การหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด

นางสาวจุฑามาศ เมธีสุวกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-3394-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PILOT CREW PAIRING OPTIMIZATION

Miss.Juthamas Medhisuwakul

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 2006

ISBN 974-14-3394-8

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด
โดย	นางสาวจุฑามาศ เมธีสุวกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

…… อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์)

…… กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สีรง ปรีชานนท์)

จุฑามาศ เมธีสุวกุล : การหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด. (PILOT CREW PAIRING OPTIMIZATION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร. มาโนช โลหเตปานนท์ 173 หน้า. ISBN 974-14-3394-8.

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ เป็นอุตสาหกรรมการบริการด้านการเดินทางที่สำคัญประเภทหนึ่ง ซึ่งมีจำนวนเงินลงทุนสูง และปัจจุบันมีผู้ที่ต้องการใช้บริการการเดินทางด้วยวิธีการนี้เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างสายการบินมากขึ้น โดยแต่ละสายการบินมีเป้าหมายเพื่อเกิดกำไรให้มากที่สุด การลดค่าใช้จ่าย จะทำให้กำไรเพิ่มขึ้นได้ จากการศึกษาพบว่า ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับลูกเรือที่สูงเป็นอันดับที่สองรองจากค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นผลมาจากค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินที่นำไปจัดตารางการทำงานของลูกเรือ เช่น จำนวนเงินเบี้ยเลี้ยงที่ต้องจ่ายให้กับลูกเรือในระหว่างที่ลูกเรือพักที่สนามบินอื่น ค่าโรงแรมที่ต้องจ่ายเป็นที่สำหรับพักผ่อนของลูกเรือ และค่าสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ผู้จัดตารางการบินของลูกเรือต้องเลือกเส้นทางการบินของลูกเรือให้เหมาะสม จากเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งมีจำนวนมาก ให้มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยครอบคลุมเที่ยวบินทุกเที่ยวบิน ดังนั้นกระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบินที่มีการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ สามารถหากลุ่มของเส้นทางการบินที่ดีมีประสิทธิภาพและครอบคลุมทุกเที่ยวบินที่เปิดให้บริการเป็นไปตามกฎเกณฑ์เงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาลงได้ จึงมีความสำคัญ

ในงานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอกระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบิน โดยทำการหาเส้นทางการบินที่เป็นได้ทั้งหมด แล้วใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ โดยใช้กำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม (Integer Programming) ทำการแก้ปัญหาแบบครอบคลุม (Set covering Problem) เพื่อหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด ซึ่งผลการวิจัยพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินทั้งหมดลงได้คิดเป็น 15.42% ซึ่งเป็นที่น่าพอใจทั้งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ และคำตอบที่ได้ไม่ผิดไปจากเงื่อนไขที่กำหนด

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา……..2549…… ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4870260121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: CREW PAIRING / INTEGER PROGRAMMING / COLUMN GENERATION

JUTHAMAS MEDHISUWAKUL : PILOT CREW PAIRING OPTIMIZATION. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. PAVEENA CHAOVALITWONGSE,Ph.D., THESIS COADVISOR : MANOJ LOHATEPANONT,Sc.D., 173 pp. ISBN 974-14-3394-8

In the present, Airline Industry is one of transportation services which involves with a lot of investment and become the most important choice to travel and highly competitive global market. Each airline has the objective of maximize the best profit. Crew expense is the second largest cost component, second only the fuel expense. The crew expense is result of crew pairing which will assign to each crew such as the per diem for crew when stay at other country, the hotel cost and facilities which provide to each crew. Scheduling planner must select crew pairings of a lot of possible pairings which follow the regulations to have the minimum cost and cover all flights. So the crew pairing optimizations program to make the decision to find the optimal crew pairings that follow the regulations, cover all flights and reduces total cost of crew scheduling is importance.

We introduce new algorithm for solve this problem. By enumerate all possible pairings and solve set covering integer programming problem with column generation technique. The result of this algorithm found that total cost of crew pairings is decreased by 15.42% and impressive compute time and no infeasible solution

Department :.....Industrial Engineering.....Student's Signature.....
Field of Study :....Industrial Engineering.....Advisor's Signature.....
Academic Year : ……..2006.....Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ อ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) เป็นอย่างสูง ที่เสียสละเวลาอันมีค่าให้ความรู้ ข้อคิด และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับแนวคิด วิธีการ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อ.ดร.สีรง ปรีชานนท์ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ มด อูฐ อ้น พัก ซี เยี่ยม ตั้ม พี่ซับ ปักเป้า และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ร่วมงาน ฝันฝ่าอุปสรรค ร่วมทุกข์ร่วมสุข อดหลับอดนอน ช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจให้กันและกันเสมอมา ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณห้องวิจัย ROM ที่ให้ความรู้สึกที่แสนอบอุ่น (อาจจะหนาวบ้างยามคนน้อย และร้อนบ้างยามโดนปิดแอร์) ที่ให้ผมได้อาศัยสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พี่ๆ น้องๆ ในห้องทุกคนที่ไปกินข้าวด้วยกันเป็นประจำ

สุดท้ายนี้ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่อาร์ต นักบินแอ้ และญาติพี่น้อง ที่ช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ ดูแลและเข้าใจเสมอมา ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจให้ผู้ทำวิจัยมีกำลังใจ มีความมานะ บากบั่น เพียรพยายามในการทำงาน ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูปภาพ ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
1.6 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย 7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 แนวคิดและทฤษฎีการจัดเส้นทางการบิน 9
2.1.1 คาบการปฏิบัติหน้าที่ (Duty Periods) 10
2.1.2 เส้นทางการบิน (Pairing) 10
2.1.3 ตารางการทำงาน (Schedules) 11
2.2 การหาเส้นทางการบิน (Crew Pairing Problem) 12
2.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 13
2.2.2 การสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ (Pairing Generation) 13
2.3 การก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) 15
2.4 วิธีการบรานช์แอนด์ไพรซ์ (Brand and Price) 20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 27
3.1 ศึกษาสภาพของกระบวนการทำงานของกรณีศึกษาในปัจจุบัน 27
3.1.2 ขั้นตอนการหาเส้นทางการบินทั้งหมด (Crew Pairing) 27
3.2 การวิเคราะห์สภาพการทำงานของกรณีศึกษา 43

สารบัญ

หน้า

3.3 ออกแบบกระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด..... 44
3.3.1 การหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้..... 44
3.3.2 กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 46
3.4 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล 50
3.4.1 ข้อมูลเที่ยวบินที่เปิดให้บริการ 50
3.4.2 ข้อมูลเงื่อนไขการทำงาน..... 52
3.4.3 ข้อมูลเส้นทางการบินที่ทางบริษัทการบินกรณีศึกษาทำการบินอยู่ในปัจจุบัน..... 52
3.5 กระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด 52
3.5.1 กระบวนการที่ใช้ในการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่..... 53
3.5.2 กระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบิน 65
3.6 กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 69
3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 71
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 72
4.1 จำนวนเที่ยวบินและเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดในแต่ละกลุ่มชนิดและรุ่นของเครื่องบิน..... 72
4.2 ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อทำการแก้ปัญหาโดยไม่ใช้การก่อกำเนิดสดมภ์ 72
4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคำนวณโดยใช้การก่อกำเนิดสดมภ์..... 73
บทที่ 5 การทดลองปรับปรุงเงื่อนไขของการหาคำตอบ..... 79
5.1 การกำหนดความแตกต่าง (Gap) ของการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม 79
5.2 การทดลองหาคำตอบของกลุ่มข้อมูลที่มีแนวโน้มการพัฒนาของคำตอบน้อย .. 86
5.2.1 การทดลองตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม..... 86
5.2.2 การทดลองหาค่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ..... 89
5.3 การทดลองใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร..... 91
5.4 การทดสอบความไวของการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ..... 95
5.5 การวิเคราะห์ผลเส้นทางการบินที่ได้จากกระบวนการแก้ปัญหา..... 99
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 100
6.1 สรุปผลการวิจัย..... 100
6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม..... 101

สารบัญ

หน้า

รายการอ้างอิง 102
ภาคผนวก 103
ภาคผนวก ก รายละเอียดของเที่ยวบินในแต่ละกลุ่มข้อมูล 104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 173

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 คำจำกัดความในงานวิจัย 5
ตารางที่ 1.2 คำจำกัดความในงานวิจัย (2) 6
ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาสูงสุดของคาบการปฏิบัติหน้าที่..... 28
ตารางที่ 3.2 ชนิดของเครื่องบินในกลุ่มต่างๆ..... 31
ตารางที่ 3.3 อัตราค่าเบี้ยเลี้ยงที่ได้รับ 34
ตารางที่ 3.4 อัตราค่าเบี้ยเลี้ยงที่ได้รับในพื้นที่หรือเขตต่างๆ..... 34
ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของเที่ยวบินในเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1 35
ตารางที่ 3.6 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1..... 36
ตารางที่ 3.7 รายละเอียดของเที่ยวบินในเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 2 37
ตารางที่ 3.8 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 2..... 38
ตารางที่ 3.9 รายละเอียดของเที่ยวบินในเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3 39
ตารางที่ 3.10 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3..... 40
ตารางที่ 3.11 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3 (ต่อ)..... 41
ตารางที่ 3.12 ตัวอย่างตารางการทำงานของลูกเรือแต่ละคน..... 43
ตารางที่ 3.13 การอ้างอิงวันที่ในเชิงตัวเลข 50
ตารางที่ 3.14 ตัวอย่างการเปลี่ยนเวลาในหน่วยของชั่วโมงเป็นหน่วยของนาที 51
ตารางที่ 3.15 ตัวอย่างการเปลี่ยนเวลาท้องถิ่นให้เป็นเวลามาตรฐาน 52
ตารางที่ 3.16 การอ้างอิงวันที่ในเชิงตัวเลขที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 54
ตารางที่ 3.17 ตัวอย่างข้อมูลของเที่ยวบิน 56
ตารางที่ 3.18 ตัวอย่างการแปลงเวลาของเที่ยวบิน..... 56
ตารางที่ 3.19 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้ากระบวนการการหาเส้นทางการบิน 57
ตารางที่ 4.1 จำนวนเที่ยวบินและเส้นทางการบินทั้งหมดของแต่ละกลุ่มข้อมูล 72
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ที่ได้โดยไม่ใช้กระบวนการที่สร้างขึ้น..... 73
ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบทุกกลุ่มข้อมูล 78
ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 1 81
ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 2 81
ตารางที่ 5.3 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 3 82
ตารางที่ 5.4 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 4 84
ตารางที่ 5.5 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 5 85

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 5.6 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 6 85
ตารางที่ 5.7 ผลการตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มของกลุ่มข้อมูลที่ 4 gap 0.3%..... 87
ตารางที่ 5.8 ผลการตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มของกลุ่มข้อมูลที่ 4 gap 0.5%..... 88
ตารางที่ 5.9 ผลลัพธ์ของการทดลองข้อมูลที่ 4 เมื่อกำหนด Gap 0.3% 89
ตารางที่ 5.10 ผลลัพธ์ของการทดลองกลุ่มข้อมูลที่ 4 เมื่อกำหนด Gap 0.5% 90
ตารางที่ 5.11 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 1..... 91
ตารางที่ 5.12 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 2..... 92
ตารางที่ 5.13 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 4..... 93
ตารางที่ 5.14 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 6..... 94
ตารางที่ 5.15 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 10% ระหว่าง 15-30 นาที..... 96
ตารางที่ 5.16 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 10% ระหว่าง 30-45 นาที..... 96
ตารางที่ 5.17 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 15% ระหว่าง 15-30 นาที..... 97
ตารางที่ 5.18 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 15% ระหว่าง 30-45 นาที..... 98

สารบัญรูปภาพ

หน้า

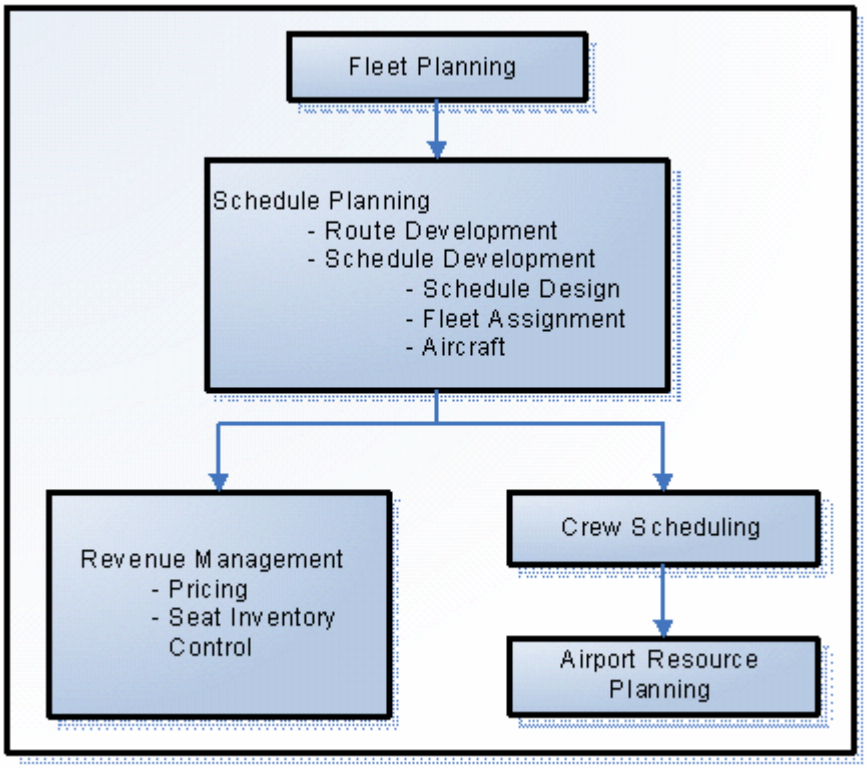
รูปที่ 1.1 กระบวนการในการวางแผนงาน 1
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ 10
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเส้นทางการบินโดยมีกรุงเทพฯ (BKK) เป็นฐานที่อยู่ของลูกเรือ 11
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโครงข่ายเที่ยวบิน (Flight Network) 14
รูปที่ 2.4 แผนภูมิการไหลวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์สำหรับปัญหา Maximization แบบตัวแปรเดียว18
รูปที่ 2.5 แผนภูมิการไหลวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์สำหรับปัญหา Maximization แบบหลายตัวแปร
..... 19
รูปที่ 3.1 การขั้นตอนการจัดตารางการบินในปัจจุบัน 27
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของแต่ละเส้นทางการบิน 33
รูปที่ 3.3 เส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1 35
รูปที่ 3.4 เส้นทางการบินตัวอย่างที่ 2 37
รูปที่ 3.5 เส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3 39
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนกระบวนการที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 49
รูปที่ 3.7 ระยะตัวอย่างของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ 53
รูปที่ 3.8 แผนภูมิการไหลของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด 62
รูปที่ 3.9 แผนภูมิการไหลของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (2) 63
รูปที่ 3.10 แผนภูมิการไหลของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (3) 64
รูปที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 1 74
รูปที่ 4.2 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 2 74
รูปที่ 4.3 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 3 75
รูปที่ 4.4 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 4 75
รูปที่ 4.5 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 5 76
รูปที่ 4.6 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 6 77
รูปที่ 5.1 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มชนิดข้อมูลที่ 1 ที่ Gap 0.3% 79
รูปที่ 5.2 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มชนิดข้อมูลที่ 1 ที่ Gap 0.5% 80
รูปที่ 5.3 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 4 ที่ Gap 0.3% 82
รูปที่ 5.4 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มชนิดเครื่องบิน B734 ที่ Gap 0.5% 83
รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบเมื่อเที่ยวบินมีการล่าช้า 10% ที่เวลาต่างๆ 97
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบเมื่อเที่ยวบินมีการล่าช้า 15% ที่เวลาต่างๆ 98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ เป็นอุตสาหกรรมการบริการด้านการเดินทางที่สำคัญประเภทหนึ่ง เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีจำนวนเงินลงทุนสูง และปัจจุบันมีผู้ที่ต้องการใช้บริการการเดินทางด้วยวิธีการนี้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความรวดเร็วในการเดินทาง และความมั่นใจในเทคโนโลยีของเครื่องบินและการบำรุงรักษามากขึ้น จึงเกิดการแข่งขันกันระหว่างสายการบินมากขึ้น โดยแต่ละสายการบินมีเป้าหมายเพื่อทำกำไรให้ได้มากที่สุด ซึ่งความสามารถในการทำกำไรของแต่ละสายการบินนั้น จะขึ้นอยู่กับกลยุทธ์ในวางแผนการของแต่ละสายการบิน ซึ่ง Barnhart [1] ได้นำเสนอกระบวนการในการวางแผนซึ่งสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1.1 นี้



