน (เลิกงานก่อน 18.00น.) จำนวน 62 รูปแบบและรูปแบบเที่ยวบินช่วงค่ำ (เลิกงานตั้งแต่ 18.00น. เป็นต้นไป) จำนวน 31 รูปแบบ สามารถดูคำตอบที่น้อยที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหานี้ แสดงดังตารางที่ 8.14

ตารางที่ 8.14 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆที่ทำได้ในปัญหาขนาดเล็ก (S2)

Algorithm	Minimum Objectives			
	f_1	f_2	f_3	f_4
MOEA/D	1,027,695	0.3783	27	0.8459
HBMO	1,025,448	0.3380	26	0.8339
MOEA/D-HBMO	1,016,929	0.2252	21	0.7980

จากผลการทดลองเมื่อเทียบจากกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงตัวอย่าง ดังตารางที่ 8.15 คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ R_{NDS1} และ R_{NDS2} ของ MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด ส่วนการกระจายตัวของอัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด ทำให้ทราบได้ว่าอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงมากกว่าตัวอื่น แสดงผลดังตารางที่ 8.16

ตารางที่ 8.15 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดเล็ก (S2)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
1	1,022,245	0.2768	28	0.8831
2	1,032,092	0.2640	23	0.8467
3	1,025,557	0.3052	29	0.8522
4	1,022,245	0.2889	28	0.8769
5	1,027,838	0.2947	28	0.8303
6	1,024,022	0.2888	24	0.8795
7	1,022,245	0.3014	28	0.8775
8	1,030,854	0.2600	23	0.8418
9	1,021,570	0.3017	29	0.8993
10	1,022,245	0.2768	28	0.8831

ตารางที่ 8.16 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดเล็ก (S2)

Performance \ Algorithm	Convergence	Spread	RNDS1	RNDS2
MOEA/D	1.5861	0.8900	0.0000	0.0000
HBMO	1.3236	<u>0.8137</u>	0.0000	0.0000
MOEA/D-HBMO	<u>0.2933</u>	0.8551	<u>0.6579</u>	<u>0.2273</u>

8.4.3 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดเล็ก (S3)

ปัญหาขนาดเล็ก (S3) ประกอบไปด้วยนักบิน 20 คน ประกอบไปด้วย รูปแบบเที่ยวบินทั้งหมด 135 รูปแบบโดยเฉลี่ยต่อวันที่มีรูปแบบเที่ยวบินช่วงกลางวัน (เลิกงานก่อน 18.00น.) จำนวน 84 รูปแบบและรูปแบบเที่ยวบินช่วงค่ำ (เลิกงานตั้งแต่ 18.00น. เป็นต้นไป) จำนวน 51 รูปแบบ สามารถดูคำตอบที่น้อยที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมต่างๆ ที่หาได้ในปัญหานี้ แสดงดังตารางที่ 8.17

ตารางที่ 8.17 ค่าตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหาขนาดเล็ก (S3)

Algorithm	Minimum Objectives			
	f_1	f_2	f_3	f_4
MOEA/D	1,847,373	0.3473	15	0.6508
HBMO	1,851,042	0.3580	15	0.6623
MOEA/D-HBMO	1,844,398	0.2821	15	0.6493

จากผลการทดลองเมื่อเทียบจากกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงตัวอย่าง ดังตารางที่ 8.18 คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่อู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ R_{NDS1} และ R_{NDS2} ของ MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ HBMO และ MOEA/D ตามลำดับ การกระจายตัวของอัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 8.19

ตารางที่ 8.18 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดเล็ก (S3)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
1	1,850,987	0.3799	29	0.7733
2	1,878,131	0.4053	18	0.7018
3	1,883,027	0.4188	18	0.7331
4	1,872,775	0.4214	23	0.6810
5	1,847,373	0.3818	29	0.7302
6	1,920,482	0.3977	20	0.7291
7	1,851,934	0.4030	27	0.7673
8	1,872,053	0.4182	31	0.6860
9	1,881,902	0.4072	27	0.6816
10	1,893,251	0.4656	18	0.7240

ตารางที่ 8.19 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดเล็ก (S3)

Algorithm	Performance			
	Convergence	Spread	RNDS1	RNDS2
MOEA/D	0.3022	0.5706	0.2353	0.0417
HBMO	0.2858	<u>0.4331</u>	0.1364	0.0313
MOEA/D-HBMO	<u>0.2300</u>	0.8139	<u>0.4231</u>	<u>0.1146</u>

8.4.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดกลาง (M1)

ปัญหาขนาดกลาง (M1) ประกอบไปด้วยนักบิน 45 คน รูปแบบเที่ยวบินทั้งหมด 221 รูปแบบ มีรูปแบบเที่ยวบินช่วงกลางวัน (เลิกงานก่อน 18.00น.) จำนวน 145 รูปแบบและรูปแบบเที่ยวบินช่วงค่ำ (เลิกงานตั้งแต่ 18.00น. เป็นต้นไป) จำนวน 76 รูปแบบ สามารถดูคำตอบที่น้อยที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหานี้ แสดงดังตารางที่ 8.20

ตารางที่ 8.20 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆที่ทำได้ในปัญหาขนาดกลาง (M1)

Algorithm	Minimum Objectives			
	f_1	f_2	f_3	f_4
MOEA/D	4,129,817	0.2871	21	0.3939
HBMO	4,134,462	0.2899	18	0.3894
MOEA/D-HBMO	4,125,492	0.2235	18	0.3907

จากผลการทดลองเมื่อเทียบจากกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงตัวอย่าง ดังตารางที่ 8.21 คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ R_{NDS1} และ R_{NDS2} ของ MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ HBMO และ MOEA/D ตามลำดับ การกระจายตัวของอัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 8.22

ตารางที่ 8.21 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดกลาง (M1)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
1	4,202,492	0.3388	18	0.4760
2	4,134,462	0.3567	33	0.4175
3	4,144,430	0.3398	20	0.4418
4	4,183,232	0.3560	28	0.3894
5	4,147,137	0.3565	20	0.4391
6	4,151,772	0.2515	18	0.3959
7	4,153,782	0.2591	19	0.3907
8	4,151,766	0.2540	18	0.3921
9	4,151,607	0.2513	19	0.3968
10	4,151,640	0.2540	19	0.3907

ตารางที่ 8.22 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดกลาง (M1)

Algorithm \ Performance	Convergence	Spread	RNDS1	RNDS2
MOEA/D	0.8184	0.6683	0.0000	0.0000
HBMO	0.6604	<u>0.5795</u>	0.0278	0.0132
MOEA/D-HBMO	<u>0.3460</u>	0.8404	<u>0.3483</u>	<u>0.1447</u>

8.4.5 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดกลาง (M2)

ปัญหาขนาดกลาง (M2) ประกอบไปด้วยนักบิน 58 คน ประกอบไปด้วย รูปแบบเที่ยวบิน ทั้งหมด 248 รูปแบบโดยเฉลี่ยต่อวันที่มีรูปแบบเที่ยวบินช่วงกลางวัน (เลิกงานก่อน 18.00น.) จำนวน 132 รูปแบบและรูปแบบเที่ยวบินช่วงค่ำ (เลิกงานตั้งแต่ 18.00น. เป็นต้นไป) จำนวน 116 รูปแบบ สามารถดูคำตอบที่น้อยที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหานี้ แสดงดัง ตารางที่ 8.23

ตารางที่ 8.23 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหาขนาดกลาง (M2)

Algorithm	Minimum Objectives			
	f_1	f_2	f_3	f_4
MOEA/D	4,959,371	0.2950	36	0.3914
HBMO	4,956,488	0.2978	34	0.3925
MOEA/D-HBMO	4,137,822	0.2350	21	0.3929

จากผลการทดลองเมื่อเทียบจากกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงตัวอย่าง ดังตารางที่ 8.24 คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง และอัตราส่วน ของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ R_{NDS1} และ R_{NDS2} ของ MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ HBMO และ MOEA/D ตามลำดับ การกระจายตัวของอัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดี ที่สุด แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 8.25

ตารางที่ 8.24 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดกลาง (M2)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
1	5,032,022	0.3334	43	0.4011
2	4,974,602	0.3551	46	0.4060
3	5,004,673	0.3474	46	0.3977

ตารางที่ 8.24 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดกลาง (M2) (ต่อ)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
4	4,977,802	0.3677	50	0.4060
5	4,956,488	0.3152	44	0.4068
6	5,005,262	0.3314	47	0.3993
7	5,003,476	0.3536	46	0.4051
8	4,980,230	0.3172	49	0.3918
9	4,994,776	0.3067	47	0.3986
10	4,997,643	0.3288	48	0.3914

ตารางที่ 8.25 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดกลาง (M2)

Algorithm	Performance			
	Convergence	Spread	RNDS1	RNDS2
MOEA/D	0.8868	0.7066	0.0714	0.0072
HBMO	0.8395	<u>0.6850</u>	0.2113	0.0290
MOEA/D-HBMO	<u>0.4004</u>	0.9247	<u>0.8390</u>	<u>0.2174</u>

8.4.6 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดกลาง (M3)

ปัญหาขนาดกลาง (M3) ประกอบไปด้วยนักบิน 65 คน ประกอบไปด้วย รูปแบบเที่ยวบินทั้งหมด 312 รูปแบบโดยเฉลี่ยต่อวันที่มีรูปแบบเที่ยวบินช่วงกลางวัน (เลิกงานก่อน 18.00น.) จำนวน 165 รูปแบบและรูปแบบเที่ยวบินช่วงค่ำ (เลิกงานตั้งแต่ 18.00น. เป็นต้นไป) จำนวน 147 รูปแบบสามารถดูคำตอบที่น้อยที่สุดในแต่ละวัตถุประสงคของอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหานี้ แสดงดังตารางที่ 8.26

ตารางที่ 8.266 คำตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆ ที่ทำได้ในปัญหาขนาดกลาง (M3)

Algorithm	Minimum Objectives			
	f_1	f_2	f_3	f_4
MOEA/D	5,759,092	0.2921	46	0.4032
HBMO	5,776,387	0.2935	42	0.4024
MOEA/D-HBMO	5,762,822	0.2390	42	0.3840

จากผลการทดลองเมื่อเทียบจากกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงตัวอย่าง ดังตารางที่ 8.27 คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ R_{NDS1} และ R_{NDS2} ของ MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ HBMO และ MOEA/D ตามลำดับ การกระจายตัวของอัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 8.28

ตารางที่ 8.27 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดกลาง (M3)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
1	5,759,092	0.3207	54	0.4257
2	5,764,632	0.3386	47	0.4182
3	5,776,203	0.2952	52	0.4206
4	5,776,387	0.3323	53	0.4030
5	5,808,131	0.3447	44	0.4043
6	5,786,918	0.2852	67	0.3840
7	5,802,578	0.3084	48	0.4020
8	5,800,161	0.3142	48	0.4040
9	5,792,239	0.2875	43	0.4142
10	5,800,661	0.3096	47	0.4019

ตารางที่ 8.28 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดกลาง (M3)

Performance \ Algorithm	Convergence	Spread	RNDS1	RNDS2
MOEA/D	0.5424	0.6212	0.0909	0.0111
HBMO	0.4648	<u>0.5710</u>	0.2500	0.0111
MOEA/D-HBMO	<u>0.2563</u>	0.7418	<u>0.7083</u>	<u>0.1889</u>