รูปที่ 1.1 กระบวนการในการวางแผนงาน

ขั้นตอนที่หนึ่ง เริ่มต้นด้วยสายการบินต้องตัดสินใจว่าจะซื้อหรือเช่าเครื่องบินชนิดใด เป็นจำนวนเท่าไร (Fleet Planning) การตัดสินใจในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับเงินลงทุนเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลต่อไปในระยะยาว ในขั้นตอนนี้จึงเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้ง

ขั้นตอนที่สอง สำหรับสายการบินพาณิชย์ที่เปิดให้บริการเที่ยวบินสำหรับการเดินทาง การกำหนดเที่ยวบินที่จะเปิดให้บริการเป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากลูกค้าจะเลือกเดินทางตามเที่ยวบินที่มีให้บริการ หากไม่มีเที่ยวบินที่ลูกค้าต้องการ ลูกค้าจะเลือกเดินทางด้วยวิธีอื่น หรือด้วยสายการบินอื่น จึงต้องมีการพิจารณาเพื่อหาเที่ยวบิน (Route Development) ว่าจะเปิดให้บริการเส้นทางการบินจากสนามบินเริ่มต้นใด ไปยังสนามบินปลายทางใด เพื่อให้เป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการได้อย่างเหมาะสม หรือหากมีตารางการบินเดิมอยู่แล้ว ก็ต้องมีการพัฒนาให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าในปัจจุบัน (Schedule Development) ซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน

1. การออกแบบตารางการบิน (Schedule Design) คือการเลือกเที่ยวบินที่เปิดให้บริการ ว่าจะออกเดินทาง เวลา และความถี่ในการบินต่อสัปดาห์เป็นอย่างไร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการที่มาจากการพยากรณ์ (Forecast)
2. การกำหนดชนิดของเครื่องบินให้กับเที่ยวบิน (Fleet Assignment) คือการกำหนดชนิดของเครื่องบินจากเครื่องบินที่มีอยู่ ให้กับเที่ยวบินในตารางการบิน โดยที่จำนวนที่นั่งที่มีบนเครื่องบินจะต้องใกล้เคียงกับความต้องการของทุกเที่ยวบิน หากชนิดของเครื่องบินที่ทำการกำหนดให้กับเที่ยวบิน มีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้มีโอกาสที่ลูกค้าไม่สามารถซื้อตั๋วได้ เนื่องจากเที่ยวบินเต็ม ก่อให้เกิดการสูญเสียรายได้ที่พึงได้ ในขณะเดียวกันหากชนิดของเครื่องบินที่กำหนดให้ มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้มีที่นั่งบนเครื่องบินว่างเป็นจำนวนมาก ทำให้เป็นการสูญเสียโดยไม่จำเป็น
3. การกำหนดการใช้เครื่องบิน (Aircraft Rotations) เป็นการหากำหนดการการบำรุงรักษาเครื่องบินแต่ละเครื่อง ซึ่งต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการบิน

ขั้นตอนต่อไป จะเป็นการทำคู่ขนานกันระหว่างการจัดการด้านรายได้ (Revenue Management) และการจัดตารางการทำงานของลูกเรือ (Crew Scheduling) โดยในส่วนของการจัดการด้านรายได้ เป็นขั้นตอนในการกำหนดราคาของตั๋วเครื่องบิน เนื่องจากกลุ่มของลูกค้ามีหลายกลุ่ม เช่นกลุ่มลูกค้าชั้นประหยัด ซึ่งต้องการเดินทางโดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรือกลุ่มลูกค้าที่มีความสามารถในการจ่าย ซึ่งต้องการได้รับความสะดวกสบายและการบริการที่ดีที่สุด จึงต้องมีการกำหนดราคาของแต่ละระดับการเดินทาง หรือกรณีการซื้อตั๋วแบบเที่ยวไปและกลับ

ลูกค้าอาจสามารถซื้อตั๋วได้ในราคาต่ำกว่าการซื้อตั๋วแยกเที่ยวบิน ทำให้ต้องมีการกำหนดราคาในหลายรูปแบบ รวมทั้งการหาจำนวนที่นั่งที่จะเปิดให้ลูกค้าจอง เนื่องจากมีกลุ่มลูกค้าบางส่วนที่ได้ทำการจองที่นั่งแล้ว แต่ไม่มายืนยันการซื้อตั๋ว จึงต้องมีการเปิดให้จองตั๋วได้มากกว่าจำนวนที่นั่งที่มีอยู่จริง เพื่อลดจำนวนจำนวนที่นั่งว่างที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละเที่ยวบิน

ส่วนการจัดตารางการทำงานของลูกเรือ (Crew Scheduling) หลังจากที่มีตารางของเที่ยวบินที่ให้บริการ (Flight Schedule) เป็นที่แน่นอนแล้ว ในแต่ละเที่ยวบินจำเป็นต้องมีลูกเรือซึ่งประกอบด้วยนักบินและพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน เพื่อให้บริการกับลูกค้า การจัดลูกเรือให้กับเที่ยวบินต่างๆ ให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่น เส้นทางที่ลูกเรือทำงาน จะต้องมีเวลาการบินไม่เกินเวลาสูงสุดที่กำหนดไว้ หรือในแต่ละเส้นทางการบิน จะต้องมีจำนวนเที่ยวบินที่ทำการบินไม่เกินจำนวนสูงสุดที่กำหนดไว้ รวมทั้งข้อกำหนดของลูกเรือที่เป็นนักบินกับพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน จะมีเงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน โดยนักบินจะมีความสามารถในการขับเครื่องบินเพียงรุ่นเดียวเท่านั้น ส่วนพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน สามารถปฏิบัติงานข้ามชนิดของเครื่องบินได้ การจัดตารางการทำงานจึงจำเป็นต้องแยกการพิจารณา ระหว่างการจัดนักบินและการจัดพนักงานต้อนรับบนเครื่องบินออกจากกัน

การจัดตารางการบินของลูกเรือ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ

1. การหาเส้นทางการบินของลูกเรือในแต่ละครั้ง (Pairing) ซึ่งประกอบไปด้วยเที่ยวบินที่จะทำการบิน เวลาพักผ่อน (Rest Period) ระหว่างเที่ยวบิน 2 เที่ยวบินใดๆ ที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งค่าใช้จ่ายหลักของการจัดตารางการบินของลูกเรือ จะอยู่ที่การเลือกเส้นทางการบินของลูกเรือในแต่ละครั้ง (Pairing) เพราะแต่ละเส้นทางการบินจะมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับเที่ยวบินที่ทำการบิน และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างเที่ยวบินใดๆ ที่เชื่อมต่อกันในเส้นทางการบินนั้นๆ
2. การจัดลูกเรือให้กับเส้นทางการบินต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนแรก เพื่อให้ได้เป็นตารางการทำงานของลูกเรือแต่ละคน หลังจากที่ได้ตารางการบินของลูกเรือแล้ว ต่อไปจะเป็นส่วนการวางแผนการใช้ทรัพยากรของสนามบิน (Airport Resource Planning) เช่น การจัดเที่ยวบินกับประตูทางเข้า (Gate) ให้เหมาะสม การจัดตารางการทำงานของเจ้าหน้าที่บนพื้นดิน เป็นต้น

ขั้นตอนการจัดตารางการทำงานของลูกเรือ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากเส้นทางการบินที่ได้จากขั้นตอนนี้ จะมีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของลูกเรือ เช่น

จำนวนเงินเบี้ยเลี้ยงที่ต้องจ่ายให้กับลูกเรือในระหว่างที่ลูกเรือพักที่สนามบินอื่น ค่าโรงแรมที่ต้องจ่ายเป็นที่สำหรับพักผ่อนของลูกเรือ และค่าสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ผู้จัดตารางการบินของลูกเรือต้องทำการเลือกเส้นทางการบินของลูกเรือในแต่ละครั้ง จากเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งมีจำนวนมาก ให้มีความเหมาะสมตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้ โดยมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด อีกทั้งการจัดตารางการบินของลูกเรือนี้ จะต้องมีการจัดตารางการบินใหม่ (Reschedule) เมื่อตารางของเที่ยวบินที่ให้บริการมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการจัดการวิธีการในการเลือกเส้นทางการบินของลูกเรือในแต่ละครั้งของการจัดตารางการบิน ให้มีความสะดวกและมีประสิทธิภาพในการทำงานและทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยครอบคลุมเที่ยวบินทุกเที่ยวบินที่เปิดให้บริการนั้น จึงมีความสำคัญ ที่จะส่งผลให้สายการบินสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นลงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนากระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบิน ที่ครอบคลุมเที่ยวบินที่เปิดให้บริการทั้งหมด เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของเส้นทางการบินของนักบินที่เกิดขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินการ ช่วยในการตัดสินใจ และใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่าและเหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบ กระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบินของสายการ กรณีศึกษา

2. พิจารณาเฉพาะเที่ยวบิน ที่เปิดให้บริการตามตารางการบินของสายการบินในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2548 เท่านั้น โดยมีสมมติฐานที่ว่า เที่ยวบินที่เปิดให้บริการจะให้บริการเหมือนกันทุกสัปดาห์ และแต่ละเที่ยวบินที่เปิดให้บริการใช้เครื่องบินรุ่นเดียวกันในทุกสัปดาห์

3. พิจารณาตามเงื่อนไขที่เป็นข้อบังคับในการจัดเส้นทางการบินของนักบิน ที่สายการบินกำหนดไว้

4. ระบบจะครอบคลุมเพียงการหาเส้นทางการบินของนักบินทั้งหมดเท่านั้น ไม่รวมไปถึงการจัดตารางการบินสำหรับนักบินแต่ละคน (Personal Schedule)

5. วิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของแต่ละเส้นทางการบินของนักบิน ให้เป็นไปตามวิธีการตามที่สายการบินใช้ในการคำนวณ

6. กระบวนการที่ทำการออกแบบเพื่อทำการหาเส้นทางการบิน จะไม่รวมถึงรูปแบบการแสดงผลทางหน้าจอมอนิเตอร์ (User Interface)

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้สามารถอธิบายความหมายได้ดังตารางที่ 1.1 และ 1.2 นี้

ตารางที่ 1.1 คำจำกัดความในงานวิจัย

คำภาษาไทย	คำภาษาอังกฤษ	ความหมาย
ลูกเรือ	Crew	เจ้าหน้าที่บนห้องนักบินและเจ้าหน้าที่ต้อนรับบนเครื่องบิน
ฐานที่อยู่	Home Base	เมืองที่ลูกเรือใช้เป็นฐานที่อยู่
เที่ยวบิน	Flight	เที่ยวบินที่เปิดให้บริการ
เวลาทำงานบนเครื่องบิน	Block Time	ช่วงเวลาที่ลูกเรือปฏิบัติหน้าที่อยู่บนเครื่องบิน
คาบการปฏิบัติหน้าที่	Duty Period	ช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน ที่ลูกเรือที่การบินในเที่ยวบินใดๆ โดยจะหมายถึงเวลา Flight duty period (เวลาที่ทำการบิน), การเดินทางเป็นผู้โดยสาร (Deadheading) การฝึกจำลองการบิน (Simulator training), การฝึกภาคพื้นดิน (Ground training) ช่วงเวลาที่ทำงานบนภาคพื้นดิน (Ground duties) และช่วงเวลาที่เป็นช่วงเวลาเตรียมพร้อม (Standby duty)
เวลาที่ทำการบิน	Flight Duty Period	ช่วงเวลาที่ลูกเรือทำการบินในคาบการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ
เวลาพัก	Break	ช่วงเวลาระหว่างเที่ยวบิน สองเที่ยวบินที่ต่อกัน ซึ่งลูกเรือไม่ต้อง ปฏิบัติหน้าที่ในคาบการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ

ตารางที่ 1.2 คำจำกัดความในงานวิจัย (2)

คำภาษาไทย	คำภาษาอังกฤษ	ความหมาย
เวลาพักผ่อน	Rest Period	ช่วงเวลาพักผ่อนระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ สองคาบใดๆ
เส้นทางการบิน	Pairing	เส้นทางการบินของลูกเรือ ประกอบด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่หลายๆ ชุด เชื่อมต่อด้วยช่วงเวลาพักผ่อน ซึ่งเที่ยวบินแรกของเส้นทางการบินจะมีจุดเริ่มต้นที่ฐานที่อยู่ของลูกเรือ และเที่ยวบินสุดท้ายของเส้นทางการบินจะมีจุดปลายทางอยู่ที่ฐานที่อยู่ของลูกเรือ
จำนวนวันที่ทำการบิน	Day Away From Base	จำนวนวันที่ลูกเรือทำการบิน โดยเริ่มต้นที่ฐานที่อยู่ของลูกเรือถึง วันสุดท้ายที่ลูกเรือกลับมายังฐานที่อยู่
การเดินทางเป็นผู้โดยสาร	Deadheading	การเดินทางในลักษณะของผู้โดยสารหรือลูกเรือที่ไม่ได้งาน ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ การเดินทางเป็นผู้โดยสารในเที่ยวไปจากฐานที่อยู่ เพื่อทำการบินในเที่ยวบินที่บินกลับมายังฐานที่อยู่ (prior to) และการทำการบินในเที่ยวบินที่บินออกจากฐานที่อยู่และเดินทางเป็นผู้โดยสารในเที่ยวกลับมายังฐานที่อยู่ (following) โดยการเดินทางเป็นผู้โดยสารนี้ จะเป็นส่วนหนึ่งของรอบการทำงานทั้งหมด (Total duty period)
เวลาหยุดงาน	Days Off	ช่วงเวลาที่ลูกเรือไม่ต้องปฏิบัติหน้าที่ในเส้นทางการบินใดๆ การเดินทางเป็นผู้โดยสาร (Deadheading) การฝึกจำลองการบิน (Simulator training) การฝึกภาคพื้นดิน (Ground training) และช่วงเวลาที่ทำงานบนภาคพื้นดิน (Ground duties)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อนำไปใช้ในการสามารถหาเส้นทางการบินของนักบิน ได้อย่างเหมาะสม สะดวก และรวดเร็วมากขึ้น รวมทั้งเป็นไปตามกฎเกณฑ์เงื่อนไขต่างๆ ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นลดลงได้ ลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น

1.6 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

กระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบิน ที่สามารถหาเส้นทางการบินของนักบินทั้งหมด ซึ่งครอบคลุมเที่ยวบินทั้งหมดที่เปิดให้บริการ ที่มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดลดลงจากวิธีการในปัจจุบัน

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยสามารถอธิบายเป็นลำดับได้ดังนี้

1. ศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหาที่เกิดขึ้น
2. ศึกษากระบวนการทำงานของหาเส้นทางการบินของนักบินที่สายการบินใช้อยู่ในปัจจุบัน และสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน
3. ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นในการหาเส้นทางการบินของนักบิน
   - กฎเกณฑ์เงื่อนไขข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
   - เที่ยวบินที่เปิดให้บริการ
   - ประเภทของนักบิน และชนิดของเครื่องบินที่มีให้บริการ
   - วิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละเส้นทางการบินของนักบิน
4. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการ การหาเส้นทางการบินของนักบิน
5. ออกแบบกระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบินของนักบิน
   - กระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด
   - กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้อัลกอลิทึมที่ใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ในการแก้ปัญหา
6. ทดลองการใช้งานกระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบิน ตามที่ได้ออกแบบไว้
7. ประเมินผลการทำงานของกระบวนการเส้นทางการบินของนักบินที่ได้ ดังนี้

- พิจารณาเส้นทางการบินที่ได้ ว่าได้ผลครอบคลุมทุกเที่ยวบินที่เปิดให้บริการ
- เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวม ที่เกิดขึ้นจากเส้นทางการบินที่ได้จากกระบวนการกับวิธีการที่สายการบินกรณีศึกษาใช้อยู่ในปัจจุบัน

8. ทำการปรับปรุงกระบวนการ ทดสอบและประเมินผลระบบที่ปรับปรุง
9. สรุปผลที่ได้จากการดำเนินการ จัดทำรายงาน และนำเสนอผลงาน

โดยในงานวิจัยฉบับนี้ ในบทที่ 2 จะอธิบายแนวคิดวิธีการหาเส้นทางการบินโดยทั่วไป ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการหาเส้นทางการบิน บทที่ 3 จะเป็นส่วนของวิธีดำเนินการวิจัย โดยการศึกษาสภาพกระบวนการทำงานของสายการบินกรณีศึกษาว่ามีขั้นตอนการทำงาน เงื่อนไขข้อบังคับของเส้นทางการบินอย่างไร การออกแบบกระบวนการแก้ปัญหา การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล และอธิบายขั้นตอนของการแก้ปัญหาโดยละเอียด บทที่ 4 จะเป็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัย บทที่ 5 เป็นการทดลองปรับปรุงเงื่อนไขเพื่อให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ในระยะเวลาที่น้อยลง และในบทที่ 6 ทำการสรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีการจัดเส้นทางการบิน

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ สามารถสรุปลักษณะปัญหาการจัดตารางการทำงานของลูกเรือได้ดังนี้

การจัดตารางการทำงานของลูกเรือ (Crew Scheduling) สามารถอธิบายได้เหมือนกับปัญหาการมอบหมายกลุ่มบุคคลให้กับงานใดๆ โดยมีเป้าหมายที่จะครอบคลุมทุกๆ งาน โดยที่มีค่าใช้จ่ายในการจ้างงานต่ำที่สุด รวมทั้งอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น เงื่อนไขทางด้านความปลอดภัย เงื่อนไขด้านแรงงาน เป็นต้น สำหรับปัญหาการจัดตารางการบินของนักบินนั้น เป็นปัญหาการวางแผนการทำงาน เนื่องจากสายการบิน จะมีตารางการบินที่แน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลาหนึ่ง รวมทั้งลูกเรือของสายการบิน มีเงินเดือนที่สูง การปรับปรุงตารางการทำงานของนักบินให้สามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นลงได้ จึงมีความสำคัญ

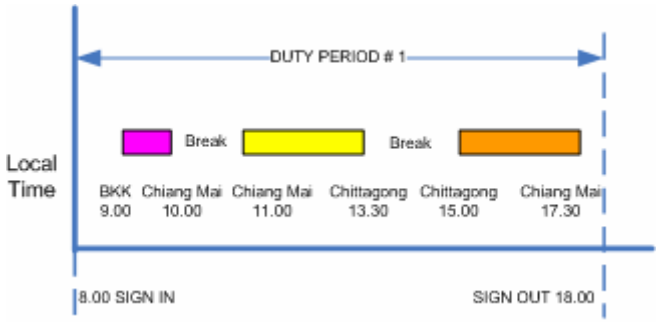
ในการจัดตารางการทำงานของนักบินนั้น จะทำการแก้ปัญหาแยกตามชนิดของเครื่องบินชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากนักบินแต่ละคนจะสามารถบินเครื่องบินได้เพียงหนึ่งชนิด หรือเครื่องบินที่มีชนิดของรุ่นที่ใกล้เคียงกัน (Fleet Family) เท่านั้น

ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดตารางการทำงานของนักบินคือ เที่ยวบินต่างๆ ที่เปิดให้บริการ ที่จะต้องจัดนักบินให้ครอบคลุม เที่ยวบินจะถูกรวมเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อที่จะสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ (Duty periods) หมายถึงลำดับของเที่ยวบินที่ประกอบขึ้นในช่วงเวลาทำงานช่วงหนึ่งของนักบิน ซึ่งประกอบด้วยเวลาพัก (Break) และถูกแยกออกจากกันด้วยเวลาพักผ่อน (Rest Period) คาบการปฏิบัติหน้าที่หลายๆ เส้นทางถูกสร้างเป็นเส้นทางการบินของนักบิน (Pairing) ซึ่งอาจประกอบด้วยหนึ่งวันทำงานหรือมากกว่า ซึ่งมีจุดเริ่มต้นที่ฐานที่อยู่ของนักบิน และสิ้นสุดที่ฐานที่อยู่ของนักบิน จากนั้นจึงนำเส้นทางการบินหลายๆ ชุด ซึ่งมีเวลาหยุดงาน (Days Off) คั่นระหว่างเส้นทางการบินสองชุดใดๆ มาประกอบกันเป็นตารางการบินของลูกเรือ (Schedules) โดยสาเหตุที่ไม่สามารถนำเที่ยวบินมาสร้างเป็นเส้นทางการบินของนักบิน (Pairing) ได้ในทันที เนื่องจากเวลาระหว่างเที่ยวบินสองเที่ยวบินมี 2 กรณีด้วยกันคือกรณีที่เป็นเวลาพัก (Break) และกรณีที่เป็นเวลา

พักผ่อน (Rest Period) ทำให้การนำเที่ยวบินมาสร้างเป็นเส้นทางการบินของนักบินนั้น มีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่าการนำเที่ยวบินไปสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ก่อน แล้วจึงนำคาบการปฏิบัติหน้าที่ ไปสร้างเป็นเส้นทางการบินของนักบินต่อไป โดยสามารถอธิบายความหมายของส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

2.1.1 **คาบการปฏิบัติหน้าที่** (Duty Periods)

คือลำดับของเที่ยวบินที่สามารถบินได้โดยนักบิน คนเดียวภายในหนึ่งวันทำงาน โดยเที่ยวบินต่างๆ จะต้องสามารถเรียงต่อกันในสถานที่และเวลาที่เป็นไปได้ โดยมีข้อกำหนดที่ต้องการที่จะให้เกิดเวลาว่างน้อยที่สุด (Minimum Idle Time) ในระหว่างเที่ยวบินสองเที่ยวบินที่ต่อเนื่องกัน และจะต้องมีจำนวนชั่วโมงที่บินทั้งหมด (Block Time) ไม่เกินที่กำหนด ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่ อาจเกิดจากจำนวนชั่วโมงบินทั้งหมดที่ทำการบิน หรือค่าใช้จ่ายขั้นต่ำที่ถูกกำหนดไว้ ดังตัวอย่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ในรูปที่ 2.1 นี้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคาบการปฏิบัติหน้าที่

2.1.2 **เส้นทางการบิน** (Pairing)

คือลำดับของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เรียงต่อกัน โดยทั่วไปแล้วคาบการปฏิบัติหน้าที่ จะมีสนามบินที่เป็นจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางที่ไม่ใช่ฐานที่อยู่ของนักบิน ทำให้นักบินไม่สามารถกลับมายังฐานที่อยู่ได้เมื่อสิ้นสุดคาบการปฏิบัติหน้าที่ ทำให้ต้องมีช่วงเวลาพักผ่อน (Rest Period) ซึ่งอาจเป็นการพักผ่อนข้ามวัน (Layover) จนกว่าจะเริ่มการทำงานของคาบการปฏิบัติหน้าที่ในวันถัดไป ดังนั้นเส้นทางการบิน จึงประกอบไปด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่หลายๆ ชุด และเวลาพักผ่อน (Rest Period) ซึ่งคาบการปฏิบัติหน้าที่แรกสุด จะต้องมีจุดเริ่มต้นที่ฐานที่อยู่ (Home Base) ของนักบิน และคาบการปฏิบัติหน้าที่สุดท้ายจะต้องมีจุดปลายทางเป็นฐานที่อยู่ของนักบินเช่นกัน ดังตัวอย่างรูปที่ 2.2 และในแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่ จะต้องมีจุดเริ่มต้นที่สนามบินเดียวกับจุดปลายทางของคาบการปฏิบัติหน้าที่ก่อนหน้านั้น เส้นทางการบิน จะมีเงื่อนไขที่

เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น จำนวนคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่มากที่สุด (Maximum Number of Duties) ที่เป็นไปได้ เงื่อนไขของเวลาพักผ่อนที่น้อยที่สุดและมากที่สุดระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ (Minimum and Maximum Amount of Fest) และระยะเวลาทำงานทั้งหมดของเส้นทางการทำงาน (Time-Away-From-Base) ต้องไม่เกินที่กำหนด ค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบินจะประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายรวมของทุกคาบการปฏิบัติหน้าที่และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากช่วงเวลาพักผ่อน

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเส้นทางการบินโดยมีกรุงเทพฯ (BKK) เป็นฐานที่อยู่ของลูกเรือ

2.1.3 **ตารางการทำงาน** (Schedules)

คือเส้นทางการบินหลายๆ ชุดที่เรียงต่อกัน โดยมีเวลาหยุด (Time Off) เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างเส้นทางการบินใดๆ ตารางการทำงานนี้จะเป็นตารางการทำงานเฉพาะบุคคล ซึ่งจะแตกต่างกันออกไป โดยตารางการทำงานนี้จะรวมถึงวันหยุด (Vacation Time) เวลาฝึกอบรม (Training Time) และอื่นๆ ขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคล โดยในส่วนนี้จะมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องเช่น จำนวนชั่วโมงทำงานที่มากที่สุดในแต่ละเดือน (Maximum Monthly Flying Time) จำนวนคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่มากที่สุด (Maximum Duty Time) แล้วจำนวนวันหยุดติดต่อกันขั้นต่ำ (Minimum Number of Consecutive Days Off) และเวลาพักผ่อนขั้นต่ำระหว่างเส้นทางการบินใดๆ (Minimum Rest) เป็นต้น

ปัญหาการจัดตารางการทำงานของนักบิน โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการหาเส้นทางการบิน (Crew Pairing Problem) การเลือกชุดของเที่ยวบินต่างๆ โดยจะครอบคลุมแต่ละเที่ยวบินเพียงครั้งเดียวเท่านั้น และส่วนที่สองคือส่วนการมอบหมายคนให้กับเส้นทางการบิน (Crew Assignment Problem) คือจะทำการเลือกเส้นทางการบิน รวมทั้ง วันหยุดและช่วงเวลาฝึกอบรม ให้กับนักบินเฉพาะบุคคล โดยในงานวิจัยนี้จะครอบคลุมปัญหาการหาเส้นทางการบินเท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2 **การหาเส้นทางการบิน** (Crew Pairing Problem)

โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบหลักๆ ด้วยกัน

1. ปัญหารายสัปดาห์ (Weekly Problem)

ในปัญหารายสัปดาห์ เราทำการหาเส้นทางการบินชุดต่างๆ ซึ่งให้ผลซ้ำกันเป็นสัปดาห์ๆ โดยเส้นทางการบินที่เริ่มต้นที่ช่วงท้ายของสัปดาห์ จะสามารถกลับมาเชื่อมต่อกับเที่ยวบินที่เป็นช่วงต้นของสัปดาห์ได้ ซึ่งมีแนวคิดในการพิจารณา 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกทำการพิจารณาเป็นลักษณะที่เรียกว่า Daily Problem ในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณากลุ่มของเที่ยวบินซึ่งทำการบินอย่างน้อย 4 วันต่อสัปดาห์ โดยจะพิจารณาเที่ยวบินเหล่านี้เสมือนกับว่าเป็นเที่ยวบินที่ทำการบินทุกวัน เส้นทางการบินที่ได้ในขั้นตอนนี้ จะมีสมมติฐานที่ว่าสามารถทำซ้ำได้ทุกวัน ซึ่งเป็นการประมาณค่าที่ดีเนื่องจากเที่ยวบินส่วนใหญ่จะทำการบินทุกวัน มีการยกเว้นวันหยุดสุดสัปดาห์เพียงเล็กน้อย

คำตอบที่ได้จาก Daily Problem นี้ ยังไม่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ในความเป็นจริง เนื่องจากได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าทุกๆเที่ยวบิน ทำการบินทุกวันในสัปดาห์ โดยที่ในความเป็นจริงแล้วเที่ยวบินหลายๆ เที่ยวบินไม่ได้ทำการบินทุกวัน (Broken Pairings) ดังนั้นจึงมีขั้นตอนที่สอง Weekly Exceptions Problem เป็นการสร้างเส้นทางการบินซึ่งทำการพิจารณาเที่ยวบินที่ไม่ได้ทำการบินทุกวันเข้ามาด้วย ซึ่งในลักษณะปัญหาแบบนี้ จำเป็นต้องมีการรวมเอาเที่ยวบินที่ให้นักบินโดยสาร แต่ไม่ได้ทำงาน (Deadhead Flight) เข้ามาพิจารณาด้วย เพื่อทำให้คำตอบที่ได้จาก Weekly Exceptions Problem นี้ เป็นคำตอบที่ดี

2. ปัญหาแบบรายวัน (Dated Problem)

เป็นการพิจารณาเที่ยวบินแบบ เฉพาะเจาะจงวันทำงานของเดือน โดยทั่วไปจะใช้ในการพิจารณากรณีที่เป็นช่วงการเชื่อมต่อตารางการทำงานในแต่ละเดือนหรือแต่ละรอบการเปลี่ยนแปลงตารางการเที่ยวบิน (Transition Problem) ทำให้ต้องพิจารณาเป็นรายวัน ว่าจะทำการเชื่อมต่อตารางการทำงานอย่างไร ให้เป็นไปตามเงื่อนไข

2.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การหาเส้นทางการบินเป็นลักษณะปัญหาแบบการแบ่งห้อง (Set partitioning problem) โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พื้นฐานดังนี้

กำหนดให้ F เป็นกลุ่มของเที่ยวบินที่ต้องการพิจารณา

P เป็นกลุ่มของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด

Y_p คือตัวแปรตัวสินใจ ซึ่งจะเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทางการบิน p ถูกเลือก และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

a_{iP} คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร Y_p ใดๆในแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,F$

C_p คือค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน p

สมการวัตถุประสงค์

$$Min \quad \sum_{p \in P} C_p Y_p$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_{p \in P} a_{ip} Y_p = 1 \qquad \forall i \in F$$

$$Y_p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P$$

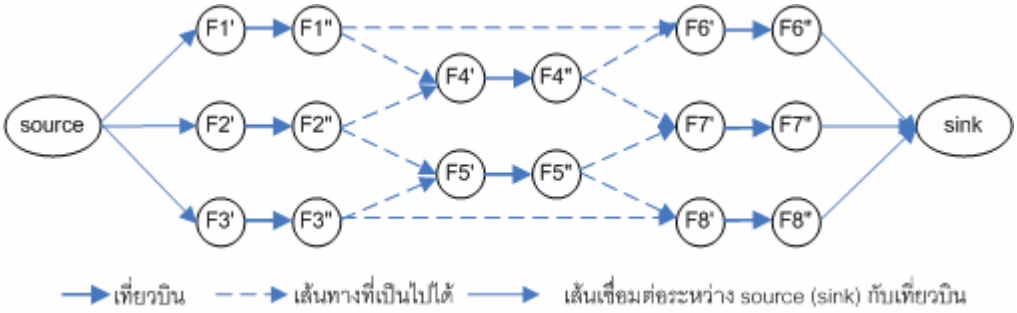
โดยแบบจำลองข้างต้นนี้ จำเป็นต้องมีเส้นทางการบินทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ที่ชัดเจน การสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดทำได้ยาก เนื่องจากลักษณะของปัญหาและเงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และที่สำคัญ จำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมาก ตัวอย่างเช่นเที่ยวบินจำนวน 700 เที่ยวบิน สามารถสร้างเป็นเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวนหลายล้านเส้นทางการบิน การใช้เพียงแบบจำลองดังกล่าวเพื่อทำการหาเส้นทางการบินเพียงอย่างเดียว จะไม่สามารถทำได้หากจำนวนเที่ยวบินที่ทำการพิจารณามีจำนวนมาก จึงต้องมีวิธีการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดก่อน จึงจะสามารถนำแบบจำลองนี้มาแก้ปัญหาได้

2.2.2 การสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ (Pairing Generation)

การใช้โครงสร้างโครงข่ายในการสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้ (Network Structure) ประกอบไปด้วย 2 แบบหลักๆ ด้วยกันคือ โครงข่ายเที่ยวบิน (Flight Network) และโครงข่ายคาบการปฏิบัติหน้าที่ (Duty Period Network)

โครงข่ายเที่ยวบิน (Flight Network) แสดงถึงความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อกันระหว่างเที่ยวบินใดๆ เส้นทางการบินของนักบินใดๆ สามารถแสดงให้เห็นได้จาก เส้นทางบนโครงข่าย (Network Path) แต่มีเพียงไม่กี่เส้นทางเท่านั้นที่เป็นไปตามเงื่อนไข โดยลักษณะของ