8.4.7 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ (L)

ปัญหาขนาดใหญ่ (L) ประกอบไปด้วยนักบิน 123 คน ประกอบไปด้วย รูปแบบเที่ยวบินทั้งหมด 672 รูปแบบโดยเฉลี่ยต่อวันที่มีรูปแบบเที่ยวบินช่วงกลางวัน (เลิกงานก่อน 18.00น.) จำนวน 341 รูปแบบ และรูปแบบเที่ยวบินช่วงค่ำ (เลิกงานตั้งแต่ 18.00น. เป็นต้นไป) จำนวน 331 รูปแบบ สามารถดูคำตอบที่น้อยที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมต่างๆ ที่หาได้ในปัญหานี้ แสดงดังตารางที่ 8.29

ตารางที่ 8.29 ค่าตอบที่น้อยที่สุดอัลกอริทึมต่างๆที่หาได้ในปัญหาขนาดใหญ่ (L)

Algorithm	Minimum Objectives			
	f_1	f_2	f_3	f_4
MOEA/D	12,846,893	0.2166	28	0.3874
HBMO	12,850,350	0.2201	30	0.3955
MOEA/D-HBMO	12,844,210	0.2074	28	0.3870

จากผลการทดลองเมื่อเทียบจากกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงตัวอย่าง ดังตารางที่ 8.30 ทำการคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง และ อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ R_{NDS1} และ R_{NDS2} ของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะดีที่สุด ส่วนการกระจายตัวของอัลกอริทึม MOEA/D มีสมรรถนะดีที่สุด แสดงผลข้อมูลดัง ตารางที่ 8.31

ตารางที่ 8.30 กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงในปัญหาขนาดใหญ่ (L)

Solution	f_1	f_2	f_3	f_4
1	12,866,552	0.2405	34	0.4100
2	12,868,980	0.2440	33	0.4025
3	12,859,492	0.2238	38	0.3955
4	12,864,594	0.2201	34	0.4151
5	12,850,350	0.2422	30	0.4064
6	12,865,726	0.2417	40	0.3945
7	12,861,353	0.2347	34	0.4111
8	12,863,357	0.2322	38	0.4007
9	12,881,501	0.2455	34	0.3874
10	12,870,136	0.2269	30	0.3976

ตารางที่ 8.31 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาดใหญ่ (L)

Algorithm \ Performance	Convergence	Spread	RNDS1	RNDS2
MOEA/D	0.5081	<u>0.6498</u>	0.5000	0.0273
HBMO	0.5526	0.6917	0.2000	0.0182
MOEA/D-HBMO	<u>0.1477</u>	0.7804	<u>0.6364</u>	<u>0.4455</u>

8.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้นำอัลกอริทึม 3 ตัว ได้แก่ MOEA/D, HBMO และ MOEA/D-HBMO มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินที่ทำการศึกษาในส่วนของสายการบินราคาประหยัดของประเทศไทย จึงได้ใช้ในโจทย์ปัญหาตัวอย่าง 7 ปัญหา สรุปผลของแต่ละวัตถุประสงค์และค่าสมรรถนะได้ ดังตารางที่ 8.32 และ 8.33 ตามลำดับ

อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO สามารถหาค่าใช้จ่ายได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึม HBMO และ MOEA/D ในโจทย์ปัญหา S2, S3, M1, M2, และ L ส่วนผลของโจทย์ปัญหา S1 และ M3 ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากอัลกอริทึม HBMO และอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO ยังสามารถหาค่าภาระงานที่น้อยที่สุดได้ดีในทุกปัญหา สำหรับการหาค่าจำนวนรูปแบบเที่ยวบินของการทำงานระดับอาวุธที่น้อยที่สุด ได้แก่ อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO ในปัญหาเกือบทุกปัญหายกเว้นโจทย์ S1 ที่ได้จากอัลกอริทึม HBMO ส่วนการกระจายงานที่นับได้จากค่าซ้ำของจำนวนรูปแบบเที่ยวบินโดยเฉลี่ยนั้นได้น้อยที่สุดด้วยอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มี 4 โจทย์ปัญหา ได้แก่ S2, S3, M3 และ L อัลกอริทึม HBMO มี 2 โจทย์ปัญหา คือ S1 กับ M1 ส่วนอัลกอริทึม MOEA/D คือ โจทย์ S2 แสดงผลดังตารางที่ 8.32

ผลของสมรรถนะโดยรวมจะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง เหนือกว่าอัลกอริทึม HBMO และ MOEA/D ในทุกปัญหา ยกเว้นโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (S1) แต่ผลค่าด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบของ HBMO ที่เป็นค่าที่ดีที่สุดนั้นใกล้เคียงกับผลที่ได้จาก MOEA/D-HBMO ขณะที่ตัวชี้วัดด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบนั้น อัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดีกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ ในปัญหา S1, S2, M1 และ M2 ด้านตัวชี้วัดสมรรถนะอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเปรียบเทียบกับระหว่างจำนวนคำตอบของอัลกอริทึมที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริงเทียบกับจำนวนคำตอบที่ดีที่สุดของตัวเอง (RNDS1) และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เปรียบเทียบระหว่างจำนวนคำตอบของอัลกอริทึมที่ดีที่สุดที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริงเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (RNDS2) อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะเหนือกว่าอัลกอริทึม HBMO และ MOEA/D ทุกโจทย์ปัญหา เล็ก กลาง และใหญ่ แสดงผลดังตารางที่ 8.33

ตารางที่ 8.32 สรุปผลค่าวัตถุประสงคที่น้อยที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง

Problem	S1	S2	S3	M1	M2	M3	L
Cost							
Solution	634,755	1,016,929	1,844,398	4,125,492	4,137,822	5,759,092	12,844,210
MOEA/D	635,189	1,027,695	1,851,042	4,129,817	4,959,371	5,776,387	12,846,893
HBMO	634,755	1,025,448	1,847,373	4,134,462	4,956,488	5,759,092	12,850,350
MOEA/D-HBMO	635,674	1,016,929	1,844,398	4,125,492	4,137,822	5,762,822	12,844,210
Workload Balance							
Solution	0.5814	0.2252	0.2821	0.2235	0.2350	0.2390	0.2074
MOEA/D	0.6136	0.3783	0.3580	0.2871	0.2950	0.2935	0.2166
HBMO	0.5983	0.3380	0.3473	0.2899	0.2978	0.2921	0.2201
MOEA/D-HBMO	0.5814	0.2252	0.2821	0.2235	0.2350	0.2390	0.2074
Bidline							
Solution	11	21	15	18	21	42	28
MOEA/D	15	27	15	21	36	42	28
HBMO	11	26	15	18	34	46	30
MOEA/D-HBMO	16	21	15	18	21	42	28
Distribution of Flight Pattern							
Solution	0.4559	0.7980	0.6493	0.3894	0.3914	0.3840	0.3870
MOEA/D	0.4814	0.8459	0.6623	0.3939	0.3914	0.4024	0.3874
HBMO	0.4559	0.8339	0.6508	0.3894	0.3925	0.4032	0.3955
MOEA/D-HBMO	0.4728	0.7980	0.6493	0.3907	0.3929	0.3840	0.3870

ตารางที่ 8.33 สรุปผลค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง

Problem	S1	S2	S3	M1	M2	M3	L
Convergence							
MOEA/D	0.3437	1.5861	0.3022	0.8184	0.8868	0.5424	0.5081
HBMO	0.2930	1.3236	0.2858	0.6604	0.8395	0.4648	0.5526
MOEA/D-HBMO	0.3101	0.2933	0.2300	0.3460	0.4004	0.2563	0.1477
Spread							
MOEA/D	0.5847	0.8900	0.5706	0.6683	0.7066	0.6212	0.6498
HBMO	0.4164	0.8137	0.4331	0.5795	0.6850	0.5710	0.6917
MOEA/D-HBMO	0.7408	0.8551	0.8139	0.8404	0.9247	0.7418	0.7804
RNDS1							
MOEA/D	0.2163	0.0000	0.2353	0.0000	0.0714	0.0909	0.5000
HBMO	0.3739	0.0000	0.1364	0.0278	0.2113	0.2500	0.2000
MOEA/D-HBMO	0.3857	0.6579	0.4231	0.3483	0.8390	0.7083	0.6364
RNDS2							
MOEA/D	0.0385	0.0000	0.0417	0.0000	0.0072	0.0111	0.0273
HBMO	0.0923	0.0000	0.0313	0.0132	0.0290	0.0111	0.0182
MOEA/D-HBMO	0.0846	0.2273	0.1146	0.1447	0.2174	0.1889	0.4455

ตารางที่ 8.34 สรุปผลภาพรวมของตัวชี้วัดสมรรถนะของทุกอัลกอริทึม

Overall of Performance	Small			Medium			Large		
	MOEA/D	HBMO	MOEA/D-HBMO	MOEA/D	HBMO	MOEA/D-HBMO	MOEA/D	HBMO	MOEA/D-HBMO
Convergence			√			√			√
Spread		√			√		√		
RNDS1			√			√			√
RNDS2			√			√			√

จากการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปผลภาพรวมของงานวิจัยได้ ดังตารางที่ 8.34 ทำให้สรุปได้ว่าอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะในด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงเหนือกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ นอกจากนั้นยังมีอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบกับจำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้และอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริงมากกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าของจำนวนเพื่อนบ้านเท่ากับ 9 และร้อยละในการกำหนดจำนวน

การสุ่มจุดเพื่อนบ้านเท่ากับ 30 จึงนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจัดตารางด้วยพนักงานวางแผนหรือคนที่จัดด้วย 1 แผนที่ใช้ระยะเวลาค้นหาคำตอบเดียวเป็นเวลา 3 ถึง 5 วันโดยประมาณ การใช้โปรแกรมคำนวณจะได้ 1 คำตอบเพียงระยะเวลาไม่ถึงนาทีจากนั้นอัลกอริทึมจะใช้เวลาในการประเมินหาคำตอบที่มากว่าวัตถุประสงค์นี้ที่ค่านึงค่าที่น้อยที่สุดทุกวัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน การคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์มาเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบถึงวิธีการของการนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกผลการจัดตารางนี้ ผลที่ได้จากการจัดตารางด้วยคนเกิดในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ผลวัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายเท่ากับ 12,826,083 บาท ค่าความแตกต่างด้านภาระงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.1201 จำนวนการจัดงานระดับอาวุธโสเท่ากับ 7 และค่ารูปแบบเที่ยวบินซ้ำที่จัดสรรแต่ละคนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.4324 ส่วนผลที่ได้จากอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO ผลวัตถุประสงค์ชุดที่มีค่าน้อยที่สุดที่เลือกมาทดลองเปรียบเทียบนั้นมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 12,844,210 บาท ค่าความแตกต่างด้านภาระงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.2074 จำนวนการจัดงานระดับอาวุธโสเท่ากับ 28 และค่ารูปแบบเที่ยวบินซ้ำที่จัดสรรแต่ละคนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.3870 เมื่อเปรียบเทียบผลตัวอย่างทำให้ทราบว่า การจัดตารางด้วยพนักงานจะให้ผลที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ ภาระงานใกล้เคียง และการจัดงานระดับอาวุธโสได้ดีแต่นักบินทั้งหมดจะมีรูปแบบเที่ยวบินซ้ำโดยเฉลี่ยมากนั่นเอง ขั้นตอนตัวอย่างการกรอกผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรมไพธอนเข้าสู่ตารางของสายการบินกรณีศึกษาสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ง

บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย ลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมากวัตถุประสงค์ อัลกอริทึมที่นำมาใช้เปรียบเทียบกับงานวิจัย ผลการนำ MOEA/D-HBMO มาใช้ในการแก้ปัญหาและข้อเสนอแนะของงานวิจัยที่ได้จากงานวิจัยนี้ โดยเนื้อหามีดังต่อไปนี้

9.1 บทสรุปงานวิจัย

การแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินแบบมากวัตถุประสงค์เป็นการแก้ปัญหาโดยพิจารณาวัตถุประสงค์ทั้งหมดไปพร้อมๆกันนั้นจัดเป็นปัญหาแบบยาก (NP-Hard) การหาคำตอบที่ดีที่สุด จึงต้องอาศัยเมตาฮีริสติก (Metaheuristic) มาช่วยในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด งานวิจัยนี้จึงนำเสนอ วิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับวิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง (A Hybrid Multi-Objective Evolutionary and Honey Bee Mating Optimization : MOEA/D-HBMO)เปรียบเทียบกับวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก (Multi-objective Evolution Algorithm Based on Decomposition : MOEA/D) และ วิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง (Honey Bee Mating Optimization : HBMO) โดยมีวัตถุประสงค์ที่พิจารณา คือ ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (Cost) ภาระงานน้อยที่สุด (Workload Balance) การจัดตารางงานของระดับงานอาวุธใต้น้ำน้อยที่สุด (Bidline) และค่าการกระจายรูปแบบเที่ยวบินขั้นต่ำน้อยที่สุด (Distribution of Flight Pattern)

9.1.1 ลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินของสายการบินราคาประหยัดที่มีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ เวลาพักผ่อน จำนวนชั่วโมงบินสะสมรายสัปดาห์ จำนวนชั่วโมงบินสะสมรายเดือน กิจกรรมอื่นที่ไม่สามารถทำการบินได้ และความเป็นไปได้ระหว่างตำแหน่งงานของแต่ละคน ซึ่งนักวางแผนจำเป็นต้องจัดตารางให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดทุกประการในทุกปัญหา ส่วนจำนวนนักบินและจำนวนรูปแบบเที่ยวบินในแต่ละปัญหาที่ใช้ทดลองจะมีจำนวนแตกต่างกัน ซึ่งในทางปฏิบัติจริงนั้นในแต่ละเดือนจะมีจำนวนนักบินและจำนวนรูปแบบเที่ยวบินไม่เท่ากันเสมอไป ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของสายการบินเองอันเนื่องมาจากนักบินเกิดการเลื่อนระดับตำแหน่งงาน ลาออก หรือมีการวางแผนให้อบรมเหล่านี้ส่งผลให้จำนวนนักบินในแต่ละวันจะแตกต่างกัน

ออกไป ส่วนจำนวนรูปแบบเที่ยวบินจะมีมากขึ้นขึ้นอยู่กับแผนกจัดตารางรูปแบบเที่ยวบินได้วางแผนไว้เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า และความพร้อมเครื่องบินที่อาจมีแผนการซ่อมบำรุงหรือทดสอบเพื่อกิจกรรมอื่นๆ ที่จะทำให้อุปแบบเที่ยวบินในแต่ละวันไม่เท่ากัน

9.1.2 ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีจำนวนวัตถุประสงค์มาก

การแก้ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินที่มีจำนวนวัตถุประสงค์มากให้มีประสิทธิภาพดีไปพร้อมกันทุกๆ วัตถุประสงค์นั้นเป็นเรื่องยาก เนื่องจากวัตถุประสงค์แต่ละตัวนั้นมีความขัดแย้งระหว่างกันในการหาค่าน้อยที่สุดหรือค่าที่มากที่สุดของแต่ละวัตถุประสงค์ จึงเป็นการยากที่จะสรุปได้ว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Konak et al., 2006) ดังนั้น งานวิจัยนี้ นำวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) มาใช้ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งสิ่งสำคัญในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่มีมากวัตถุประสงค์ คือ การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ให้กับคำตอบ โดยการกำหนดค่าความแข็งแรงโดยจะใช้วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดที่มีการจัดอันดับคำตอบแบบพारेโต (Pareto Ranking Approach) ซึ่งคำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set หรือ Pareto Optimal Front) คือ กลุ่มคำตอบที่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีกว่ากันหรือคำตอบนั้นไม่ถูกครอบงำ (Non-dominated Solution) จากคำตอบอื่น (นพพล คำภิรมย์, 2551) ในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการหาค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์

9.1.3 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัย

อัลกอริทึมที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ วิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก (MOEA/D) วิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง (HBMO) และวิธีการแบบผสมระหว่างวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนกร่วมกับวิธีการผสมพันธุ์ผึ้ง (MOEA/D-HBMO) ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดอยู่ในบทที่ 4 บทที่ 5 และบทที่ 6 ตามลำดับ และใช้ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึม 4 ตัวชี้วัด ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพारेโต การกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเปรียบเทียบระหว่างจำนวนคำตอบของอัลกอริทึมที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริงเทียบกับจำนวนคำตอบที่ดีที่สุดของตัวเอง อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเปรียบเทียบระหว่างจำนวนคำตอบของอัลกอริทึมที่ดีที่สุดที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริงเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง

9.1.4 ผลการนำอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มาใช้ในการแก้ปัญหา

จากผลการทดลองการแก้ปัญหาตัวอย่างสำหรับการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินพบว่า อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะในด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงเหนือกว่าอัลกอริทึม HBMO และ MOEA/D ในทุกโจทย์ปัญหา ด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบนั้น อัลกอริทึม HBMO มีสมรรถนะดีกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กและกลาง สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ อัลกอริทึม MOEA/D มีสมรรถนะด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบดีกว่า HBMO ในด้านตัวชี้วัดสมรรถนะอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเปรียบเทียบกับระหว่างจำนวนคำตอบของอัลกอริทึมที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริงเทียบกับจำนวนคำตอบที่ดีที่สุดของตัวเอง (RNDS1) อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะเหนือกว่าในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กและกลาง สำหรับอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเปรียบเทียบกับระหว่างจำนวนคำตอบของอัลกอริทึมที่ดีที่สุดที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริงเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (RNDS2) อัลกอริทึม MOEA/D-HBMO มีสมรรถนะเหนือกว่าอัลกอริทึม HBMO และ MOEA/D ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก กลางและใหญ่

9.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินโดยการใช้อัลกอริทึมต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1. ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่หรือจำนวนนักบินและรูปแบบเที่ยวบินมากๆ การแบ่งจำนวนจุดของค่าถ่วงน้ำหนักของอัลกอริทึม MOEA/D-HBMO อาจแบ่งให้มีจำนวนมากกว่าเดิมเพื่อให้คำตอบที่ได้จากการพัฒนาคำตอบของอัลกอริทึมมีจำนวนคำตอบมากขึ้น
2. ปัญหาเรื่องการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินแบบมากวัตถุประสงค์สามารถเพิ่มจำนวนวัตถุประสงค์ได้มากกว่า 4 วัตถุประสงค์ ซึ่งจะทำให้การนำผลมาประยุกต์ใช้ในงานจริงที่มีทางเลือกหลากหลายตามเป้าหมายวัตถุประสงค์ของลักษณะงานของสายการบินที่ต้องการ
3. การจัดตารางปฏิบัติงานนักบินสามารถนำไปเป็นแนวทางในการจัดตารางอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายการบินได้ เช่น ตารางปฏิบัติงานพนักงานภาคพื้นดิน ตารางปฏิบัติงานลูกเรือ ตารางการจัดซ่อมบำรุงเครื่องบิน และตารางรูปแบบเที่ยวบิน เป็นต้น

รายการอ้างอิง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. Qi, X., Yang, J., and Yu, G. (2003) Scheduling Problems in the Airline Industry. In Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis, Joseph Y-T. Leung (Ed.), Chapman & Hall/CRC, Boca Ratan, FL, 50:1-50:21
2. Allung Blegur, F.M., Bakhtiar, T., and Aman, A. (2014) Scenarios for Fleet Assignment: A Case Study at Lion Air. IOSR Journal of Mathematics, Vol. 10, Issue 5 Ver. I, pp. 64-68
3. Cadarso, L. and Marin, A. (2011) Integrated Airline Robust Scheduling and Fleet Assignment under Demand Uncertainty. Ministerio de Economía y Competitividad, pp. 1-5.
4. Shangyao Yan and Jei-Chi Chang, (2002) Airline cockpit crew scheduling. European Journal of Operation Research, Vol. 136, pp. 501-511.
5. M. Reisi-Nafchi and Gh. Moslehi, (2013) Cockpit crew pairing problem in airline scheduling: Shortest path with resource constraints approach. International Journal of Industrial Engineering & Production Research, Vol.24, No.4, pp. 259-268.
6. Karla L. Hoffman and Manfred Padberg, (1993) Solving Airline Crew Scheduling Problems by Branch-and-Cut. The Institute of Management Sciences, Vol. 39, No. 6 pp. 657-682.
7. Kohl, N. and Karisch, S. E. (2004) Airline Crew Rostering: Problem Types, Modeling, and Optimization. Annals of Operations Research, Vol. 127, pp. 223-257.
8. Barnhart, C. and Cohn, A. (2004) Airline Schedule Planning: Accomplishments and Opportunities. Manufacturing & Service Operations Management, Vol. 6, No. 1, pp. 3-22.
9. Dück, V. et al., (2012) Increasing stability of crew and aircraft schedules. Transportation Research Part C, Vol. 20, pp. 47-61.
10. Liu, T. et al., (2010) Multiobjective Optimization Genetic Algorithm for Domestic Airline Crew Paring Problem. International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, pp. 139-143.
11. Lucic, P. and Teodorovic, D. (1999) Simulated annealing for the multi-objective aircrew rostering problem. Transportation Research Part A, pp. 19-45.

12. AhmadBeygi, S. , Cohn, A. , and Lapp, M. (2008) Decreasing Airline Delay Propagation By Re-Allocating Scheduled Slack. Alfred P. Sloan Foundation, pp. 1-20.
13. Beasley, J.E. et al. (2000) Scheduling Aircraft Landings- The Static Case. Transportation Science, Vol. 34, No. 2, pp. 180-197.
14. Habel, R. (2013) Pilot Training Optimization for Airlines. Eotvos Lorand University.
15. Baghel, M., Agrawal, S., and Silakari, S. (2012) Survey of Metaheuristic Algorithms for Combinatorial Optimization. International Journal of Computer Applications, Vol. 58, No. 19, pp. 21-31.
16. Iori, M. (2005) Metaheuristic algorithms for combinatorial optimization problems. A Quarterly Journal of Operations Research, No. 3, pp. 163–166.
17. Blum, C. and ROLI, A. (2003) Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. ACM Computing Surveys, Vol. 35, No. 3, pp. 268–308.
18. Yagiura, M. and Ibaraki, T. (2004) Recent Metaheuristic Algorithms for the Generalized Assignment Problem. International Conference on Informatics Research for Development of Knowledge Society Infrastructure, No. 12.
19. Jarraya, B. and Bouri, A. (2012) Metaheuristic Optimization Backgrounds: A Literature Review. International Journal of Contemporary Business Studies, Vol. 3, No. 12, pp. 31-44.
20. Gognaa, A. and Tayal, A. (2013) Metaheuristics: review and application. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Vol. 25, No. 4, pp. 503–526.
21. Yan, S., Tung, T-T, and Tu, Y.-P. (2002) Optimal construction of airline individual crew pairings. Computers & Operations Research 29, pp.341-363.
22. Nafchi, M. R. and Moslehi, Gh. (2013) Cockpit Crew Pairing Problem in Airline Scheduling: Shortest Path with Resources Constraints Approach. International Journal off Industrial Engineering & Production Research, Vol. 24, No. 4, pp. 259-268.
23. Lucic, P. and Teodorovic, D. (1999) Simulated annealing for the multi-objective aircrew rostering problem. Transportation Research Part A 33 pp. 19-45.