โครงข่ายเที่ยวบิน จะมีจุด (Node) แต่ละจุดแทนสนามบินและเวลาออกของจุดเริ่มต้น และจุดปลายทางและเวลาถึงของแต่ละเที่ยวบิน และมีลูกศรแทนเที่ยวบิน ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งประยุกต์มาจาก Yan [5] โดยในโครงข่ายเที่ยวบินนี้ จะมีลูกศรที่แทนเที่ยวบินที่ให้นักบินโดยสารแต่ไม่ได้ทำงาน (Deadhead) รวมอยู่ด้วย เพื่อเป็นการสร้างเส้นทางที่มีโอกาสที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการพิจารณาเพียงเที่ยวบินที่มีอยู่เท่านั้น ซึ่งจะใช้อัลกอลิทึมหาระยะทางที่สั้นที่สุด เพื่อหาเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด จุดที่เป็นจุดเริ่มต้น (Source Node) คือจุดที่เป็นฐานที่อยู่ของนักบิน ซึ่งจะเชื่อมต่อกับจุดที่เป็นจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่มีสนามบินเดียวกับฐานที่อยู่ของนักบินนั้น และมีจุดปลายทาง (Sink Node) เป็นจุดฐานที่อยู่ของนักบินเช่นกัน และจะเชื่อมต่อกับจุดปลายทางของเที่ยวบินที่เป็นสนามบินเดียวกับฐานที่อยู่ของนักบินเช่นกัน และนอกจากลูกศรที่แทนเที่ยวบินต่างๆ แล้ว จะมีลูกศรที่แสดงความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อระหว่างเที่ยวบินใดๆ โดยจะต้องมีจุดเชื่อมที่เป็นสนามบินเดียวกัน และวันเวลาของเที่ยวบินที่สอง จะต้องทำการบินหลังจากที่เที่ยวบินที่หนึ่งทำการบินเสร็จสิ้นแล้ว รวมทั้งเป็นไปตามกฎเกณฑ์เงื่อนไขต่างๆ ด้วย



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโครงข่ายเที่ยวบิน (Flight Network)

โครงข่ายคาบการปฏิบัติหน้าที่ (Duty Period Network) มีลักษณะคล้ายกับโครงข่ายเที่ยวบิน แต่ลูกศร (Arc) จะแทนด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆ และจุด (Node) จะแทนจุดเริ่มของคาบการปฏิบัติหน้าที่ และจุดปลายทางของคาบการปฏิบัติหน้าที่ และจะมีลูกศรที่แสดงความไปได้ในการเชื่อมต่อระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ โดยมีเงื่อนไขคล้ายกับโครงข่ายเที่ยวบิน ซึ่งการสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้นั้น สามารถสร้างได้จากทั้งโครงข่ายเที่ยวบินหรือโครงข่ายคาบการปฏิบัติหน้าที่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการสร้างเส้นทางการบิน

แต่ถึงแม้ว่าจะสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้นเพียงอย่างเดียว อาจไม่สามารถหาคำตอบได้ เนื่องจากจำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมาก จึงต้องมีการนำอัลกอลิทึมอื่นๆ เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา เช่น

การนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เข้ามาใช้ในการหาคำตอบ โดยวิธีการนี้จะทำการพิจารณาเส้นทางที่เป็นไปได้ทีละส่วน แต่ผลคำตอบที่ได้จากการนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์เข้ามาใช้โดยตรงนั้น อาจไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด ที่เป็นจำนวนเต็มได้ อัลกอลิทึมที่มีการประยุกต์นำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์เข้ามาใช้ในการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้แก่ วิธีการบรานช์แอนด์ไพรซ์ (Branch and Price) ซึ่งเป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยากและมีซับซ้อนในการนำมาประยุกต์ใช้ ดังนั้นเพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม จึงนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์เข้ามาประยุกต์ใช้กับการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มโดยวิธีบรานช์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound) ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการโดยละเอียดในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อไป

เมื่อนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เข้ามาใช้ในการหาเส้นทางการบินของนักบิน จะทำให้สามารถหาเส้นทางการบินของนักบินที่ครอบคลุมเที่ยวบินทุกเที่ยวบินเพียงครั้งเดียว ซึ่งมีค่าใช้จ่ายรวมของแต่ละเที่ยวบินที่ไม่สูงเกินความจำเป็น

2.3 การก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation)

Bradley [10] ได้กล่าวไว้ว่าการก่อกำเนิดสดมภ์ได้ถูกนำเสนอโดย Gilmore and Gomory (1961) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ (Large-Scale Problem) นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่สามารถจัดสร้างให้อยู่ในรูปของปัญหาหลัก (Master Problem) ที่มีจำนวนตัวแปรมากๆ มีเงื่อนไขบังคับน้อย และปัญหาย่อย (Subproblem) ได้ อาทิเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (ปัญหาหลัก คือ การตัดสินใจเลือกว่าจะทำการขนส่งสินค้าโดยใช้เส้นทางใดบ้าง ปัญหาย่อย คือ การสร้างเส้นทางที่สามารถขนส่งสินค้าได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด(Route)) ปัญหาการจัดตารางลูกเรือ (Crew Scheduling Problem) (ปัญหาหลัก คือ การตัดสินใจเลือกว่าจะใช้เส้นทางการบินของนักบินใดบ้างมาจัดตารางการบิน(Scheduling) ปัญหาย่อย คือ เส้นทางการบินของนักบินในแต่ละครั้ง (Pairing)) ปัญหาการตัด (Cutting Stock Problem) (ปัญหาหลัก คือ การตัดสินใจเลือกว่าจะตัดในรูปแบบต่างๆ เป็นจำนวนเท่าไร ปัญหาย่อย คือ การสร้างรูปแบบในการตัด(Pattern)) เป็นต้น ซึ่งจะทำการแก้ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร (Restricted Master Problem) แทนการแก้ปัญหาหลัก ที่มีตัวแปรครบทุกตัว

กำหนดให้ x_j; $j \in \{1,\ldots,n\}$ เป็นตัวแปรทั้งหมดที่ต้องตัดสินใจของปัญหาหลัก ที่มีเงื่อนไขบังคับทั้งสิ้น m เงื่อนไข จะสามารถจัดสร้างปัญหาหลัก และปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรไว้ที่ J ตัว ได้ดังนี้

ปัญหาหลัก

Objective $z^* = Max\ z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + ... + c_n x_n$

Subject to :

$$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + ... + a_{in} x_n = b_i \qquad \forall i; i \in \{1,..,m\}$$
$$x_j \geq 0 \qquad \forall j; j \in \{1,..,J\}$$

ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรไว้ที่ J ตัว

Objective $z^J = Max\ z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + ... + c_J x_J$

Subject to :

$$a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + ... + a_{iJ} x_J = b_i \qquad \forall i; i \in \{1,..,m\}, \pi_i^J$$
$$x_j \geq 0 \qquad \forall j; j \in \{1,..,J\}$$

โดยที่ a_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_j ใดๆในแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,m\}$

b_i คือ ขอบเขตทางด้านขวาในแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,m\}$

c_j คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_j ในสมการวัตถุประสงค์ $j \in \{1,\ldots,m\}$

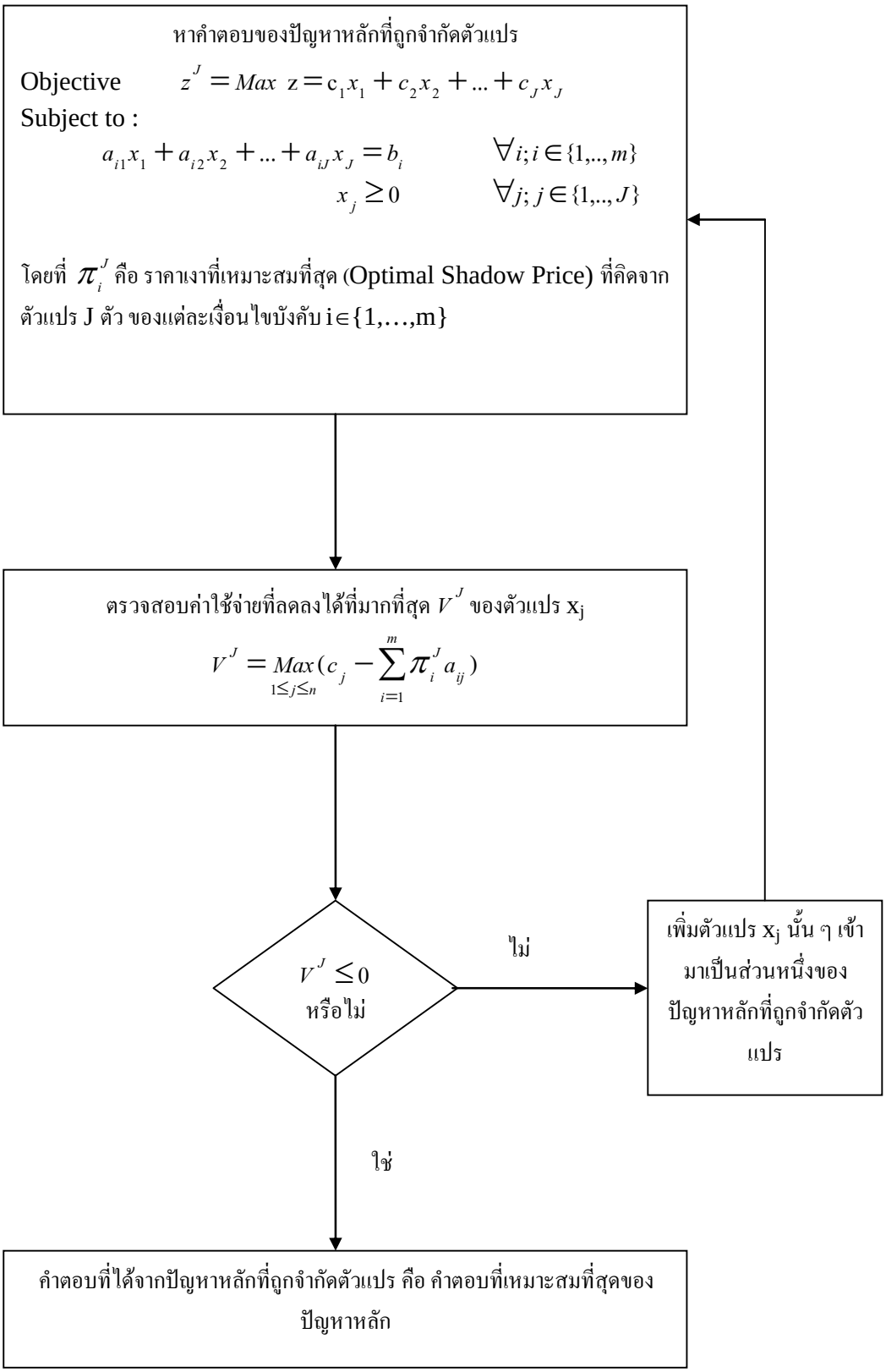
π_i^J คือ ราคาเงาที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Shadow Price) ที่คิดจากตัวแปร J ตัว ของแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,m\}$

หลักการในการแก้ปัญหาของ การก่อกำเนิดสดมภ์ คือ ในกรณีที่ต้องการคำตอบที่มีค่ามากที่สุด ถ้าทุก ๆ ตัวแปร x_j (ปัญหาย่อย) ที่ถูกกำจัดออกไปจากปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (reduced cost) $\overline{c_j}$ ซึ่งหาได้จาก $\overline{c_j} = c_j - \sum_{i=1}^{m} \pi_i^J a_{ij}$ ไม่มากกว่าศูนย์ คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการแก้ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรนั้น จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาหลัก แต่ถ้ามีตัวแปร x_j ใด ๆ ที่ถูกกำจัดออกไปจากปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้มากกว่าศูนย์ จะต้องนำตัวแปร x_j ที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร พร้อมทั้งทำการหาคำตอบของปัญหาที่เพิ่มตัวแปรเข้ามาใหม่ แล้วย้อนกลับไปตรวจสอบว่ามีตัวแปร x_j ใด ๆ ที่ถูกกำจัดออกไปจากปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ มากกว่าศูนย์อีกหรือไม่ ถ้ามีจะต้องนำตัวแปร x_j ที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ในขณะนั้น เข้ามาร่วมในการหาคำตอบอีกครั้ง และจะทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง ไม่มีตัวแปร x_j ใด ๆ ที่ถูกกำจัดออกไปจาก ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้มากกว่าศูนย์ ซึ่งคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการแก้ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร นั้นจะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาหลักด้วย

ประสิทธิภาพในการหาคำตอบโดยใช้วิธี การก่อเกิดสดมภ์จะขึ้นกับ

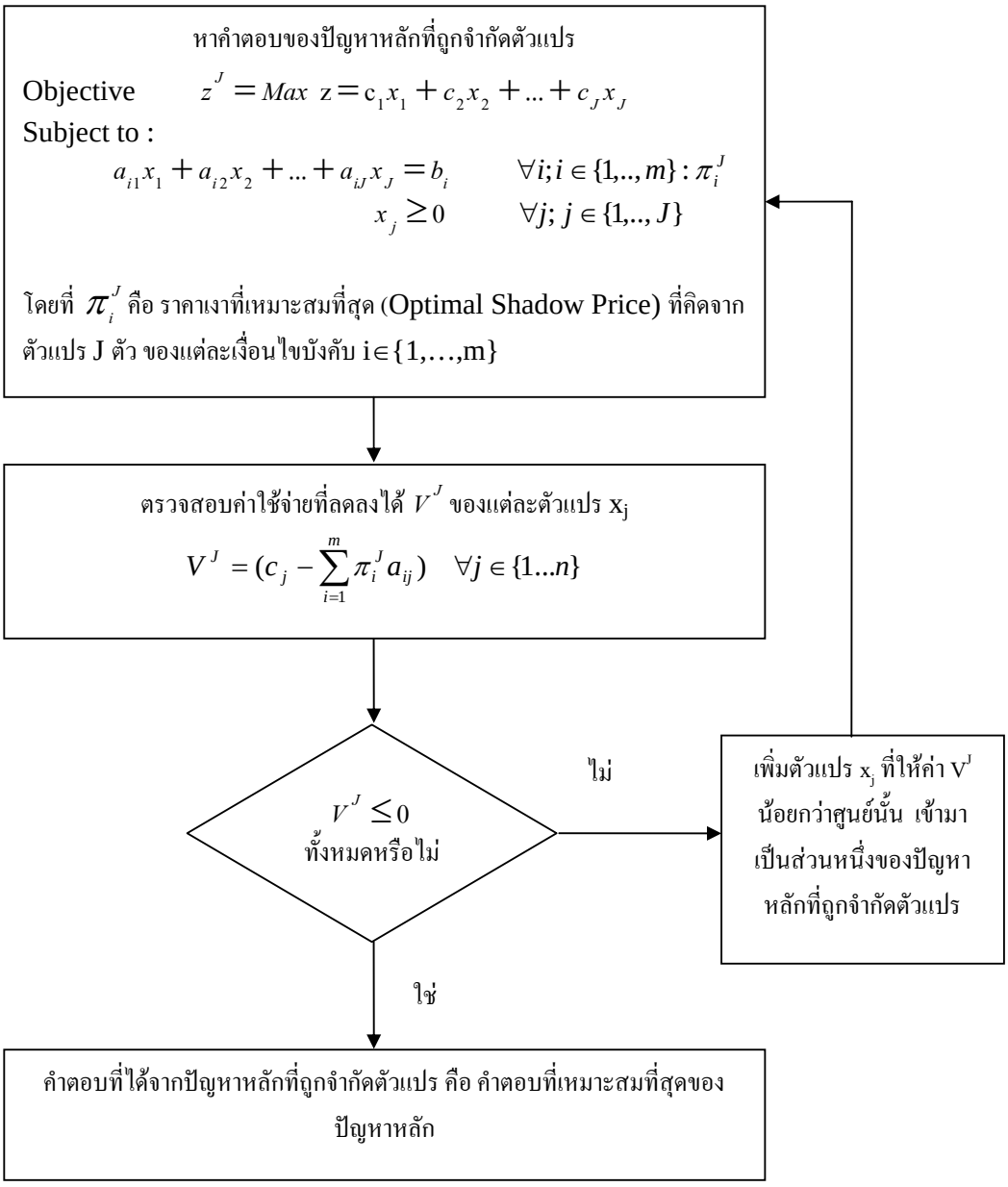
- จำนวนครั้งที่ย้อนกลับมาหาคำตอบในปัญหาที่ถูกจำกัดของตัวแปร
- วิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของทุก ๆ ตัวแปร x_j

สามารถอธิบายวิธีการหาคำตอบของ การก่อกำเนิดสดมภ์ในรูปของ แผนภูมิการไหล (Flow chart) ได้ดังรูปที่ 2.4 นี้



รูปที่ 2.4 แผนภูมิการไหลวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์สำหรับปัญหา Maximization แบบตัวแปรเดียว

วิธีการดังกล่าว เป็นวิธีการนำตัวแปร x_j ที่ถูกกำจัดออกไปจากปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร ซึ่งยังมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้มากกว่าศูนย์ เข้ามาพิจารณาในปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร เพื่อหาคำตอบใหม่ ทีละตัวแปรเท่านั้น โดยจะเลือกตัวแปร x_j ที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้มากที่สุดเท่านั้น แต่ยังมีอีกวิธีหนึ่งคือการนำตัวแปร x_j เข้ามาพิจารณาในปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรเพื่อหาคำตอบใหม่ จำนวนมากกว่า 1 ตัวแปรในแต่ละครั้ง คือนำตัวแปร x_j ที่ถูกกำจัดออกไปจากปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรจำนวนหนึ่ง ที่ยังมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้มากกว่าศูนย์ เข้ามาพิจารณาใน ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร เพื่อหาคำตอบใหม่ ดังนี้แผนภูมิการไหล (Flow chart) รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภูมิการไหลวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์สำหรับปัญหา Maximization แบบหลายตัวแปร

2.4 วิธีการบรานซ์แอนด์ไพรซ์ (Brand and Price)

วิธีการบรานซ์แอนด์ไพรซ์ (Brand and Price) เป็นหลักการทั่วไปของกำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม (Integer Programming) ซึ่งนำหลักการของวิธีบรานซ์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound) มาประยุกต์ใช้ เพื่อรองรับปัญหาที่เป็นกำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม (Integer Programming) หลักการพื้นฐานของวิธีการบรานซ์แอนด์ไพรซ์ คือการตัดตัวแปรออกจากกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย (LP Relaxation) เพราะการมีจำนวนตัวแปรมากเกินไปทำให้การหาคำตอบไม่มีประสิทธิภาพ และผลลัพธ์ที่ได้จากแก้ปัญหานั้น ตัวแปรส่วนใหญ่ของแบบจำลองจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นเพื่อที่จะตรวจสอบความเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ปัญหาย่อย (Subproblem) ซึ่งเรียกว่า ปัญหาไพรซ์ซิ่ง (Pricing Problem) จะถูกแก้โดยการพยายามที่จะระบุถึงตัวแปรซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Cost) ที่ดี ถ้าหากว่าตัวแปรเหล่านี้ถูกค้นพบ ปัญหาจะถูกหาคำตอบใหม่ที่ดีกว่าคำตอบเดิม วิธีการกิ่ง (Branching) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีตัวแปรที่ดีถูกค้นพบ แต่คำตอบที่ได้ยังไม่สามารถตอบสนองต่อเงื่อนไขของการเป็นจำนวนเต็มได้ วิธีการการแบ่งกิ่งและคุณค่าจะนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) ไปใช้ที่ทุกๆ จุด (Node) บนผังต้นไม้ของบรานซ์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound Tree)

วิธีการบรานซ์แอนด์ไพรซ์ ไม่ได้เป็นการรวมระหว่างการทำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์กับวิธีบรานซ์แอนด์บาวด์โดยตรง แต่เป็นการประยุกต์ทำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ที่แต่ละบัพ (Node) ที่มีการแตกกิ่ง (Branch) ไป เพื่อการหาคำตอบที่เป็นกำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม (Integer Programming)

แนวคิดของวิธีการบรานซ์แอนด์ไพรซ์ (Brand and Price) สามารถแสดงได้ในตัวอย่างของปัญหาการมอบหมายงานทั่วไป (Generalized assignment problem (GAP)) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของปัญหาเพื่อการหากำไรที่มากที่สุดในการมอบหมายงานจำนวน m งาน ไปยัง n เครื่องจักร โดยที่แต่ละงานจะถูกมอบหมายให้เครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งเท่านั้น โดยขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตเครื่องจักรนั้นๆ โดยในกรณีที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่เหมือนกัน สามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหาได้ดังนี้

Objective $\max \sum_{1\le i\le m}\sum_{1\le j\le n} p_{ij} z_{ij}$

Subject to

$$\sum_{1\le j\le n} z_{ij} = 1 \qquad \forall i = 1,...,m$$

$$\sum_{1\le i\le m} w_{ij} z_{ij} \le d_j \qquad \forall j = 1,...,n$$

$$z_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1,...,m, \forall j = 1,...,n$$

โดยที่ p_{ij} คือ กำไรที่ได้จากการมอบหมายงานที่ i ∈ {1,…,m}ให้กับเครื่องจักรที่ j ∈{1,…,n}

w_{ij} คือ ปริมาณกำลังการผลิตของเครื่องจักร j ∈{1,…,n} ที่ใช้ในการทำงานที่ i ∈ {1,…,m}

d_j คือ ความกำลังการผลิตของเครื่องจักร j ∈{1,…,n}

z_{ij} คือ ตัวแปรในการตัดสินใจ เท่ากับ 1 เมื่องานที่ i ∈ {1,…,m} มอบหมายให้เครื่องจักรที่ j ∈{1,…,n} ทำการผลิต และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

โดยสามารถดัดแปลงสมการทางคณิตศาสตร์นี้ โดยใช้ Dantzig-Wolfe Decomposition กับปัญหานี้จะได้ว่าเงื่อนไขของการมอบหมายงานจะถูกระบุเป็นปัญหาหลัก (Master Problem) และเงื่อนไขกำลังการผลิตของเครื่องจักรจะถูกระบุให้เป็นปัญหาย่อย (Subproblem) ให้อยู่ในรูปแบบที่ตัวแปรสามารถแสดงถึงวิธีการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักรที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ปัญหาหลัก

Objective $\max \sum_{j\le 1\le n}\sum_{1\le k\le K} (\sum_{1\le i\le m} p_{ij} y_{ik}^{j})\lambda_k^j$

Subject to

$$\sum_{1\le j\le n}\sum_{1\le k\le K_j} y_{ik}^{j}\lambda_k^j = 1 \qquad \forall i = 1,...,m$$

$$\sum_{1\le k\le K_j} \lambda_k^j = 1 \qquad \forall j = 1,...,n$$

$$\lambda_k^j \in \{0,1\} \quad \forall j = 1,...,n, \quad \forall k = 1,...,K_j$$

โดยที่ y_{ik}^{j} เท่ากับ 1 เมื่อวิธีการในการมอบหมายที่ k ∈ {1,…,K_j} ที่มอบหมายให้กับเครื่องจักร j ∈{1,…,n} ประกอบด้วยงาน i ∈ {1,…,m} และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

λ_k^j เท่ากับ 1 เมื่อเลือกมอบหมายวิธีการที่ k ∈ {1,…,K_j} ให้กับเครื่องจักรที่ j ∈{1,…,n} และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

ปัญหาย่อย

$$\sum_{1\le i\le m} w_{ij} x_i \le d_j \qquad \forall j \in 1,...,n$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in 1,...,m$$

โดย K_j คือจำนวนวิธีการมอบหมายงานที่เป็นไปได้ทั้งหมด

เหตุผลที่ทำการพิจารณาแนวทางในการแก้ปัญหาของ GAP คือกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายของปัญหาหลัก (LP Relaxation of Master Problem) มีความรัดกุมกว่ากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายของการแก้ปัญหาโดยทั่วไป เนื่องจากคำตอบที่เป็นสัดส่วน (Fractional Solutions) จะถูกกำจัดออกไป ซึ่งการแตกปัญหาออกเป็นปัญหาที่มีขนาดเล็กลงนี้ไม่ได้ทำให้สามารถแก้ปัญหาได้เร็วขึ้น แต่จะเป็นการปรับปรุงขอบเขตของปัญหากำหนดการเชิงเส้นให้ดียิ่งขึ้น

กำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายของปัญหาหลักนี้ ยังไม่สามารถหาคำตอบโดยตรงได้สะดวก เนื่องจากจำนวนตัวแปรหรือวิธีการมอบหมายงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมาก แต่สามารถพิจารณา ในรูปแบบของกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายของปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร ซึ่งพิจารณาเพียงแค่กลุ่มย่อยของตัวแปรสามารถหาคำตอบได้โดยตรง โดยวิธีการ เช่น Simplex Method เป็นต้น อย่างไรก็ตามถ้าค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Cost) ของตัวแปรทั้งหมดที่เหลืออยู่นอกกลุ่มย่อยนั้น มีค่ามากกว่าศูนย์ หมายความว่า คำตอบที่ได้จากการปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรนั้น คือคำตอบที่ดีที่สุดของกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายของปัญหาหลัก เพื่อที่จะตรวจสอบว่าตัวแปรที่ปรากฏอยู่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้มากกว่าศูนย์ สามารถทำได้โดยการหาคำตอบของปัญหาไพร์ซิ่ง (Pricing Problem)

Objective

$$\max_{1\le j\le n} \{z(KP_j) - v_j\}$$

โดยที่ v_j คือ ราคาเงาที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Shadow Price) ของปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรของเงื่อนไขที่เครื่องจักร $j \in \{1,\ldots,n\}$ ได้รับวิธีการมอบหมายงานเพียงวิธีเดียวเท่านั้น

$z(KP_j)$ คือ ค่าของคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการหาวิธีการมอบหมายงานที่เป็นไปได้ทั้งหมด

Objective

$$\max_{1\le j\le n} \sum_{1\le j\le n} (p_{ij} - u_i) x_i$$

Subject to

$$\sum_{1\le j\le n} w_{ij} x_i \le d_j \qquad \forall i \in \{1,...,m\}$$

$$x_i^j \in \{0,1\} \quad \forall i \in \{1,...,m\}, \forall j \in \{1,...,n\}$$

โดยที่ u_i คือ เงาที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Shadow Price) ของปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรของเงื่อนไขในการมอบหมายงานที่ i ∈ {1,…,m}

ถ้าค่าของคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาคุณค่า (Pricing Problem) มีค่ามากกว่าศูนย์ จะสามารถระบุได้ว่าตัวแปรมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้มากกว่าศูนย์ ในกรณีนี้จะทำการเพิ่มตัวแปรเข้าไปในปัญหาที่ถูกจำกัดตัวแปร และทำการหาคำตอบใหม่

ในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายของปัญหาหลัก การทำปัญหาไพรซ์ซิ่ง (Pricing) หรือการทำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) จะทำการแก้ปัญหาการหาความเป็นไปได้ทั้งหมด (n Knapsack Problem) การคำนวณโดยทั่วไปจะแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นนี้โดยจะแก้ปัญหา Knapsacks ที่ได้คำตอบที่แน่นอนหรือเป็นค่าประมาณ โดยที่คอลัมน์ที่ไม่ได้เป็นพื้นฐานจะถูกเก็บหรือถูกสร้างขึ้นมาใหม่ และปัญหาหลักจะถูกแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด

วิธีการแตกกิ่ง (Branching) บนตัวแปร λ สร้างปัญหาในแต่ละกิ่ง ซึ่งตัวแปรถูกกำหนดให้เท่ากับศูนย์ จากการที่ตัวแปร y_k^j หมายถึงวิธีการที่เป็นไปได้ในการมอบหมายงานให้เครื่องจักร j ดังนั้น λ_k^j เท่ากับศูนย์ หมายถึงวิธีการมอบหมายงานนี้ จะไม่นำมาใช้ในการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักร อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้ที่ในครั้งต่อไปการหาวิธีการมอบหมายงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับเครื่องจักร j แล้วคำตอบที่ดีที่สุด อาจเป็นวิธีการที่ y_k^j ในกรณีนี้ จำเป็นต้องหาคำตอบที่ดีรองลงมาของปัญหาวิธีการมอบหมายงานที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่ระดับที่ i ของผังต้นไม้กิ่งและก้าน ต้องการหาคำตอบที่ดีลำดับที่ i ซึ่งเป็นไปได้ยาก แต่ก็มีวิธีการทั่วไป ที่สามารถแก้ปัญหาที่ยากนี้ได้ ในกรณีการแตกกิ่งบนตัวแปร λ ในปัญหาหลัก ใช้กฎการแตกกิ่งซึ่งเหมือนกับการแตกกิ่งบนตัวแปรดั้งเดิม z_{ij} เมื่อ z_{ij} เท่ากับ 1 ตัวแปรทั้งหมดในปัญหาหลักที่ไม่ได้มอบหมายงานที่ i ให้กับเครื่องจักร j จะถูกตัดออก ตัวแปร x_i จะเท่ากับ 1 ในปัญหาการหาวิธีมอบหมายงานให้เครื่องจักร j และหาก z_{ij} เท่ากับ 0 ตัวแปรทั้งหมดที่ในปัญหาหลัก ที่มอบหมายงานที่ i ให้กับเครื่องจักร j จะถูกตัดออกไป ตัวแปร x_i จะถูกกำจัดออกไปจากปัญหาการหาวิธีมอบหมายงานให้เครื่องจักร j

วิธีการบรานซ์แอนด์ไพรซ์นี้ นำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาอื่น นอกจากการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักรได้ เช่นการจัดตารางการทำงานที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการบินของลูกเรือ (Crew Scheduling) มีงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการในการแก้ปัญหาหลายวิธี โดยปัญหาการจัดตารางการบินของลูกเรือนี้เป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ (Large-scale Problem) ซึ่ง Klabjan [2] ได้นำเสนอเทคนิควิธีการในการแก้ปัญหาที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการจัดตารางการบินของลูกเรือหรือปัญหาอื่นๆ ที่มีลักษณะเป็นปัญหาการแบ่งห้องแบบผ่อนคลาย (Set Partitioning Linear Programming Relaxation) โดยใช้วิธี Parallel Primal-Dual Simplex Algorithm ซึ่งทำการหาคำตอบโดยใช้คอมพิวเตอร์หลายเครื่องพร้อมกันในการแก้ปัญหา ทำให้สามารถหาคำตอบที่เป็นปัญหาย่อย (Subproblems) ได้พร้อมกัน จึงสามารถหาคำตอบได้เร็วขึ้น โดยผู้วิจัยได้ทำการหาคำตอบจาก Matrix ขนาด 1,700 แถว 45 ล้านคอลัมน์ ซึ่งสามารถหาคำตอบได้โดยใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากหน่วยคำนวณ (Processors) 12 ตัว วิธีการ Primal-Dual algorithm นี้จะมีประสิทธิภาพในกรณีที่จำนวนของคอลัมน์มีจำนวนมากกว่าจำนวนแถวมากๆ เท่านั้น Anbil [3] นำเสนอวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการบินของลูกเรือ โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์และได้กล่าวถึงขั้นตอนที่สามารถวางแผนการดำเนินงาน เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดการด้านสายการบินให้ต่ำที่สุด แบ่งได้ดังนี้

1. การวางแผนตารางการบินของเที่ยวบินต่างๆ
2. การวางแผนการใช้เครื่องบินชนิดต่างๆ
3. การหาเส้นทางการบินของลูกเรือ
4. การมอบหมายงานให้กับลูกเรือ

โดยได้อธิบายความซับซ้อนของปัญหาการหาเส้นทางการบินของลูกเรือ ว่ามาจากปัจจัยใดบ้าง ไม่ว่าจะเป็นกฎเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนดไว้ ซึ่งต้องปฏิบัติตามนั้นมีความซับซ้อนค่อนข้างสูง การคำนวณค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบินของลูกเรือมีความสลับซับซ้อน จำนวนเส้นทางการบินของลูกเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมาก และได้นำเสนอขั้นตอนที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา โดยได้นำอัลกอลิทึมต่างๆ มาใช้ เช่น การใช้ Sprint Method คือเริ่มต้นจากการหาคำตอบของโปรแกรมเชิงเส้น โดยหาจากกลุ่มของตัวแปร โดยใช้ Optimal dual variables เพื่อหาตัวแปรทั้งหมดของปัญหาเริ่มต้น ถ้ายังมีตัวแปรที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced cost) ที่เป็นลบอยู่แสดงว่าคำตอบที่ได้ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาเริ่มต้น จะต้องทำการสร้างปัญหาใหม่ โดยปัญหาใหม่จะยังคงประกอบไปด้วยตัวแปรเดิมอยู่ แต่ทำการเพิ่มตัวแปรที่มีค่าของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่ดีกว่าเข้าไป