24. Hadianti, R. et al. (2013) Optimization Model for an Airline Crew Rostering Problem: Case of Garuda Indonesia. *J. Math. Fund. Sci.*, Vol. 45, No. 3, pp. 218-234.
25. Hisao, I., Noritaka, T., & Yusuke, N. (2008). Evolutionary many-objective optimization: A short review. 2419-2426.
26. He, Z., & Yen, G. G. (2016). Many-Objective Evolutionary Algorithm: Objective Space Reduction and Diversity Improvement. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 20(1), 145-160.
27. Panichella, A., Kifetew, F. M., & Tonella, P. (2015). Reformulating Branch Coverage as a Many-Objective Optimization Problem. 1-10.
28. Li, B., Li, J., Tang, K., & Yao, X. (2015). Many-Objective Evolutionary Algorithms. *ACM Computing Surveys*, 48(1), 1-35.
29. Zhang, Q., & Li, H. (2007). MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11(6), 712-731.
30. Chakaravarthy, T. and Kalyani, K. (2015) A Brief Survey of Honey Bee Mating Optimization Algorithm to Efficient Data Clustering. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 8, No.24, pp. 1-7.
31. Haddad, O. B., Afshar, A., and Marino, M. A. (2006) Honey-Bees Mating Optimization (HBMO) Algorithm: A New Heuristic Approach for Water Resources Optimization. *Water Resources Management*, Vol.20 pp. 661-680.
32. Tavakoli, H. B. and Mozafari, B. (2012) Short-term Hydrothermal Scheduling via Honey-bee Mating Optimization Algorithm. *Power and Energy Engineering Conference*, pp. 1-5.
33. Abbass, H. A. (2001) MBO: Marriage in Honey Bees Optimization A Haplometrosis Polygynous Swarming Approach. *Evolutionary Computation*, Vol. 1, pp. 207-214.
34. Marinakis, Y., Marinaki, M., and Dounias, G. (2011) Honey bees mating optimization algorithm for the Euclidean traveling salesman problem. *Information Sciences* Vol. 181, pp. 4684-4698.

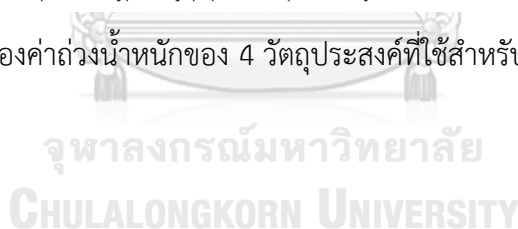
35. Palominos, P. et al. (2012) Marriage in Honey Bees Optimization Algorithm for Flow-shop Problems. *Informatica Economica*, Vol. 16, No. 2, pp. 27-34.
36. Zhang, Q., & Li, H. (2007). MOEA/D/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11(6), 712-731. doi: 10.1109/TEVC.2007.892759
37. Davis, L. (1985). Job Shop Scheduling with Genetic Algorithms. Paper presented at the Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms.
38. Poolsamran, P., & Thammano, A. (2011). A Modified Marriage in Honey-Bee Optimization for Function Optimization Problems. *Procedia Computer Science*, 6, 335-342.
39. Lin, S. (1965). Computer Solutions of the Traveling Salesman Problem. *Bell System Technical Journal*, 44(10), 2245-2269.



ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

```
dict_lambda_NBHset={1:[0.71429,0,0.28571,0],2:[0.28571,0,0.57143,0.14286],3:[0.57143,0,0.42857,0],\
4:[0.14286,0.14286,0.14286,0.57143],5:[0.57143,0.14286,0,0.28571],6:[0.42857,0.14286,0.28571,0.14286],\
7:[0.14286,0.42857,0,0.42857],8:[0.42857,0.14286,0.14286,0.28571],9:[0.85714,0,0.14286,0],\
10:[0,0.57143,0.14286,0.28571],11:[0.57143,0.14286,0.14286,0.14286],12:[0.28571,0.42857,0.14286,0.14286],\
13:[0,0.28571,0.71429,0],14:[0.28571,0.14286,0.14286,0.42857],15:[0,0.14286,0,0.85714],\
16:[0.42857,0,0.42857,0.14286],17:[0.57143,0.14286,0.28571,0],18:[0.14286,0.28571,0.14286,0.42857],\
19:[0.28571,0,0.42857,0.28571],20:[0.28571,0,0,0.71429],21:[0,0,0,1],22:[0,1,0,0],23:[0,0.57143,0.28571,0.14286],\
24:[0.28571,0.14286,0.42857,0.14286],25:[0.14286,0.14286,0.42857,0.28571],26:[0.14286,0,0.57143,0.28571],\
27:[0.57143,0,0.14286,0.28571],28:[0.14286,0,0.14286,0.71429],29:[0.28571,0,0.28571,0.42857],\
30:[0.28571,0,0.14286,0.57143],31:[0,0,0,0.85714,0.14286],32:[0,0.28571,0.28571,0.42857],33:[0,0,0.71429,0.28571],\
34:[0.14286,0,0.71429,0.14286],35:[0,0.14286,0.42857,0.42857],36:[0,0,0.14286,0.85714],37:[0.14286,0,0.85714,0],\
38:[0.71429,0,0.14286,0.14286],39:[0.14286,0.28571,0,0.57143],40:[0.14286,0,0.28571,0.57143],\
41:[0.28571,0.28571,0,0.42857],42:[0.14286,0.71429,0.14286,0],43:[0.57143,0,0.28571,0.14286],\
44:[0.28571,0.57143,0,0.14286],45:[0.14286,0,0.42857,0.42857],46:[0,0.57143,0,0.42857],\
47:[0.42857,0.28571,0,0.28571],48:[0.14286,0.14286,0.71429,0],49:[0,0.57143,0.42857,0],\
50:[0.42857,0.14286,0,0.42857],51:[0,0.85714,0.14286,0],52:[0.14286,0.42857,0.28571,0.14286],\
53:[0.14286,0.28571,0.28571,0.28571],54:[1,0,0,0],55:[0,0.42857,0.14286,0.42857],\
56:[0.28571,0.28571,0.14286,0.28571],57:[0,0.28571,0,0.71429],58:[0.42857,0.14286,0.42857,0],\
59:[0,0.85714,0,0.14286],60:[0.14286,0.57143,0,0.28571],61:[0.71429,0.14286,0,0.14286],\
62:[0.28571,0,0.71429,0],63:[0,0.42857,0.57143,0],64:[0.14286,0.14286,0.57143,0.14286],\
65:[0,0.71429,0,0.28571],66:[0.57143,0.42857,0,0],67:[0.14286,0.85714,0,0],68:[0,0.14286,0.57143,0.28571],\
69:[0.28571,0.42857,0,0.28571],70:[0.28571,0.28571,0.28571,0.14286],71:[0.28571,0.71429,0,0],\
72:[0.14286,0.28571,0.42857,0.14286],73:[0.14286,0.57143,0.14286,0.14286],74:[0.14286,0.57143,0.28571,0],\
75:[0.28571,0.28571,0.42857,0],76:[0.14286,0.42857,0.42857,0],77:[0,0.42857,0.42857,0.14286],\
78:[0.42857,0,0.57143,0],79:[0.14286,0.14286,0,0.71429],80:[0,0,0.57143,0.42857],\
81:[0.28571,0.57143,0.14286,0],82:[0.28571,0.14286,0,0.57143],83:[0.71429,0,0,0.28571],\
84:[0.42857,0,0.28571,0.28571],85:[0.42857,0.28571,0.28571,0],86:[0.14286,0.14286,0.28571,0.42857],\
87:[0,0,1,0],88:[0.57143,0.28571,0.14286,0],89:[0,0.14286,0.28571,0.57143],90:[0.42857,0,0,0.57143],\
91:[0.85714,0,0,0.14286],92:[0.14286,0,0,0.85714],93:[0.42857,0.42857,0,0.14286],94:[0,0.71429,0.28571,0],\
95:[0,0.42857,0,0.57143],96:[0.28571,0.42857,0.28571,0],97:[0.57143,0,0,0.42857],\
98:[0.14286,0.28571,0.57143,0],99:[0.42857,0.28571,0.14286,0.14286],100:[0,0.28571,0.57143,0.14286],\
101:[0.28571,0.14286,0.57143,0],102:[0.42857,0,0.14286,0.42857],103:[0,0.28571,0.42857,0.28571],\
104:[0,0.14286,0.71429,0.14286],105:[0.71429,0.28571,0,0],106:[0,0.28571,0.14286,0.57143],\
107:[0.85714,0.14286,0,0],108:[0.14286,0.42857,0.14286,0.28571],109:[0,0.14286,0.14286,0.71429],\
110:[0,0.14286,0.85714,0],111:[0,0.71429,0.14286,0.14286],112:[0.42857,0.57143,0,0],\
113:[0.42857,0.42857,0.14286,0],114:[0.71429,0.14286,0.14286,0],115:[0.57143,0.28571,0,0.14286],\
116:[0,0,0.42857,0.57143],117:[0,0.42857,0.28571,0.28571],118:[0.14286,0.71429,0,0.14286],\
119:[0.28571,0.14286,0.28571,0.28571],120:[0,0,0.28571,0.71429]}
```

รูปที่ ก1 ข้อมูลจุดของค่าถ่วงน้ำหนักของ 4 วัตถุประสงค์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย (Point of Weight)



```

index_lambda={1:[1,3,9,11,17,27,38,43,107,114],2:[2,16,19,24,26,34,62,64,78,101],3:[3,1,6,11,16,17,43,58,78,84],\
4:[4,14,18,30,39,40,82,86,89,106],5:[5,8,11,27,47,50,61,83,97,115],6:[6,8,11,17,24,43,58,85,99,119],\
7:[7,18,39,41,46,55,60,69,95,108],8:[8,6,5,11,14,47,50,56,84,102],9:[9,1,38,43,54,61,83,91,107,114],\
10:[10,23,46,55,60,65,73,108,111,117],11:[11,6,8,5,17,27,43,88,99,115],12:[12,44,52,56,69,70,73,81,93,96],\
13:[13,48,63,64,68,98,100,101,104,110],14:[14,8,4,18,29,30,41,50,56,82],15:[15,21,28,36,39,57,79,92,106,109],\
16:[16,3,6,2,19,24,43,58,78,84],17:[17,3,6,11,1,43,58,85,88,114],18:[18,7,14,4,32,39,53,55,56,106],\
19:[19,16,2,24,25,26,29,45,84,119],20:[20,15,4,28,30,39,79,82,90,92],21:[21,20,15,28,36,57,79,92,109,120],\
22:[22,42,51,59,65,67,71,94,111,118],23:[23,10,49,52,73,74,77,94,111,117],24:[24,16,19,6,25,58,64,70,72,75],\
25:[25,24,19,26,35,53,64,68,86,103],26:[26,19,25,2,33,34,45,64,68,80],27:[27,8,11,5,38,43,83,84,97,102],\
28:[28,20,4,30,36,40,79,92,109,120],29:[29,19,14,30,40,45,84,86,102,119],30:[30,14,20,28,29,4,40,82,90,102],\
31:[31,26,33,34,37,48,68,87,104,110],32:[32,18,35,53,55,86,89,103,106,117],33:[33,31,26,34,37,64,68,80,104,110],\
34:[34,26,31,33,2,37,48,62,64,104],35:[35,32,25,45,68,80,86,89,103,116],36:[36,21,28,15,40,79,89,92,109,120],\
37:[37,33,34,31,48,62,87,101,104,110],38:[38,9,11,27,1,43,61,83,91,114],39:[39,7,18,4,41,57,79,82,95,106],\
40:[40,28,29,30,4,45,86,89,116,120],41:[41,14,18,39,7,47,50,56,69,82],42:[42,51,67,71,73,74,81,94,111,118],\
43:[43,3,6,11,16,17,27,38,1,84],44:[44,12,60,69,71,73,81,93,112,118],45:[45,25,26,29,35,40,19,80,86,116],\
46:[46,10,7,55,60,65,69,73,95,108],47:[47,8,41,5,50,56,69,93,99,115],48:[48,34,37,13,62,64,98,101,104,110],\
49:[49,23,52,63,73,74,76,77,94,96],50:[50,8,14,41,47,5,82,90,97,102],51:[51,23,42,22,59,67,74,94,111,118],\
52:[52,23,12,53,70,74,76,96,108,117],53:[53,25,52,18,56,70,72,86,108,119],54:[54,9,38,1,61,83,91,105,107,114],\
55:[55,10,18,32,46,7,95,106,108,117],56:[56,12,14,18,53,8,70,99,108,119],57:[57,15,36,39,4,79,92,95,106,109],\
58:[58,6,16,17,24,3,75,78,85,101],59:[59,42,51,22,60,65,67,71,111,118],60:[60,10,44,46,7,65,69,73,108,118],\
61:[61,11,38,5,83,91,105,107,114,115],62:[62,26,34,37,48,2,64,78,98,101],63:[63,49,13,64,72,75,76,77,98,100],\
64:[64,24,25,26,2,68,72,98,100,101],65:[65,46,51,59,60,10,67,73,111,118],66:[66,61,85,88,93,99,105,112,113,115],\
67:[67,42,51,59,65,22,71,94,111,118],68:[68,26,33,35,64,25,80,100,103,104],69:[69,12,41,44,47,56,60,7,93,108],\
70:[70,12,24,52,53,56,6,72,99,119],71:[71,44,60,67,42,73,74,81,112,118],72:[72,53,64,70,52,75,76,77,98,100],\
73:[73,12,23,44,52,60,10,74,81,108],74:[74,42,49,52,73,23,76,81,94,96],75:[75,58,70,72,24,76,85,96,98,101],\
76:[76,52,63,72,74,75,49,77,96,98],77:[77,49,52,63,72,76,23,100,103,117],78:[78,3,16,19,24,48,58,62,2,101],\
79:[79,15,20,28,39,57,4,82,92,109],80:[80,26,33,34,35,45,64,68,25,116],81:[81,42,44,71,73,74,6,102,96,112,113],\
82:[82,14,20,30,39,41,50,79,4,90],83:[83,9,11,27,38,61,5,91,97,107],84:[84,8,16,19,27,29,43,6,12,99,119],\
85:[85,17,58,70,75,6,88,96,99,113],86:[86,14,18,25,29,32,35,45,53,4],87:[87,31,33,34,37,48,62,13,104,110],\
88:[88,17,66,85,11,99,105,113,114,115],89:[89,32,35,40,86,4,106,109,116,120],90:[90,20,30,41,50,79,82,14,97,102],\
91:[91,27,38,54,61,83,9,105,107,114],92:[92,20,21,28,30,36,79,82,15,109],93:[93,44,47,66,69,12,99,112,113,115],\
94:[94,23,42,49,51,67,73,74,10,111],95:[95,18,32,39,41,46,55,57,7,106],96:[96,52,70,74,75,76,81,85,12,113],\
97:[97,8,27,38,50,61,83,90,5,102],98:[98,48,63,64,72,75,76,13,100,101],99:[99,11,12,47,56,88,93,8,113,115],\
100:[100,63,64,68,72,77,98,13,103,104],101:[101,24,48,58,62,64,75,78,98,2],102:[102,14,27,29,30,50,84,90,97,8],\
103:[103,32,35,53,68,72,77,100,25,117],104:[104,31,33,34,48,64,68,100,13,110],105:[105,11,17,61,66,88,5,107,114,115],\
106:[106,18,32,39,55,57,89,95,4,109],107:[107,9,38,54,61,83,91,105,1,114],108:[108,12,18,52,53,55,56,60,10,117],\
109:[109,15,28,36,57,79,89,106,4,120],110:[110,31,33,34,37,48,87,98,104,13],111:[111,23,42,51,59,65,73,94,10,118],\
112:[112,42,44,66,71,73,81,93,12,113],113:[113,66,81,85,88,93,96,99,112,12],114:[114,9,11,17,38,61,88,105,107,1],\
115:[115,11,47,61,66,88,93,99,105,5],116:[116,35,40,45,80,86,89,109,32,120],117:[117,23,32,52,53,55,77,103,108,10],\
118:[118,44,59,60,65,67,71,73,111,42],119:[119,8,14,24,25,53,56,70,86,6],120:[120,28,30,36,40,89,92,109,116,4]}

```

รูปที่ ก2 ข้อมูลค่าจุดเพื่อนบ้าน 9 ตัวที่ใช้สำหรับงานวิจัย (Neighborhood Point)



```

index_lambda={1:[1,9,38,114,3],2:[2,26,19,64,34],3:[3,16,78,58,43],4:[4,14,86,30,18],5:[5,115,47,11,61],\
6:[6,8,99,11,84],7:[7,41,69,18,108],8:[8,99,6,56,47],9:[9,1,38,114,91],10:[10,23,73,117,111],\
11:[11,99,8,6,115],12:[12,108,52,56,70],13:[13,110,104,48,100],14:[14,86,18,119,56],\
15:[15,57,79,109,92],16:[16,84,19,6,24],17:[17,88,11,85,114],18:[18,14,86,56,53],\
19:[19,25,45,24,26],20:[20,92,28,79,30],21:[21,92,36,15,28],22:[22,59,67,51,118],\
23:[23,10,73,111,117],24:[24,72,25,70,75],25:[25,24,72,119,64],26:[26,2,64,19,34],\
27:[27,43,84,11,38],28:[28,30,40,20,92],29:[29,30,40,14,86],30:[30,40,29,4,28],\
31:[31,33,34,104,37],32:[32,35,86,89,18],33:[33,31,104,34,68],34:[34,33,31,26,37],\
35:[35,103,32,68,80],36:[36,120,109,28,15],37:[37,62,34,48,31],38:[38,43,2,27,9],\
39:[39,82,41,4,79],40:[40,30,4,28,29],41:[41,14,82,18,39],42:[42,81,74,71,67],\
43:[43,27,11,84,38],44:[44,60,69,73,118],45:[45,29,19,86,25],46:[46,55,7,95,10],\
47:[47,93,50,99,8],48:[48,101,98,62,13],49:[49,63,76,77,74],50:[50,47,41,8,14],\
51:[51,94,42,111,67],52:[52,108,12,73,117],53:[53,70,56,119,52],54:[54,107,9,91,114],\
55:[55,117,32,108,18],56:[56,53,119,70,108],57:[57,15,79,109,39],58:[58,85,75,6,24],\
59:[59,65,118,111,67],60:[60,44,118,73,69],61:[61,115,5,105,83],62:[62,37,48,34,78],63:[63,98,13,100,76],\
64:[64,98,100,72,101],65:[65,59,111,118,10],66:[66,112,93,113,115],67:[67,71,118,42,59],68:[68,100,103,\
64,104],69:[69,108,12,7,60],70:[70,56,53,119,12],71:[71,67,42,118,81],72:[72,24,25,70,53],\
73:[73,52,12,108,74],74:[74,81,73,42,96],75:[75,76,72,98,24],76:[76,75,96,72,98],\
77:[77,103,117,76,72],78:[78,101,58,2,16],79:[79,82,39,20,57],80:[80,116,45,35,26],\
81:[81,74,96,73,42],82:[82,39,41,4,79],83:[83,91,61,38,97],84:[84,27,43,102,8],\
85:[85,6,99,17,58],86:[86,14,18,119,53],87:[87,31,37,110,34],88:[88,17,85,11,114],\
89:[89,106,32,4,109],90:[90,30,82,20,102],91:[91,83,38,61,9],92:[92,20,28,79,36],\
93:[93,47,69,99,12],94:[94,51,42,111,74],95:[95,46,55,7,106],96:[96,52,12,74,81],97:[97,5,50,27,102],\
98:[98,101,75,64,48],99:[99,6,8,70,85],100:[100,68,64,103,104],101:[101,98,64,48,75],\
102:[102,84,29,8,14],103:[103,25,35,72,68],104:[104,68,100,33,13],105:[105,107,114,61,88],\
106:[106,89,4,32,109],107:[107,105,61,114,91],108:[108,12,52,56,69],109:[109,106,89,57,120],\
110:[110,13,104,48,31],111:[111,10,23,51,59],112:[112,44,71,81,93],113:[113,96,85,112,81],\
114:[114,88,17,105,107],115:[115,5,11,61,47],116:[116,45,40,89,35],\
117:[117,55,77,108,52],118:[118,60,65,44,59],119:[119,56,53,70,14],120:[120,36,28,109,40]}

```

รูปที่ ก3 ข้อมูลค่าจุดเพื่อนบ้าน 4 ตัวที่ใช้สำหรับงานวิจัย (Neighborhood Point)

```
prob for each string [1.0, 1.0, 0.32919298780790557, 1.0, 0.32919298780790557, 1.0  
, 0.10836802322189587, 0.32919298780790557, 1.0, 1.0]  
Prob. for each drone in list = [0, 0, 0.32919298780790557, 0, 0.32919298780790557,  
0, 0.10836802322189587, 0.32919298780790557, 0, 0]  
Summary Prob.= 1.0959469866456126  
Prob. for each drone in list for roulette selection test = [0.0, 0.0, 0.3003730945  
193556, 0.0, 0.3003730945193556, 0.0, 0.09888071644193311, 0.3003730945193556, 0.0  
, 0.0]
```