Minoux [4], Yan [5] ได้แนะนำให้สร้างผังของเส้นทางการบินของแต่ละวัน เพื่อนำเสนอเส้นทางการบินของลูกเรือ (Pairing) เป็นเส้นทาง (Path) บนผังต้นไม้ โดยเส้นทาง (Path) จะประกอบไปด้วยเส้นที่เป็นการทำงานในแต่ละวัน (Duty Arcs) และเส้นที่ทำงานบนพื้นดิน (Ground Arcs) ซึ่งเชื่อมต่อกัน โดยค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบิน (Pairing) จะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายในการทำงานในแต่ละวัน (Duty Arc Costs) และค่าใช้จ่ายบนพื้นดิน (Ground Arc Costs) โดยจะหาเส้นทางการบินของลูกเรือโดยใช้วิธีหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) โดยนำเส้นทางการบินที่มีค่าของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Cost) ต่ำที่สุด นำเข้าไปใส่ในปัญหา และทำการแก้ปัญหาใหม่อีกครั้ง จนกว่าการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ไม่พบค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่เป็นค่าลบอีก โดยใช้วิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดกับเงื่อนไขข้างเคียง (Shortest-Path Formulation with Side Constraints) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าค่าใช้จ่าย และกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องได้รับการพิจารณาอย่างถูกต้อง Ryan and Falkner [6] ได้นำเสนอวิธีการ Branch on follow-ons ซึ่งจะทำการกำหนดว่าเที่ยวบินหนึ่งต้องทำการบินต่อจากเที่ยวบินหนึ่งๆ อย่างแน่นอน ทำให้สามารถรวมตัวแปรที่ต้องตัดสินใจลงได้ จึงเป็นการลดขนาดของปัญหาลง Graves [7] ทำการพัฒนาระบบการจัดตารางการทำงานสำหรับลูกเรือ สำหรับสายการบิน United Airlines ระบบใหม่นี้ถูกพัฒนาเพื่อให้เกิดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงตารางเที่ยวบิน และลดค่าใช้จ่ายในการจัดตารางการทำงานสำหรับลูกเรือ โดยระบบนี้ถูกออกแบบมาสำหรับปัญหาขนาดกลาง (300 เที่ยวบินต่อวัน) และขนาดใหญ่ (1,700 เที่ยวบินต่อวัน) ระบบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วน Generator และ ส่วน Optimizer โดยส่วน Generator จะทำหน้าที่สร้าง เส้นทางการบินของนักบิน (Pairing) ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่นำไปเข้าส่วนของ Optimizer ที่เป็นปัญหาแบบ Set Partitioning Integer Programming Problem โดยส่วน Optimizer จะทำหน้าที่หาชุดของเส้นทางการบินของนักบิน (Pairing) ที่ครอบคลุมทุกเที่ยวบิน แต่ละเที่ยวบินเพียง 1 ครั้งเท่านั้น และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด เมื่อพบคำตอบที่เป็นไปได้แล้ว ระบบจะย้อนกลับไปเริ่มต้นที่ส่วน Optimizer อีกครั้ง เพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ที่ดีกว่า

Anbil [8] ทำการศึกษาสายการบิน American Airlines (AA) ซึ่งประกอบด้วยนักบิน 25,000 คน ทำการหาคำตอบด้วยโปรแกรม Trip Reevaluation and Improvement Program (TRIP) โดยมีสิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมจากกฎเกณฑ์และค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบินของลูกเรือ คือการพิจารณาจำนวนลูกเรือที่มีอยู่ที่แต่ละฐานที่อยู่ของลูกเรือ (Crew base) โดยจะพิจารณาถึงจำนวนชั่วโมงบินที่มากและน้อยที่สุดที่แต่ละฐานที่อยู่ลูกเรือมีอยู่ โดยพิจารณาให้ลูกเรือมีการเปลี่ยนเครื่องบินให้น้อยที่สุด และพิจารณาเลือกเส้นทางการบินที่มีระยะเวลาการ

บินน้อยก่อน มากกว่าการที่จะเลือกเส้นทางการบินที่มีระยะเวลาการบินมากกว่า เนื่องจากหากมีกรณีฉุกเฉินจนต้องทำการจัดตารางการบินใหม่ (Reschedule) เส้นทางการบินที่มีระยะเวลาการบินน้อยกว่าจะสามารถจัดตารางการบินใหม่ได้สะดวก และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า และผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหาโดยเริ่มต้นจากการกำหนดให้ในแต่ละวัน มีเที่ยวบินที่เหมือนกันทุกวัน และทำการหาเส้นทางการบินในแต่ละวัน ซึ่งจะทำให้ได้เส้นทางการบินที่เหมือนกันในทุกๆวัน แล้วจึงตัดเที่ยวบินที่ไม่ได้ทำการบินในช่วงสุดสัปดาห์ออก และผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยการหาคำตอบเริ่มต้นออกมาก่อนโดยอาจพิจารณาจากตารางการบินก่อนหน้านั้น แล้วจึงทำการหาคำตอบ โดยทำการหาคำตอบทีละส่วน (Subproblem) เพื่อทำการปรับปรุงคำตอบเริ่มต้น ขั้นตอนแรกจะทำการเลือกส่วนที่จะหาคำตอบ (Subproblem Selection) โดยทำการเลือกจำนวนเส้นทางการบินของลูกเรือประมาณ 5-10 เส้นทาง (คอลัมน์) ก่อน แล้วทำการเพิ่มเส้นทางการบินของลูกเรือ (Pairing Generation) เข้าไปแล้วทำการหาคำตอบที่ดีที่สุด หากมีกลุ่มของเส้นทางการบินของลูกเรือที่สามารถครอบคลุมเที่ยวบินได้เหมือนกัน แต่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า เส้นทางการบินของลูกเรือชุดใหม่จะแทนที่เส้นทางการบินเดิม โดยแต่ละส่วนที่จะหาคำตอบ (Subproblem) นั้น จะมีขนาดได้ไม่เกิน 100 เที่ยวบิน (แถว) และ 10,000 เส้นทางการบินที่เป็นไปได้ (คอลัมน์) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทดลองโดยการสร้าง 12 ล้านเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วทำการหาคำตอบโดยตัดเส้นทางที่ซ้ำ หรือซ้อนทับกันออก และเลือกเฉพาะเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าไว้ จนเหลือเส้นทางที่เป็นไปได้ประมาณ 5.5 ล้านเส้นทาง แล้วจึงใช้วิธี Sprint method ในการหาคำตอบ โดยจำนวนของคอลัมน์ที่เหมาะสมในแต่ละส่วนที่จะหาคำตอบ (Subproblem) ถูกพิสูจน์ว่าอยู่ที่ประมาณ 5,000 คอลัมน์

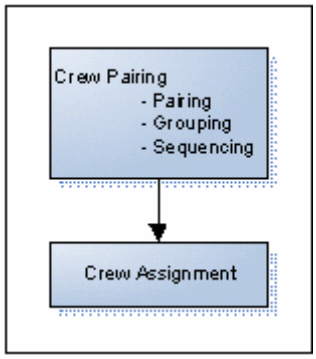
Klabjan [9] ได้สรุปวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ไว้ วิธีการที่เป็นที่นิยม คือ วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ โดยทำการหาเส้นทางการบินที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) ซึ่งจะได้เส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำที่สุด มาเป็นตัวแปร ที่จะพิจารณาเพิ่มเข้าไป โดยมีการนำเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องนำมาพิจารณาในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดด้วย (Shortest Path Algorithm) โดยพิจารณาเงื่อนไขให้อยู่ในรูปของ Label Vector กำกับไว้บนแต่ละเส้นทาง Fisher [10] นำเสนอเทคนิค Lagrangian Decomposition ซึ่งพิจารณาในมุมมองที่ว่า ถ้าสามารถแบ่งเงื่อนไขออกเป็นเงื่อนไขที่ง่ายกับยากแล้ว หากเงื่อนไขที่ยากถูกกำจัดออกไป ปัญหาจะสามารถหาคำตอบได้ง่ายขึ้น ดังนั้นทุกๆ เงื่อนไขที่ยาก จะมีค่าความยาก (Penalty) และจะถูกนำไปคิดในสมการวัตถุประสงค์ด้วย โดยผลที่ได้จะเรียกว่า Lagrangian Relaxation ซึ่งอัลกอลิทึมเหล่านี้ สามารถช่วยให้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพของกระบวนการทำงานของกรณีศึกษาในปัจจุบัน

กรณีที่ทำการศึกษาเป็นกรณีศึกษาของสายการบินแห่งหนึ่ง ซึ่งกระบวนการจัดตารางการบินของสายการบินกรณีศึกษาในปัจจุบัน มีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การขั้นตอนการจัดตารางการบินในปัจจุบัน

3.1.2 ขั้นตอนการหาเส้นทางการบินทั้งหมด (Crew Pairing)

เป็นขั้นตอนในการหาเส้นทางการบินของนักบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางทั้งหมดที่ครอบคลุมเที่ยวบินทั้งหมดที่ให้บริการ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

3.1.2.1 การหาเส้นทางการบิน (Pairing)

ทำการหาเส้นทางการบิน โดยนำตารางการบินของสายการบิน (Traffic Program Information) ที่มีข้อมูลของเที่ยวบินที่เปิดให้บริการซึ่งมีระยะเวลา 6 เดือน นำมาหาเส้นทางการบินในแต่ละครั้ง (Pairing) หรือลำดับของเที่ยวบิน แต่ละเส้นทางการบินต้องสามารถจัดให้กับลูกเรือหนึ่งคนสามารถทำงานได้ และเส้นทางการบินที่เป็นไปได้นั้นจะต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนดโดยสามารถแบ่งเงื่อนไขในส่วนต่างๆ ดังนี้

- เงื่อนไขของแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่

แต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่ได้มาจากการนำเที่ยวบินต่างๆ มาเรียงต่อกัน ภายใต้ข้อกำหนดดังนี้

1. เที่ยวบินที่จะนำมาเรียงต่อกันกับเที่ยวบินก่อนหน้านั้น จะต้องมีจุดเริ่มต้นเป็นสถานที่เดียวกับจุดปลายทางของเที่ยวบินก่อนหน้านั้น และเวลาออกจากจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินถัดไปนั้น จะต้องอยู่หลังจากเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินก่อนหน้าเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที
2. ในแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่ จะสามารถประกอบไปด้วยเที่ยวบินได้สูงสุดจำนวน 3 เที่ยวบิน และแต่ละเที่ยวบินต้องไม่ซ้ำกัน
3. คาบการปฏิบัติหน้าที่ จะต้องมีระยะเวลาในการบิน ตั้งแต่เวลาออกของเที่ยวบินแรกในคาบการปฏิบัติหน้าที่ ถึงเวลาถึงของเที่ยวบินสุดท้ายในคาบการปฏิบัติหน้าที่ (Duty Time) ที่จำกัดดังตารางที่ 3.1 นี้

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาสูงสุดของคาบการปฏิบัติหน้าที่

จำนวนเที่ยวบินในแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่	1	2	3
เวลาสูงสุด (ชม.)	ไม่จำกัด	9.45	9.15

โดยเมื่อคาบการปฏิบัติหน้าที่มีจำนวนเที่ยวบินเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการบินสูงสุดจะถูกจำกัดให้น้อยกว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่มีจำนวนเที่ยวบินน้อยกว่า เนื่องจากนักบินจะเกิดความล้าในการทำงานเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนเที่ยวบินเพิ่มขึ้น

4. ในแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่ จะมีขีดจำกัดความล้าในการทำงานของนักบิน (Fatigue Index) เป็นขีดจำกัดในการบิน ซึ่งกำหนดไว้สูงสุด 80 หน่วยสำหรับขั้นตอนการวางแผนการจัดตารางการบิน โดยมีสูตรในการคำนวณค่าความล้าในการทำงานของนักบินดังนี้

$$F = F_{acc} + 6T + 6N$$

เมื่อ F คือ ค่าความล้าในการทำงานของนักบินของคาบการปฏิบัติหน้าที่

F_{acc} คือ ค่าความล้าในการทำงานของนักบินของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เหลืออยู่ก่อนหน้านี้

T คือ ระยะเวลาตั้งแต่เวลาออกของเที่ยวบินแรกในคาบการปฏิบัติหน้าที่เวลาถึงเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินสุดท้ายในคาบการปฏิบัติหน้าที่ (ชั่วโมง) บวกอีก 1.30 ชั่วโมง

N คือ จำนวนเที่ยวบินที่ทำการบินในคาบการปฏิบัติหน้าที่

5. ในแต่ละแต่คาบการปฏิบัติหน้าที่ ไม่จำเป็นต้องมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่ฐานที่อยู่ของลูกเรือ (Home base)

- เงื่อนไขของแต่ละเส้นทางการบิน

แต่ละเส้นทางการบินได้มาจากการนำคาบการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆ มาเรียงต่อกันภายใต้ข้อกำหนดดังนี้

1. เที่ยวบินแรกในเส้นทางการบิน จะต้องออกจากฐานที่อยู่ของลูกเรือ (Home base) และเที่ยวบินสุดท้ายจะต้องมีจุดหมายปลายทางที่ฐานที่อยู่ของลูกเรือ สำหรับสายการบินกรณีศึกษาจะมีฐานที่อยู่ของลูกเรือเป็นกรุงเทพฯ (BKK) เท่านั้น
2. คาบการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ จะสามารถนำมาเรียงต่อกันเป็นเส้นทางการบินได้ ก็ต่อเมื่อ คาบการปฏิบัติหน้าที่ถัดไป มีจุดเริ่มต้นเดียวกันกับจุดปลายทางของคาบการปฏิบัติหน้าที่ก่อนหน้านี้ แล้วจะต้องผ่านเงื่อนไขของเวลาพักผ่อนที่กำหนดไว้
3. เที่ยวบินลำดับถัดไปจะต้องออกจากสนามบินซึ่งเที่ยวบินก่อนหน้านั้นบินมาถึง
4. แต่ละเส้นทางการบินสามารถมีจำนวนคาบการปฏิบัติหน้าที่ได้สูงสุด 3 คาบการปฏิบัติหน้าที่
5. แต่ละเส้นทางการบินต้องมีระยะเวลาทำงานทั้งหมดของเส้นทางการทำงาน (Time-Away-From-Base) ไม่เกิน 5 วัน
6. เที่ยวบินในแต่ละเส้นทางการบิน ต้องไม่ซ้ำกัน
7. เงื่อนไขของเวลาพักผ่อน คือนักบินจะต้องมีเวลาว่างซึ่งไม่ได้ทำการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 11 ชั่วโมง หรืออย่างน้อยเท่ากับระยะเวลาที่ทำการ

บินในคาบการปฏิบัติหน้าที่ก่อนหน้าการพักผ่อน ขึ้นอยู่กับว่าระยะเวลาใดมากกว่ากัน

8. ค่าความล้าในการทำงานของนักบินในเส้นทางการบิน คือ ค่าความล้าในการทำงานของนักบินรวมทุกคาบการปฏิบัติหน้าที่ลบด้วยค่าความล้าที่ลดลงเมื่อได้รับการพักผ่อน ต้องมีค่าไม่เกิน 80 หน่วย

ค่าความล้าในการทำงานของนักบินสามารถลดลงได้ เมื่อนักบินได้รับการพักผ่อน ซึ่งมีสูตรในการลดค่าความล้าในการทำงานของนักบินดังนี้

$$F = F_{acc} - 8H_n - 4H_d$$

เมื่อ F คือ ค่าความล้าในการทำงานของนักบินของคาบการปฏิบัติหน้าที่

F_{acc} คือ ค่าความล้าในการทำงานของนักบินของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เหลืออยู่ก่อนหน้านี้

H_n คือ ระยะเวลาพักผ่อนที่อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 22.00 ถึง 6.00

H_d คือ ระยะเวลาพักผ่อนที่อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 6.00 ถึง 22.00

- เงื่อนไขของเส้นทางการบินพิเศษ

เส้นทางการบินพิเศษ เป็นเส้นทางการบินที่อยู่นอกเหนือจากเงื่อนไขของเส้นทางการบินเบื้องต้น คือจะไม่พิจารณาค่าความล้าในการทำงานของนักบิน โดยมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. ประกอบด้วยเที่ยวบินเพียง 2 เที่ยวบินเท่านั้น
2. มีจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินแรกอยู่ที่กรุงเทพฯ (BKK) และมีจุดปลายทางของเที่ยวบินที่สองอยู่ที่กรุงเทพฯ (BKK)
3. เที่ยวบินที่สองมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่เดียวกับจุดปลายทางของเที่ยวบินที่หนึ่ง
4. ระยะเวลาตั้งแต่เที่ยวบินที่หนึ่งออกจากจุดเริ่มต้นถึงเที่ยวบินที่สองถึงจุดปลายทางไม่เกิน 5 วัน
5. เที่ยวบินที่หนึ่งมีระยะเวลาการบินไม่เกิน 10 ชั่วโมง
6. ระยะเวลาพักระหว่างสองเที่ยวบินเป็นไปตามเงื่อนไขเวลาพักผ่อนของเส้นทางการบินปกติ