รูปที่ ก4 ตัวอย่างการคำนวณค่าความน่าจะเป็นจากสูตรการรอบอ่อน



ภาคผนวก ข รหัสเทียมของอัลกอริทึม

```

Define population and neighbourhood size
Define set of weight vector of subproblem
Define set of neighbourhood of each subproblem
Generate the initial population for MOEA/D by random production of solution in
range of the problem
Define maximum number of iteration
for current iteration is less than maximum number of iteration
  for i= 1 to population number there are run points
    Randomly two strings within neighbourhood
    Single point crossover
    Tchebycheff calculate for offsprings and initial string
    if Tchebycheff of the best offspring is less than the initial string
      Replace best offspring into lambda of initial
      for percent of number neighbourhood size
        Random number in proportion and select neighbourhood
        Calculate Tchebycheff of the best offspring and neighbourhood at lambda of
        neighbourhood selected
        if Tchebycheff of the best offspring is less than the neighbourhood string
          Replace best offspring into lambda of neighbourhood
        end if
      end for
    end for
  end if
end for

```

รูปที่ ข1 รหัสเทียมของอัลกอริทึม MOEA/D (Pseudo-code)

```

Generate the initial population for honey bees hive by random production of solution
in range of the problem
Evaluate fitness of population
Define Spermatheca size (M), Energy (E (t)), and Speed (S (t))
Initialize speed  $S = 0.9 * S$ 
Initialize energy  $E (t+1) = E (t) - \gamma$  reduction step  $\gamma$  to  $1 - (0.5 * E (t)) / M$ 
Define maximum number of iteration
for current iteration is less than maximum number of iteration
    Selection of queen with fittest list
    while spermatheca is not full and energy is more than 0.5
        Select a drone
        if drone passes the probability condition then
            Add sperm in to spermatheca
        end if
        speed  $S = 0.9 * S$ 
        reduction step  $\gamma$  to  $1 - (0.5 * E(t)) / M$ 
        energy  $E (t+1) = E (t) - \gamma$ 
    end while
    Generate broods by crossover and mutation between queen and drone
    Use worker to improve broods by 2-OPT
    Update worker's fitness
    while the best brood's fitness is better than worst queen's fitness then
        Replace the brood to the queen
        Remove the best brood from the brood list
    end while
end for

```

รูปที่ ข2 รหัสเทียมของอัลกอริทึม HBMO (Pseudo-code)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

```

Define population and neighbourhood size
Define set of weight vector of subproblem
Define set of neighbourhood of each subproblem
Generate the initial population for MOEA/D-HBMO by random production of
solution in range of the problem
Define maximum number of iteration
Define probability of local search
for current iteration is less than maximum number of iteration
  for i= 1 to population number there are run points
    Evaluate fitness of neighborhood
    Selection of queen with fittest list
    Select two strings of drone within neighbourhood by probability of annealing
    function
    Generate two offsprings by conventional between queen and first selected drone
    Generate offspring by unconventional between queen and second selected drone
    Tchebycheff calculate for offsprings and initial string
    if Tchebycheff of the best offspring is less than the initial string
      Good string 1 is best offspring
    end if
    Perform mutation for good string 1
    Tchebycheff calculate for mutation string
    if Tchebycheff of the mutation string is less than the good string 1
      Good string 2 is mutation string
    end if
    if random is less than probability of local search
      Perform local search for good string 2
      Tchebycheff calculate for local search string
      if Tchebycheff of the local search string is less than the good string 2
        Good string 3 is local search string
      end if
    end if
    if good string 1 or good string 2 or good string 3 is not initial string
      Replace good offspring 3 into lambda of initial
      for percent of number neighbourhood size
        Random number in proportion and select neighbourhood
        Calculate Tchebycheff of the best offspring and neighbourhood at lambda
        of neighbourhood selected
        if Tchebycheff of the best offspring is less than the neighbourhood string
          Replace best offspring into lambda of neighbourhood
        end if
      end for
    end for
  end if
end for

```

ภาคผนวก ค ข้อมูลโจทก์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ปัญหาการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินที่นำมาใช้ในการทดลองทั้งขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ประกอบด้วยข้อมูลนักบินและรูปแบบเที่ยวบิน รายละเอียดแต่ละโจทก์ ดังนี้

ตารางที่ ค1 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทก์ปัญหาขนาดเล็ก (S1)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCIP	2
FCJ	2
FCS	2
FCT	1
FOJ	2
FOS	2
FOT	1
Total	12
Captain : Co-pilot	7 : 5

ตารางที่ ค2 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทก์ปัญหาขนาดเล็ก (S2)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCIP	3
FCJ	2
FCS	2
FCT	1
FOJ	3
FOS	3
FOT	1
Total	15
Captain : Co-pilot	8 : 7

ตารางที่ ค3 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทก์ปัญหาขนาดเล็ก (S3)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCIP	3
FCJ	2

ตารางที่ ค3 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทช์ปัญหาขนาดเล็ก (S3) (ต่อ)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCS	4
FCT	1
FOJ	4
FOS	5
FOT	1
Total	20
Captain : Co-pilot	10 : 10

ตารางที่ ค4 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทช์ปัญหากลาง (M1)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCIP	4
FCJ	7
FCS	14
FCT	2
FOJ	4
FOS	13
FOT	1
Total	45
Captain : Co-pilot	27 : 18

ตารางที่ ค5 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทช์ปัญหากลาง (M2)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCIP	5
FCJ	8
FCS	19
FCT	3
FOJ	5
FOS	16
FOT	2
Total	58
Captain : Co-pilot	35 : 23

ตารางที่ ค6 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทช์ปัญหาขนาดกลาง (M3)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCIP	6
FCJ	9
FCS	21
FCT	3
FOJ	6
FOS	18
FOT	2
Total	65
Captain : Co-pilot	39 : 26

ตารางที่ ค7 จำนวนนักบินแต่ละตำแหน่งของโจทช์ปัญหาขนาดใหญ่ (L)

Position Code	Number of Cockpit Crew
FCIP	10
FCJ	18
FCS	45
FCT	0
FOJ	10
FOS	40
FOT	0
Total	123
Captain : Co-pilot	73 : 50

ตารางที่ ค8 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทช์ปัญหาขนาดเล็ก (S1)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O19	3:00:00 PM	11:15:00 PM	8.25	4.83	1553
O2	8:15:00 AM	4:00:00 PM	7.75	4.58	1418
O20	12:40:00 PM	7:50:00 PM	7.17	4.00	1039
O23	12:35:00 PM	9:50:00 PM	9.25	4.50	1354
O41	5:00:00 PM	11:30:00 PM	6.50	4.25	1147
O45	4:40:00 AM	9:45:00 AM	5.08	2.67	854

ตารางที่ ค9 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทก์ปัญหาขนาดเล็ก (S2)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O19	3:00:00 PM	11:15:00 PM	8.25	4.83	1553
O2	8:15:00 AM	4:00:00 PM	7.75	4.58	1418
O20	12:40:00 PM	7:50:00 PM	7.17	4.00	1039
O23	12:35:00 PM	9:50:00 PM	9.25	4.50	1354
O41	5:00:00 PM	11:30:00 PM	6.50	4.25	1147
O45	4:40:00 AM	9:45:00 AM	5.08	2.67	854

ตารางที่ ค10 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทก์ปัญหาขนาดเล็ก (S3)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O10	5:00:00 AM	12:40:00 PM	7.67	4.67	1437
O12	6:25:00 AM	2:40:00 PM	8.25	4.50	1446
O13	7:05:00 AM	3:10:00 PM	8.08	5.17	1512
O17	12:10:00 PM	8:10:00 PM	8.00	5.00	1540
O22	12:20:00 PM	9:50:00 PM	9.50	4.92	1503
O27	2:30:00 PM	9:40:00 PM	7.17	4.42	1250
O5	5:00:00 AM	2:00:00 PM	9.00	5.50	1718

ตารางที่ ค11 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทก์ปัญหาขนาดกลาง (M1)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O12	6:25:00 AM	2:40:00 PM	8.25	4.50	1446
O13	7:05:00 AM	3:10:00 PM	8.08	5.17	1512
O15	2:25:00 PM	10:35:00 PM	8.17	5.17	1547
O16	12:10:00 PM	8:05:00 PM	7.92	4.92	1470
O18	1:00:00 PM	8:30:00 PM	7.50	4.42	1341
O2	8:15:00 AM	4:00:00 PM	7.75	4.58	1418
O20	12:40:00 PM	7:50:00 PM	7.17	4.00	1039
O25	4:25:00 PM	12:45:00 AM	8.33	4.75	1446

ตารางที่ ค11 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M1) (ต่อ)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O3	5:30:00 AM	1:10:00 PM	7.67	4.50	1295
O33	4:40:00 AM	1:20:00 PM	8.67	4.92	1413
O4	5:10:00 AM	1:10:00 PM	8.00	5.00	1509
O5	5:00:00 AM	2:00:00 PM	9.00	5.50	1718
O7	6:30:00 AM	2:55:00 PM	8.42	4.33	1270
O8	6:20:00 AM	1:40:00 PM	7.33	5.33	1748

ตารางที่ ค12 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M2)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O10	5:00:00 AM	12:40:00 PM	7.67	4.67	1437
O12	6:25:00 AM	2:40:00 PM	8.25	4.50	1446
O16	12:10:00 PM	8:05:00 PM	7.92	4.92	1470
O17	12:10:00 PM	8:10:00 PM	8.00	5.00	1540
O18	1:00:00 PM	8:30:00 PM	7.50	4.42	1341
O2	8:15:00 AM	4:00:00 PM	7.75	4.58	1418
O21	3:30:00 PM	11:05:00 PM	7.58	4.58	1291
O22	12:20:00 PM	9:50:00 PM	9.50	4.92	1503
O25	4:25:00 PM	12:45:00 AM	8.33	4.75	1446
O26	3:00:00 PM	11:30:00 PM	8.50	4.92	1510
O27	2:30:00 PM	9:40:00 PM	7.17	4.42	1250
O3	5:30:00 AM	1:10:00 PM	7.67	4.50	1295
O4	5:10:00 AM	1:10:00 PM	8.00	5.00	1509
O7	6:30:00 AM	2:55:00 PM	8.42	4.33	1270
O8	6:20:00 AM	1:40:00 PM	7.33	5.33	1748

ตารางที่ ค13 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M3)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O10	5:00:00 AM	12:40:00 PM	7.67	4.67	1437
O12	6:25:00 AM	2:40:00 PM	8.25	4.50	1446
O13	7:05:00 AM	3:10:00 PM	8.08	5.17	1512
O16	12:10:00 PM	8:05:00 PM	7.92	4.92	1470
O17	12:10:00 PM	8:10:00 PM	8.00	5.00	1540
O18	1:00:00 PM	8:30:00 PM	7.50	4.42	1341
O2	8:15:00 AM	4:00:00 PM	7.75	4.58	1418
O21	3:30:00 PM	11:05:00 PM	7.58	4.58	1291
O22	12:20:00 PM	9:50:00 PM	9.50	4.92	1503
O23	12:35:00 PM	9:50:00 PM	9.25	4.50	1354
O25	4:25:00 PM	12:45:00 AM	8.33	4.75	1446
O26	3:00:00 PM	11:30:00 PM	8.50	4.92	1510
O27	2:30:00 PM	9:40:00 PM	7.17	4.42	1250
O3	5:30:00 AM	1:10:00 PM	7.67	4.50	1295
O4	5:10:00 AM	1:10:00 PM	8.00	5.00	1509
O7	6:30:00 AM	2:55:00 PM	8.42	4.33	1270
O8	6:20:00 AM	1:40:00 PM	7.33	5.33	1748

ตารางที่ ค14 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (L)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O1	4:50:00 AM	12:20:00 PM	7.50	4.33	1195
O10	5:00:00 AM	12:40:00 PM	7.67	4.67	1437
O12	6:25:00 AM	2:40:00 PM	8.25	4.50	1446
O13	7:05:00 AM	3:10:00 PM	8.08	5.17	1512
O15	2:25:00 PM	10:35:00 PM	8.17	5.17	1547
O16	12:10:00 PM	8:05:00 PM	7.92	4.92	1470
O17	12:10:00 PM	8:10:00 PM	8.00	5.00	1540

ตารางที่ ค14 รายละเอียดรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (L) (ต่อ)

Activity ID	Duty Start	Duty End	Duty Time (Hrs)	Block Time (Hrs)	Nautical Miles
O18	1:00:00 PM	8:30:00 PM	7.50	4.42	1341
O2	8:15:00 AM	4:00:00 PM	7.75	4.58	1418
O20	12:40:00 PM	7:50:00 PM	7.17	4.00	1039
O21	3:30:00 PM	11:05:00 PM	7.58	4.58	1291
O22	12:20:00 PM	9:50:00 PM	9.50	4.92	1503
O23	12:35:00 PM	9:50:00 PM	9.25	4.50	1354
O25	4:25:00 PM	12:45:00 AM	8.33	4.75	1446
O26	3:00:00 PM	11:30:00 PM	8.50	4.92	1510
O27	2:30:00 PM	9:40:00 PM	7.17	4.42	1250
O28	1:20:00 PM	9:15:00 PM	7.92	4.25	1190
O3	5:30:00 AM	1:10:00 PM	7.67	4.50	1295
O30	3:50:00 PM	12:50:00 AM	9.00	5.33	1920
O31	11:50:00 PM	8:15:00 AM	8.42	5.33	1962
O32	11:50:00 PM	9:45:00 AM	9.92	5.33	1962
O33	4:40:00 AM	1:20:00 PM	8.67	4.92	1413
O34	9:00:00 AM	1:20:00 PM	4.33	2.25	559
O37	10:40:00 AM	2:55:00 PM	4.25	2.08	592
O38	10:40:00 AM	4:55:00 PM	6.25	3.42	1024
O39	4:00:00 PM	6:50:00 PM	2.83	1.33	422
O4	5:10:00 AM	1:10:00 PM	8.00	5.00	1509
O40	5:25:00 AM	8:15:00 AM	2.83	1.33	422
O5	5:00:00 AM	2:00:00 PM	9.00	5.50	1718
O51	11:50:00 PM	5:20:00 AM	5.50	4.00	1540
O52	10:40:00 AM	6:50:00 PM	8.17	4.75	1446
O7	6:30:00 AM	2:55:00 PM	8.42	4.33	1270
O8	6:20:00 AM	1:40:00 PM	7.33	5.33	1748

ตารางที่ ค15 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (S1)

Activity ID	Day
O19	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
O2	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14
O20	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O23	1,2,3,4,5,6,7,15,16,17,18,19,20,21,29,30,31
O41	8,9,10,11,12,13,14,22,23,24,25,26,27,28
O45	15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31

ตารางที่ ค16 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (S2)

Activity ID	Day
O19	2,4,8,10,14,16,18,20,24,28,30
O2	3,6,9,12
O20	1,3,5,7,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O23	1,2,3,5,6,7,19,29
O41	8,9,10,11,12,22,24,26,28
O45	15,16,17,20,21,22,23,24,25,26,27,30,31

ตารางที่ ค17 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก (S3)

Activity ID	Day
O10	1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20
O12	13,14,15,16,17,18,22,23,24,25,26,27,29
O13	1,2,3,4,5,6,7,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,30,31
O17	3,5,7,9,11,13,15,19,20,21,23,26,28,30
O22	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,22,24,25,26,27,28,29,30,31
O27	7,8,9,10,11,12,17,18,19,20,21,28,29,30,31
O5	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31

ตารางที่ ค18 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M1)

Activity ID	Day
O12	1,2,3,8,9,10,15,16,17,22,23,24,29,30,31
O13	4,5,6,7,11,12,13,14,18,19,20,21,25,26,27,28
O15	1,5,9,13,17,21,25,29
O16	2,3,4,6,7,8,10,11,12,14,15,16,18,19,20,22,23,24,26,27,28,30,31
O18	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
O2	2,5,8,11,14,17,20,23,26,29
O20	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
O25	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
O3	1,3,9,15,21,23,25,27,29,31
O33	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O4	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O5	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O7	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O8	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30

ตารางที่ ค19 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M2)

Activity ID	Day
O10	1,2,3,4,5,8,9,10,11,12,15,16,17,18,19,22,23,24,25,26,29,30,31
O12	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O16	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O17	6,7,13,14,20,21,27,28,30
O18	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
O2	1,2,3,6,7,8,11,12,13,16,17,18,21,22,23,26,27,28
O21	2,3,4,5,9,10,11,12,16,17,18,19,23,24,25,26,30,31
O22	1,6,8,11,13,15,18,21,24,27,29
O25	3,6,7,9,14,15,21,22,27,28,31
O26	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30

ตารางที่ ค19 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M2) (ต่อ)

Activity ID	Day
O27	1,2,4,5,7,8,10,11,13,14,16,17,19,20,22,23,25,26,28,29,31
O3	4,5,9,10,14,15,19,20,24,25,29,30,31
O4	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O7	1,2,3,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,20,21,22,23,24,27,28,29,30,31
O8	4,5,11,12,18,19,25,26

ตารางที่ ค21 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง (M3)

Activity ID	Day
O10	1,2,3,4,5,8,9,10,11,12,15,16,17,18,19,22,23,24,25,26,29,30,31
O12	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O13	1,2,3,8,9,10,15,16,17,22,23,24,29,30,31
O16	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O17	6,7,13,14,20,21,27,28,30
O18	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
O2	1,2,3,6,7,8,11,12,13,16,17,18,21,22,23,26,27,28
O21	2,3,4,5,9,10,11,12,16,17,18,19,23,24,25,26,30,31
O22	1,6,8,11,13,15,18,21,24,27,29
O23	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O25	3,6,7,9,14,15,21,22,27,28,31
O26	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30
O27	4,5,11,12,18,21,19,25,26
O3	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O4	1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,23,25,27,29,31
O7	1,2,3,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,20,21,22,23,24,27,28,29,30,31
O8	4,5,11,12,18,19,25,26

ตารางที่ ค22 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (L)

Activity ID	Day
O1	10,11,22,25,26,27,28
O10	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,15,16,17,19,21,23,24,25,27,28,29,30
O12	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30
O13	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,28,29,30,31
O15	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,28,29,30,31
O16	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,28,29,30
O17	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30
O18	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,30,31
O2	4,5,8,11,19,20,22,26,30,31
O20	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,30
O21	1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,15,16,17,18,19,20,21,23,24,25,27,29,31
O22	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,30
O23	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,27,28,29,30,31
O25	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30
O26	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O27	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O28	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O3	1,5,7,8,9,18,25,27,28,29,31
O30	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31
O31	1,2,3,4,5,6,8,10,13,15,17,20,22,24,27,29
O32	11,12,14,16,18,19,21,23,25,26,28,30
O33	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,15,17,20,22,24,27,29,31
O34	7,8,9,10,11,12,14,16,18,19,21,23,25,26,28,30
O37	7,9,12,14,16,19,21,23,26,28,30
O38	8,10,11,13,15,17,18,20,22,24,25,27,29
O39	7,9,12,14,16,19,21,23,26,28,30
O4	4,5,7,8,9,11,12,13,20,21,24,25,26,27,30,31
O40	11,18,25
O5	2,3,5,6,8,9,10,12,15,19,20,22,28,30

ตารางที่ ค22 ข้อมูลวันรูปแบบเที่ยวบินของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ (L) (ต่อ)

Activity ID	Day
O51	7,9
O52	1,2,3,4,5,6
O7	1,3,5,6,7,8,9,10,11,17,21,23,26,29,30,31
O8	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,16,17,18,21,27,28,30,31

ตารางที่ ค23 ข้อมูลสรุปเวลาปฏิบัติหน้าที่ของแต่ละโจทย์ปัญหา

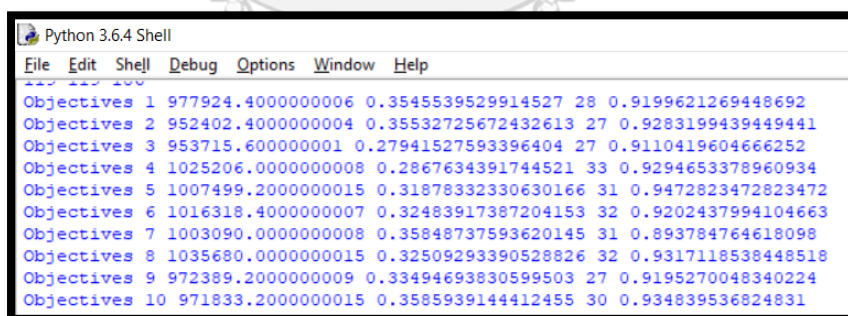
Problem	S1	S2	S3	M1	M2	M3	L
No. Cockpit Crew	12	15	20	45	58	65	123
Available	2,976	3,720	4,960	11,160	14,384	16,120	30,504
On duty	1,363	856	2,299	5,296	6,339	7,422	16,522
Rest	1,613	2,864	2,661	5,864	8,046	8,698	13,982
% Duty Time	45.81%	23.00%	46.34%	47.45%	44.07%	46.04%	54.16%

ภาคผนวก ง การนำผลคำตอบการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินไปใช้งาน

การนำผลคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมไพธอนนั้นเป็นชุดคำตอบของการจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ซึ่งการที่จะเลือกคำตอบชุดใดนั้นจะต้องทำการพิจารณาจากผลวัตถุประสงค์ ซึ่งการนำไปใช้งานจะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนที่มีการพิจารณาและนำไปใช้งาน ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการเลือกคำตอบ (Solution Selection Method) เป็นขั้นตอนการนำผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมไพธอนไปวิเคราะห์เพื่อเลือกใช้จริงตามนโยบายในการทำงานจัดตารางปฏิบัติงานนักบิน ซึ่งผลคำตอบทุกชุดเป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่อยู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงทั้งหมดอยู่แล้ว

- 1.1 คัดลอกผลวัตถุประสงค์ที่ได้จากโปรแกรมไพธอนรูปที่ ง1 ลงโปรแกรม Excel ที่เตรียมไว้สำหรับการวิเคราะห์ด้วยกราฟเพื่อการตัดสินใจเลือกชุดคำตอบ ดังรูปที่ ง2
- 1.2 ผู้ใช้งานสามารถดูทิศทางของผลวัตถุประสงค์แต่ละตัวได้จากกราฟ ดังรูปที่ ง3 เพื่อประเมินในการตัดสินใจเลือกชุดคำตอบของการจัดตารางนี้ได้ ทำการเลือกคำตอบตามจุดในกราฟ เช่น จุดที่ 41 มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดดังรูปในกราฟ
- 1.3 ค้นหาหมายเลขชุดคำตอบจากโปรแกรมไพธอน ดังรูปที่ ง4 กรอกตามหมายเลขที่ได้เลือกชุดผลวัตถุประสงค์ไว้จากกราฟ Excel ผลชุดคำตอบนี้จะใช้ในการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินต่อไป เช่น ค้นหาคำตอบชุดที่ 41 พิมพ์คำว่า Solution 41 ดังรูปที่ ง5 จะนำไปไว้ในขั้นตอนถัดไป