- ชนิดของเครื่องบินที่เปิดให้บริการ

สายการบินกรณีศึกษา ได้เปิดให้บริการด้วยเครื่องบินหลากหลายรุ่นและชนิดของเครื่องบิน ซึ่งนักบินแต่ละคนสามารถทำการบินได้เพียงเฉพาะบางรุ่นและชนิดของเครื่องบินเท่านั้น ดังตารางดังนี้

ตารางที่ 3.2 ชนิดของเครื่องบินในกลุ่มต่างๆ

กลุ่มที่	รุ่นและชนิดของเครื่องบิน
1	A300-600
2	A330-300
3	A340-500,A340-600
4	B737-400
5	B747-100,B747-400
6	B777-200,B777-300
7	ATR 72-200

แต่เนื่องจากเที่ยวบินที่อยู่ในกลุ่มของเครื่องบินรุ่น ATR-72 เป็นเที่ยวบินที่ทำการบินเพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่นำเที่ยวบินที่ทำการบินด้วยเครื่องบินรุ่น ATR-72 มาพิจารณาหาเส้นทางการบิน

- การคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของแต่ละเส้นทางการบิน

เส้นทางการบินแต่ละเส้นทางจะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการบินที่แตกต่างกัน โดยจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ค่าเบี้ยเลี้ยงที่จ่ายให้นักบิน (Per Diem)

การคำนวณค่าเบี้ยเลี้ยงที่จ่ายให้กับนักบิน (Per Diem) คำนวณมาจากเวลาที่นักบินใช้ในการบินในแต่ละช่วงของเส้นทางการบินที่อยู่ในพื้นที่เดียวกัน (Duty Time) โดยจะรวมทั้งเวลาที่ทำการบิน เวลาพัก และเวลาพักผ่อน มาใช้ในการคำนวณด้วย โดยขึ้นอยู่กับพื้นที่หรือเขตที่ทำการบิน (Zone) ซึ่งในกรณีที่เป็น Deadhead จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ด้วยเช่นกัน ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1.1 กำหนดให้ $i, j \in flight$ โดยที่ i เท่ากับ 1 และ j = i +1

1.2 พิจารณาว่าในเส้นทางการบินนี้มีเที่ยวบินที่ j หรือไม่ ถ้ามีไปข้อที่ 1.3 ถ้าไม่มีไปข้อที่ 1.8

1.3 พิจารณาว่าเที่ยวบินที่ i และเที่ยวบินที่ j อยู่ในพื้นที่หรือเขตที่ไปพักเดียวกันหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 1.4 ถ้าไม่ใช่ ไปข้อที่ 1.5

1.4 กำหนดให้ j = j + 1 แล้วไปข้อที่ 1.2

1.5 พิจารณาว่า i เท่ากับ 1 หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 1.6 ถ้าไม่ใช่ ไปข้อที่ 1.7

1.6 กำหนดให้ค่า Duty Time เท่ากับเวลาตั้งแต่เวลาออกเดินทางของเที่ยวบินที่ i ถึงเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ j -1 และบวกเพิ่มอีก 3 ชั่วโมง นำค่า Duty Time ไปใช้ในฟังก์ชั่นการคิดค่าเบี้ยเลี้ยง และกำหนดให้ค่า i = j และไปข้อที่ 1.4

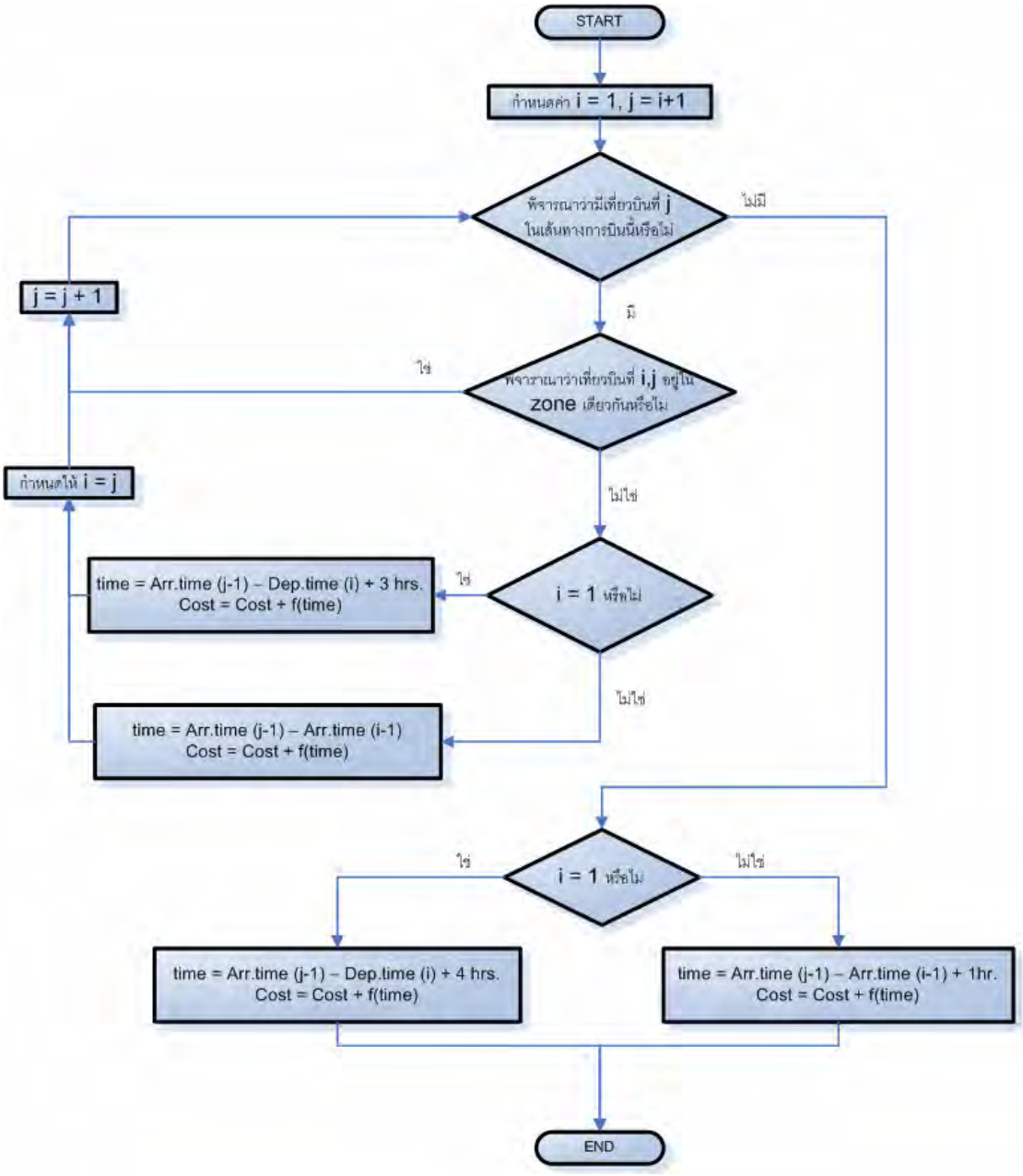
1.7 กำหนดให้ค่า Duty Time เท่ากับเวลาตั้งแต่เวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ i -1 ถึงเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ j -1 นำค่า Duty Time ไปใช้ในฟังก์ชั่นการคิดค่าเบี้ยเลี้ยง และกำหนดให้ค่า i = j และไปข้อที่ 1.4

1.8 พิจารณา i เท่ากับ 1 หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 1.9 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 1.10

1.9 กำหนดให้ค่า Duty Time เท่ากับเวลาตั้งแต่เวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ i - 1 ถึงเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ j – 1 และบวกเพิ่มอีก 4 ชั่วโมง นำค่า Duty Time ไปใช้ในฟังก์ชั่นการคิดค่าเบี้ยเลี้ยง จึงสิ้นสุดขั้นตอนการคิดค่าเบี้ยเลี้ยง

1.10 กำหนดให้ค่า Duty Time เท่ากับเวลาตั้งแต่เวลาออกเดินทางของเที่ยวบินที่ i ถึงเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ j – 1 และบวกเพิ่มอีก 1 ชั่วโมง นำค่า Duty Time ไปใช้ในฟังก์ชั่นการคิดค่าเบี้ยเลี้ยง จึงสิ้นสุดขั้นตอนการคิดค่าเบี้ยเลี้ยง

โดยสามารถสรุปเป็นแผนภูมิการไหลของวิธีการคิดค่าใช้จ่ายได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของแต่ละเส้นทางการบิน

- ฟังก์ชั่นในการคิดค่าเบี้ยเลี้ยง

ค่าเบี้ยเลี้ยงที่เกิดขึ้นของแต่ละเส้นทางการบิน จะขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมงที่นักบินทำการบินซึ่งได้จากค่า Duty Time และพื้นที่หรือเขตที่ไปพัก โดยจะแบ่งเป็นขั้นบันไดในการคิดค่าเบี้ยเลี้ยงดังนี้

ตารางที่ 3.3 อัตราค่าเบี้ยเลี้ยงที่ได้รับ

จำนวนชั่งโมงทำงาน	**อัตราเบี้ยเลี้ยง (Per Diem) ที่ได้รับ**
0-4.00	0 Per Diem
4.01-12.00	0.5 Per Diem
12.01-24.00	1 Per Diem

ตารางที่ 3.4 อัตราค่าเบี้ยเลี้ยงที่ได้รับในพื้นที่หรือเขตต่างๆ

พื้นที่/เขต	**Per Diem (บาท)**
Domestic	2,200
Regional	4,000
China, Korea, Hong Kong, Japan (Special)	5,000
Europe	5,000
USA	4,500
Australia	4,400

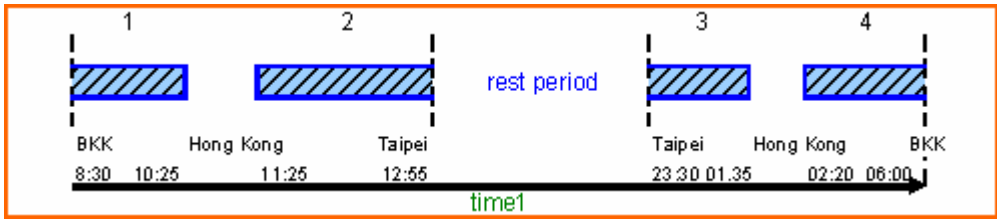
2. ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างสนามบินกับที่พัก

ในแต่ละเส้นทางการบินจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการนำนักบินจากที่พักหรือจากศูนย์ลูกเรือ ไปยังสนามบินที่จะทำการบิน ดังนั้นในแต่ละคาบการปฏิบัติหน้า จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทาง เท่ากับ 5,000 บาทต่อคาบการปฏิบัติหน้าที่

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน กำหนดให้เส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1 ประกอบด้วยเที่ยวบิน 4 เที่ยวบิน ซึ่งแต่ละเที่ยวบินในตัวอย่างที่ 1 นี้ อยู่ในพื้นที่หรือเขตเดียวกัน ซึ่งแต่ละเที่ยวบินมีรายละเอียดของจุดเริ่มต้น วันและเวลาออกเดินทาง และจุดปลายทาง วันและเวลาถึงจุดปลายทาง ดังตารางที่ 3.5 นี้ แสดงเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1 ดังรูปที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของเที่ยวบินในเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1

เที่ยวบินลำดับที่	จุดเริ่มต้น	วัน/เวลาเริ่มต้น (เวลาประเทศไทย)	จุดปลายทาง	วัน/เวลาสิ้นสุด (เวลาประเทศไทย)	พื้นที่หรือเขต
1	Bangkok	จันทร์/08.30	Hong Kong	จันทร์/10.25	Special
2	Hong Kong	จันทร์/11.25	Taipei	จันทร์/12.55	Special
3	Taipei	จันทร์/ 23.30	Hong Kong	อังคาร/ 01.15	Special
4	Hong Kong	อังคาร/ 02.20	Bangkok	อังคาร/ 06.00	Special



รูปที่ 3.3 เส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1

โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการพิจารณาหาค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบินได้ดังตารางที่ 3.6 นี้

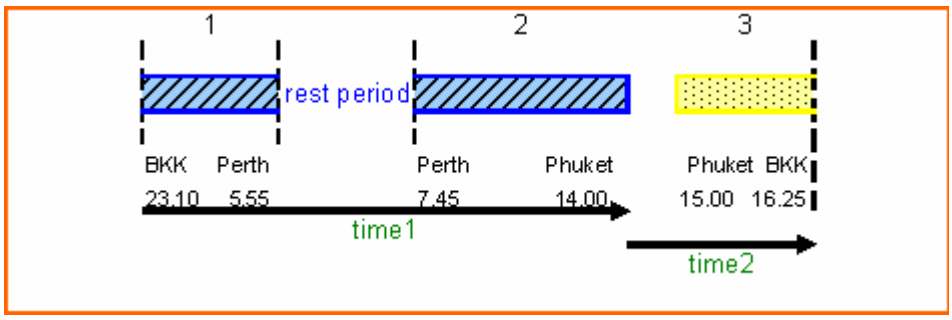
ตารางที่ 3.6 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1

ขั้นตอน	เงื่อนไขที่พิจารณา	ใช่หรือไม่ใช่	การกระทำ	หมายเหตุ
1	เที่ยวบินที่ 1 และ 2 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ใช่	ไปขั้นตอนที่ 2	
2	เที่ยวบินที่ 1 และ 3 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ใช่	ไปขั้นตอนที่ 3	
3	เที่ยวบินที่ 1 และ 4 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ใช่	ไปขั้นตอนที่ 4	
4	มีเที่ยวบินถัดไปให้พิจารณาหรือไม่	ไม่มี	1. คำนวณเวลาการบิน Duty Time = ((06.00 + 24.00) – 8.30) + 4 Duty Time = 25.30 ชั่วโมง 2. คำนวณค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ค่าเบี้ยเลี้ยง 1 Per Diem ของโซนSpecial (5,000) และค่าเดินทาง 2 คาบการปฏิบัติหน้าที่ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 5,000 + (5,000*2) บาท	Duty Time = time1

ตัวอย่างที่สองของการคำนวณหาค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน กำหนดให้เส้นทางการบินประกอบด้วยเที่ยวบิน 3 เที่ยวบิน ซึ่งแต่ละเที่ยวบินมีรายละเอียดของจุดเริ่มต้น วันและเวลาออกเดินทาง และจุดปลายทาง วันและเวลาถึงจุดปลายทาง ดังตารางที่ 3.7 นี้ แสดงเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1 ดังรูปที่ 3.4 ดังนี้

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดของเที่ยวบินในเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 2

เที่ยวบินลำดับที่	จุดเริ่มต้น	วันออกเดินทาง/เวลาเริ่มต้น (เวลาประเทศไทย)	จุดปลายทาง	วันถึงจุดปลายทาง/เวลาสิ้นสุด (เวลาประเทศไทย)	พื้นที่หรือเขต
1	Bangkok	จันทร์/23.10	Perth	อังคาร/5.55	Australia
2	Perth	พุธ/7.45	Phuket	พุธ/14.00	Australia
3	Phuket	พุธ/ 15.00	Bangkok	พุธ/ 16.25	Domestic



รูปที่ 3.4 เส้นทางการบินตัวอย่างที่ 2

โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการพิจารณาหาค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบินได้ดังตารางที่ 3.8 นี้

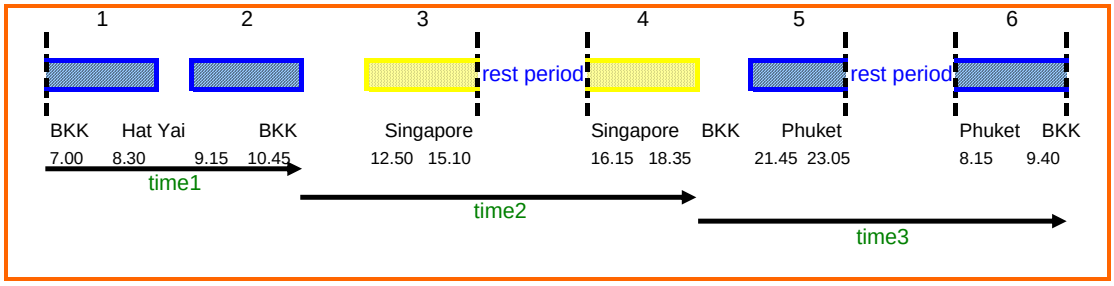
ตารางที่ 3.8 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 2

ขั้นตอน	เงื่อนไขที่พิจารณา	ใช่หรือไม่ใช่	การกระทำ	หมายเหตุ
1	เที่ยวบินที่ 1 และ 2 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ใช่	ไปขั้นตอนที่ 2	
2	เที่ยวบินที่ 1 และ 3 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ไม่ใช่	1. คำนวณเวลาการบิน Duty Time = ((14.00+48.00)-23.10)+3 Duty Time = 41.5 ชั่วโมง 2. คำนวณค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่าย = ค่าเบี้ยเลี้ยง 2 Per Diem ของพื้นที่ Australia ค่าใช้จ่าย = 8,800 บาท	Duty Time = time1
3	มีเที่ยวบินถัดไปให้พิจารณาหรือไม่	ไม่มี	1. คำนวณเวลาการบิน Duty Time = (16.25+48.00) – (14.00+48.00) + 1 Duty Time = 3.25 ชั่วโมง ค่าใช้จ่าย = ค่าเบี้ยเลี้ยง 0 Per Diem ของพื้นที่ Domestic 2. คำนวณค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ค่าเบี้ยเลี้ยงและค่าเดินทาง 2 คาบการปฏิบัติหน้าที่ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 8,800 + (5,000*2) บาท	Duty Time = time2

ตัวอย่างที่สามของการคำนวณหาค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน กำหนดให้เส้นทางการบินประกอบด้วยเที่ยวบิน 6 เที่ยวบิน ซึ่งแต่ละเที่ยวบินมีรายละเอียดของจุดเริ่มต้น วันและเวลาออกเดินทาง และจุดปลายทาง วันและเวลาถึงจุดปลายทาง ดังตารางที่ 3.9 นี้ แสดงเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 1 ดังรูปที่ 3.5 ดังนี้

ตารางที่ 3.9 รายละเอียดของเที่ยวบินในเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3

เที่ยวบินลำดับที่	จุดเริ่มต้น	วันออกเดินทาง/เวลาเริ่มต้น (เวลาประเทศไทย)	จุดปลายทาง	วันถึงจุดปลายทาง/เวลาสิ้นสุด (เวลาประเทศไทย)	พื้นที่หรือเขต
1	Bangkok	จันทร์/07.00	Hat Yai	จันทร์/08.30	Domestic
2	Hat Yai	จันทร์/09.15	Bangkok	จันทร์/10.45	Domestic
3	Bangkok	จันทร์/ 12.50	Singapore	จันทร์/15.10	Regional
4	Singapore	อังคาร/ 16.15	Bangkok	อังคาร/ 18.35	Regional
5	Bangkok	อังคาร/21.45	Phuket	อังคาร/23.05	Domestic
6	Phuket	พุธ/08.15	Bangkok	พุธ/09.40	Domestic



รูปที่ 3.5 เส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3

โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการพิจารณาหาค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบินได้ดังตารางที่ 3.10 และตารางที่ 3.11 นี้

ตารางที่ 3.10 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3

ขั้นตอน	เงื่อนไขที่พิจารณา	ใช่หรือไม่ใช่	การกระทำ	หมายเหตุ
1	เที่ยวบินที่ 1 และ 2 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ใช่	ไปขั้นตอนที่ 2	
2	เที่ยวบินที่ 1 และ 3 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ไม่ใช่	1. คำนวณเวลาการบิน Duty Time = (10.45-7.00)+3 Duty Time = 6.45 ชั่วโมง 2. คำนวณค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่าย = ค่าเบี้ยเลี้ยง 0.5 Per Diem ของพื้นที่ Domestic ค่าใช้จ่าย = 1,100	Duty Time = time1
3	เที่ยวบินที่ 3 และ 4 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ใช่	ไปขั้นตอนที่ 4	
4	เที่ยวบินที่ 3 และ 5 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ไม่ใช่	1. คำนวณเวลาการบิน Duty Time = (18.35+24.00) – 10.45 Duty Time = 31.50 ชั่วโมง 2. คำนวณค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่าย = ค่าเบี้ยเลี้ยง 1.5 Per Diem ของพื้นที่ Regional ค่าใช้จ่าย = 6,000	Duty Time = time2
5	เที่ยวบินที่ 5 และ 6 อยู่ในพื้นที่เดียวกันหรือไม่	ใช่	ไปขั้นตอนที่ 6	

ตารางที่ 3.11 การคิดค่าเบี้ยเลี้ยงของเส้นทางการบินตัวอย่างที่ 3 (ต่อ)

ขั้นตอน	เงื่อนไขที่พิจารณา	ใช่หรือไม่ใช่	การกระทำ	หมายเหตุ
6	มีเที่ยวบินถัดไปให้พิจารณาหรือไม่	ไม่มี	1. คำนวณเวลาการบิน Duty Time = (9.40+24.00) – 18.35 + 1 Duty Time = 16.05 ชั่วโมง 2. คำนวณค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่าย = ค่าเบี้ยเลี้ยง 1.5 Per Diem ของพื้นที่ Domestic ค่าใช้จ่าย = 3,300 ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ค่าเบี้ยเลี้ยงและค่าเดินทางจำนวน 3 คาบการปฏิบัติหน้าที่ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 1,100+6,000+3,300+(5,000*3)	Duty Time = time3

เมื่อได้เส้นทางการบินที่เป็นไปได้แล้ว จึงทำการเลือกเที่ยวบินที่พิจารณาแล้วว่าเหมาะสม โดยในขั้นตอนนี้ ทางสายการบินกรณีศึกษาไม่ได้นำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจหาเส้นทางการบินของลูกเรือ และการที่มีเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดเป็นจำนวนมาก จึงมีความซับซ้อนและทำให้ใช้เวลาในเลือกเส้นทางการบินของลูกเรือค่อนข้างมาก รวมทั้งข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถของคน ทำให้อาจเกิดความผิดพลาดในการเลือกเส้นทางการบินซึ่งไม่เป็นไปตามกฎเกณฑ์ได้ ผลที่ได้อาจไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร การหาเส้นทางการบินของลูกเรือจะทำการพิจารณาเที่ยวบินในระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์ เนื่องจากเที่ยวบินที่เปิดให้บริการจะเหมือนกันในทุกสัปดาห์

3.1.2.2 **การจัดกลุ่มเส้นทางการบิน** (Grouping)

เมื่อเลือกเส้นทางการบิน ซึ่งครอบคลุมเที่ยวบินที่เปิดให้บริการทั้งหมดแล้ว เนื่องจากเส้นทางการบินที่ได้แต่ละเส้นทาง ลูกเรือจะได้รับค่าเบี้ยเลี้ยง (Per Diem) ในการบินไม่เท่ากัน เพื่อให้ลูกเรือแต่ละคนได้รับค่าเบี้ยเลี้ยงในการบินในแต่ละเดือน เป็นจำนวนเท่ากัน จึงต้องมีการแบ่งเส้นทางการบินที่เลือกออกเป็นกลุ่ม ทั้งหมด 7 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มจะประกอบไปด้วยเส้นทางการบินที่มีค่าเบี้ยเลี้ยงที่ใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มที่ 1 จะเป็นกลุ่มที่มีเส้นทางการบินที่ลูกเรือจะได้รับค่าเบี้ยเลี้ยงมากที่สุด และกลุ่มที่ 7 จะเป็นกลุ่มที่มีเส้นทางการบินที่ลูกเรือจะได้รับค่าเบี้ยเลี้ยงน้อยที่สุด

3.1.2.3 **การเรียงลำดับเส้นทางการบิน** (Sequencing)

หลังจากที่ได้นำเส้นทางการบินที่เลือกมาจัดกลุ่มเป็นกลุ่มๆ แล้ว จึงทำการเลือกเส้นทางการบินจากกลุ่มต่างๆ มาเรียงต่อกันเป็นชุด ซึ่งแต่ละชุดจะประกอบด้วยเส้นทางการบินจากทุกกลุ่ม เพื่อให้ในแต่ละชุดของเส้นทางการบินมีจำนวนเงินที่ลูกเรือจะได้รับไม่แตกต่างกัน โดยมีการเรียงลำดับกลุ่มของเส้นทางการบินดังนี้

กลุ่มที่ 1 – กลุ่มที่ 7 – กลุ่มที่ 4 – กลุ่มที่ 5 – กลุ่มที่ 2 – กลุ่มที่ 6 – กลุ่มที่ 3 ตามลำดับ

โดยมีเงื่อนไขของเวลาในการเชื่อมต่อระหว่างเส้นทางการบิน 2 เส้นทางใดๆ คือ ลูกเรือต้องได้รับการหยุดพักผ่อน (Duty Off) ขึ้นกับพื้นที่หรือเขตที่ทำการบิน จึงจะสามารถทำการบินในเส้นทางการบินต่อไปได้

3.1.2.4 **การมอบหมายเส้นทางการบินให้กับลูกเรือ** (Crew Assignment)

เมื่อทำการเรียงลำดับของเส้นทางการบินได้ครบทุกเส้นทางการบินแล้ว จะนำชุดของลำดับเส้นทางการบิน มาจัดตารางการทำงานให้กับลูกเรือแต่ละคน ได้เป็นตารางการบินของลูกเรือแต่ละคน (Personnel Schedule) ที่มีระยะเวลา 6 เดือน คือช่วงเดือนมีนาคมถึงตุลาคม หรือช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ตัวอย่างตารางการทำงานของลูกเรือแต่ละคน

Name\day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ID 111		Pairing 1			Pairing 2					Pairing 3			Pairing 4	
ID 112			Pairing 1			Pairing 2					Pairing 3			

การจัดตารางการบินของลูกเรือในแต่ละครั้งจะมีระยะเวลา 6 เดือน เนื่องจากตารางของเที่ยวบินที่ให้บริการจะมีการเปลี่ยนแปลงทุก 6 เดือน จึงต้องทำการจัดตารางการบินของลูกเรือใหม่ในทุกๆ 6 เดือน

3.2 การวิเคราะห์สภาพการทำงานของกรณีศึกษา

เมื่อทำการศึกษาสภาพการกระบวนการจัดตารางการบินของลูกเรือของสายการบินกรณีศึกษาในปัจจุบันแล้ว พบว่า ในขั้นตอนการพิจารณาหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ และทำการเลือกเส้นทางการบินที่เหมาะสมในแต่ละครั้ง เป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมากที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนี้ ประกอบไปด้วย เงินเดือนของลูกเรือ ค่าเบี้ยเลี้ยงในการบินซึ่งได้จากแต่ละเส้นทางการบินที่ลูกเรือทำการบิน ซึ่งหากเส้นทางการบินที่เลือกเพื่อให้ลูกเรือทำการบินนั้น มีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าเบี้ยเลี้ยงสูง จะทำให้สายการบินต้องเสียค่าใช้จ่ายโดยรวมสูงตามไปด้วย ดังนั้นการเลือกเส้นทางการบินที่จะจัดให้กับลูกเรือ เพื่อทำการบินในเที่ยวบินต่างๆ จึงมีความจำเป็นที่ต้องได้รับการพิจารณาอย่างเหมาะสม และเนื่องจากเส้นทางการบินของนักบินมีค่าเบี้ยเลี้ยงที่ต้องจ่ายให้กับนักบินที่สูงกว่าของพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน และการหาเส้นทางการบินของนักบินมีข้อจำกัดที่แตกต่างกับการหาเส้นทางการบินของพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน เช่นนักบินแต่ละคนสามารถขับเครื่องบินได้เพียงชนิดของเครื่องบินชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น จึงควรให้ความสำคัญกับการหาเส้นทางการบินของนักบินมากที่สุด รวมทั้งจากการที่มีจำนวนเที่ยวบินที่ต้องทำการบินเป็นจำนวนมาก ทำให้มีเส้นทางการบินที่มีความเป็นไปได้ที่หลากหลาย และมีความซับซ้อน การมีกฎเกณฑ์เงื่อนไขที่จะต้องนำมาพิจารณาในการหาเส้นทางการบินที่หลากหลายกฎเกณฑ์ รวมทั้งการเลือกเส้นทางการบินโดยไม่ได้นำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ จึงอาจเกิดความผิดพลาดในการเลือกเส้นทางการบินของลูกเรือ ทำให้เส้นทางการบินที่ตัดสินใจเลือกทั้งหมดนั้น อาจไม่ใช่กลุ่มของเส้นทางการบินที่มีประสิทธิภาพดีพอ ทำให้มีค่าใช้จ่ายรวมที่สูงเกินความจำเป็น ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการตัดสินใจของคนที่มีอยู่จำกัด ดังนั้นจึงควรมีกระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบินที่มีการ

นำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ ลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ สามารถหากลุ่มของเส้นทางการบินที่ดีมีประสิทธิภาพ ครอบคลุมทุกเที่ยวบินที่เปิดให้บริการ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ลดลง และเป็นไปตามกฎเกณฑ์เงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้

3.3 ออกแบบกระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด

แนวคิดในการออกแบบกระบวนการหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้อัลกอลิทึมที่ใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ในการแก้ปัญหา เพื่อเลือกเส้นทางการบินที่ดีที่สุดนั้น จะต้องสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ก่อน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทางด้วยกัน

3.3.1 การหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้

ทำการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุด โดยสามารถแบ่งแนวคิดในการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ 2 แนวทางด้วยกัน

3.3.1.1 การสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ทำการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่เป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดของเส้นทางการบิน โดยทำการเก็บค่าเที่ยวบินที่อยู่ในเส้นทางการบินต่างๆ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของแต่ละเส้นทางการบิน โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1. การหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Candidate Duty Period) โดยมีข้อมูลของเที่ยวบินต่างๆ เป็นข้อมูลนำเข้า และมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่เป็นเงื่อนไขข้างเคียง (Side Constraints)
2. นำคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากขั้นต้น มาเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดของนักบิน (Candidate Pairing) ว่าแต่ละเส้นทางจะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเท่าไรในการบินเส้นทางนั้นๆ โดยมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการหาเส้นทางการบินเป็นเงื่อนไขข้างเคียง (Side Constraints)

โดยมีแนวคิดของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด คือนำเที่ยวบินทั้งหมดในกลุ่มข้อมูล มาพิจารณาทีละเที่ยวบิน โดยทำการสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ซึ่งประกอบ

ไปด้วยเที่ยวบินเพียงหนึ่งเที่ยวบินก่อน แล้วทำการพิจารณาเที่ยวบินอื่นๆ ซึ่งจะนำมาเป็นเที่ยวบินลำดับที่สองว่า ในคาบการปฏิบัติหน้าที่ซึ่งประกอบด้วยเที่ยวบินเพียงหนึ่งเที่ยวบินนั้น สามารถทำการบินในเที่ยวบินที่พิจารณาได้หรือไม่ เป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อหรือไม่ หากเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อ ให้ทำการเก็บข้อมูลซึ่งประกอบด้วยเที่ยวบินทั้ง 2 เที่ยวบิน แล้วทำการพิจารณาเที่ยวบินอื่นๆ ซึ่งจะนำมาเป็นเที่ยวบินลำดับที่สามว่า ในคาบการปฏิบัติหน้าที่ซึ่งประกอบด้วยเที่ยวบิน 2 เที่ยวบินนั้น สามารถทำการบินในเที่ยวบินที่พิจารณาได้หรือไม่ เป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อหรือไม่ หากเป็นไปตามข้อกำหนดทุกข้อ ให้ทำการเก็บข้อมูลคาบการปฏิบัติหน้าที่ซึ่งประกอบด้วยเที่ยวบินทั้ง 3 เที่ยวบิน หากเที่ยวบินที่พิจารณาเป็นลำดับที่สาม ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้พิจารณาเที่ยวบินถัดๆ ไป ว่าสามารถนำมาสร้างเป็นคาบการปฏิบัติหน้าที่ ที่ประกอบไปด้วย 3 เที่ยวบินได้หรือไม่ โดยจะพิจารณาเที่ยวบินทั้งหมด และเมื่อพิจารณาเที่ยวบินลำดับที่สามทั้งหมดแล้ว ให้พิจารณาเที่ยวบินที่เป็นลำดับที่สองให้ครบทุกเที่ยวบิน และเมื่อพิจารณาเที่ยวบินลำดับที่สองทั้งหมดแล้ว ให้พิจารณาเที่ยวบินลำดับที่หนึ่งใหม่ โดยเมื่อทำการพิจารณาเที่ยวบินลำดับที่หนึ่งครบทุกเที่ยวบินแล้ว จะสามารถสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ได้ครบทุกคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้

โดยในส่วนของการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดนั้น มีแนวคิดวิธีการเหมือนกับการพิจารณาหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งจะพิจารณาข้อมูลคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด และทำการสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดของการสร้างเส้นทางการบิน ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างเส้นทางการบินได้ครบทุกเส้นทางการบินที่เป็นไปได้

3.3.1.2 **การสร้างโครงข่ายคาบการปฏิบัติหน้าที่** (Duty Period Network)