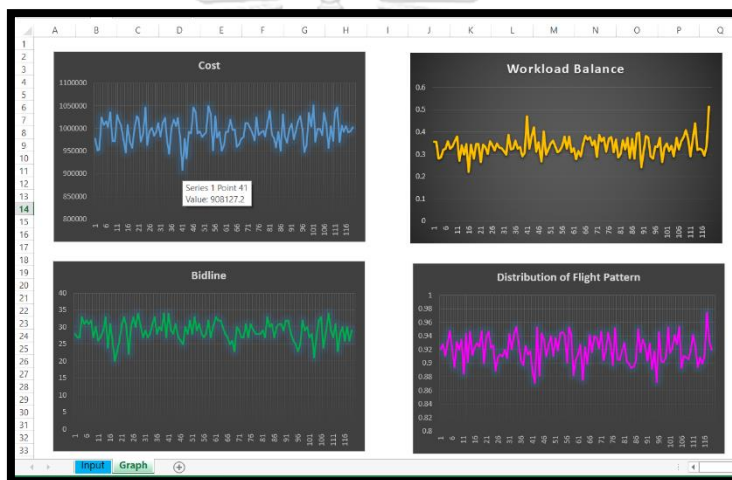


```
Python 3.6.4 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Objectives 1 977924.4000000006 0.3545539529914527 28 0.9199621269448692
Objectives 2 952402.4000000004 0.35532725672432613 27 0.9283199439449441
Objectives 3 953715.6000000001 0.27941527593396404 27 0.9110419604666252
Objectives 4 1025206.0000000008 0.2867634391744521 33 0.9294653378960934
Objectives 5 1007499.2000000015 0.31878332330630166 31 0.9472823472823472
Objectives 6 1016318.4000000007 0.32483917387204153 32 0.9202437994104663
Objectives 7 1003090.0000000008 0.35848737593620145 31 0.893784764618098
Objectives 8 1035680.0000000015 0.32509293390528826 32 0.9317118538448518
Objectives 9 972389.2000000009 0.33494693830599503 27 0.9195270048340224
Objectives 10 971833.2000000015 0.3585939144412455 30 0.934839536824831
```

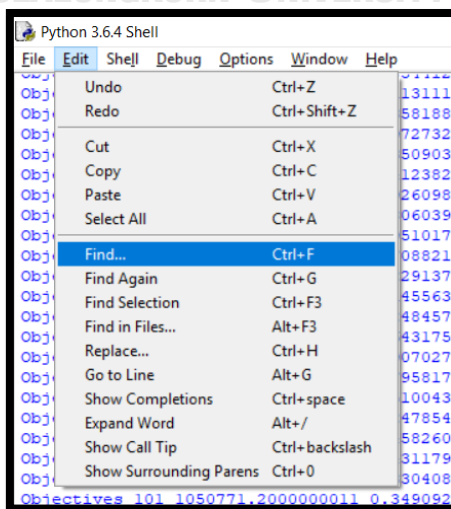
รูปที่ ง1 ผลวัตถุประสงค์ที่ได้จากโปรแกรมไพธอน

	A	B	C	D	E
1	Solution	Objective1	Objective2	Objective3	Objective4
2	1	977924.4	0.354554	28	0.919962
3	2	952402.4	0.355327	27	0.92832
4	3	953715.6	0.279415	27	0.911042
5	4	1025206	0.286763	33	0.929465
6	5	1007499	0.318783	31	0.947282
7	6	1016318	0.324839	32	0.920244
8	7	1003090	0.358487	31	0.893785
9	8	1035680	0.325093	32	0.931712
10	9	972389.2	0.334947	27	0.919527
11	10	971833.2	0.358594	30	0.93484
12	11	1030042	0.380171	26	0.885017

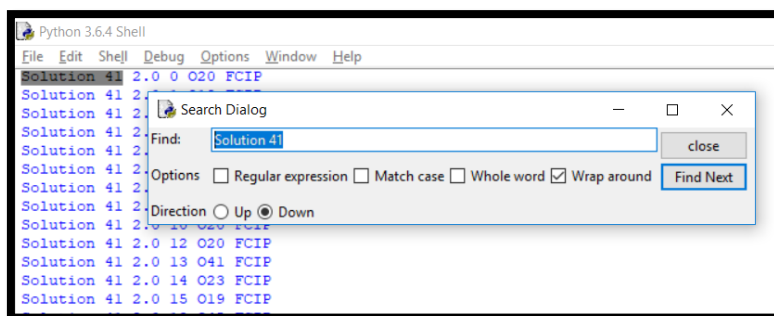
รูปที่ 2 ตารางผลวัตถุประสงคในโปรแกรม Excel



รูปที่ 3 วิเคราะห์กราฟของผลวัตถุประสงค



รูปที่ 4 การค้นหาชุดคำตอบตัวอย่าง



รูปที่ 5 ผลการค้นหาชุดคำตอบตัวอย่าง

2. ขั้นตอนการแปลงผลข้อมูล (Data Transformation)

เนื่องด้วยโปรแกรมการคำนวณผลชุดคำตอบเป็นเพียงผลคูนักบินในการปฏิบัติงานในแต่ละวันของแต่ละรูปแบบเที่ยวบิน เพื่อให้สอดคล้องกับตารางที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจึงได้ยกตัวอย่างการแปลงผลชุดคำตอบเพื่อนำไปใช้จัดวางในตารางจริง ดังขั้นตอนการแปลงผลข้อมูล (Data Transformation)

2.1 กรอกรูปแบบเที่ยวบินและกิจกรรมอื่น ๆ ที่ต้องการกำหนดไว้ก่อนจัดตารางจริงด้วยโปรแกรมไพธอน ไว้ในฐานข้อมูลที่โปรแกรม Excel ดังรูปที่ ๖

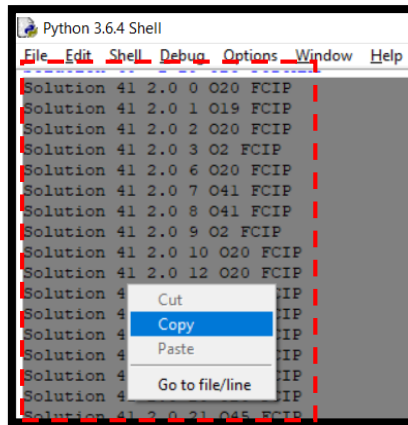
2.2 คัดลอกผลที่ได้จากโปรแกรมไพธอน ดังรูปที่ ๗

2.3 วางผลหมายเลขนักบินที่คอลัมภ์ที่ 1 วันที่ดำเนินงานคอลัมภ์ที่ 2 และหมายเลขรูปแบบเที่ยวบินคอลัมภ์ที่ 3 ลงโปรแกรม Excel ดังรูปที่ ๘

2.4 จะได้ผลการจัดตารางปฏิบัติงานนักบินที่ประกอบด้วยกิจกรรมที่กำหนดไว้คงที่และผลที่ได้จากโปรแกรมรวมกันในแผนนี้ สามารถคัดลอกแล้ววางที่เป็นแผนตารางจริงได้โดยหมายเลขแถว คือ หมายเลขนักบิน ส่วนหมายเลขคอลัมภ์ คือ วันที่จัดตารางปฏิบัติงาน ดังรูปที่ ๙

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID/DAY	1	2	3	4	5	6	7
3	2	02	01	01	09		02	
4	3	01	04	02		09	02	
5	4		02		05			05
6	5	017		03				
7	6	05	07		03	01	04	
8	7	04	03	04	07		01	01

รูปที่ ๖ การกำหนดกิจกรรมและรูปแบบเที่ยวบินก่อนการจัดตาราง



รูปที่ ง7 ผลการจัดตารางจากโปรแกรมไพธอน

A screenshot of an Excel spreadsheet showing a table with three columns: "Cockpit crew number", "Day of python", and "flight pattern number". The data is as follows:

Cockpit crew number	Day of python	flight pattern number
2	2	0 O20
2	2	1 O19
2	2	2 O20
2	2	3 O2
2	2	6 O20
2	2	7 O41
2	2	8 O41
2	2	9 O2
2	2	10 O20
2	2	12 O20
2	2	13 O41
2	2	14 O23
2	2	15 O19
2	2	18 O45
2	2	19 O45
2	2	20 O20
2	2	21 O45
2	2	22 O45
2	2	25 O41
2	2	26 O41
2	2	27 O19
2	2	30 O20

รูปที่ ง8 การวางผลการจัดตารางจากโปรแกรมไพธอนลงโปรแกรม Excel

A screenshot of an Excel spreadsheet showing a detailed flight schedule table. The columns are labeled "ID/DAY" through "K". The data is as follows:

ID/DAY	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	016	O23	O9	O1	O10	O3	-	T22	T21	O3
2	O2	O1	O1	O9	-	-	O2	T22	T21	O4
3	O1	O4	O2	-	O9	O2	O2	O1	O1	SF1
4	-	O2	-	O5	-	O23	O5	T22	T21	O2
5	O17	O2	O3	-	O23	O19	O23	CP RC	CP RC	DCP
6	O5	O7	-	O3	O1	O4	-	SIM31	O2	SIM3
7	O4	O3	O4	O7	-	O1	O1	T22	T21	-
8	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
9	SB3	O23	O2	O2	O20	-	O20	O2	O27	O41
10	O9	O30	O20	-	O2	O23	-	O25	O20	O5
11	O11	O8	O7	O16	-	O8	O9	O12	O34	O21
12	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
13	-	-	-	O11	-	-	-	-	-	-
14	O26	O22	-	O30	O33	O7	O4	O16	-	-
15	-	O12	O16	O22	-	SB3	O13	-	O33	P5
16	O14	O52	-	O8	O6	O10	-	T22	T21	O33
17	O21	-	O24	-	O3	P3	O35	SB4	O35	O8
18	O6	-	O5	O14	O28	O18	-	T22	T21	-
19	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
20	O13	O26	O10	O10	O10	O23	O26	O10	O10	O10

รูปที่ ง9 ผลการคัดลอกจากโปรแกรมไพธอนลงโปรแกรม Excel

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกนกพร อารยิกานนท์ เกิดวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2550 ประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับโรงงานผลิตรถยนต์ที่บริษัท อีซูซุมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ปี 2551 ทำหน้าที่วางแผนการผลิตและดำเนินโครงการเกี่ยวกับการลดต้นทุนในตำแหน่งวิศวกร นอกจากนี้ประสบการณ์การทำงานด้านอื่นๆ เช่น ธุรกิจค้าปลีก บริษัท ซีอาร์ซี ไทวัสดุ จำกัด ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยผู้จัดการสาขาดูแลยอดขายโดยรวม และธุรกิจการท่องเที่ยว บริษัท สายการบินนกแอร์ จำกัด (มหาชน) ทำหน้าที่บริหารโครงการเกี่ยวกับการจัดซื้อจัดหาชิ้นส่วนเพื่อประกอบเครื่องบินลำใหม่และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงเครื่องบิน จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY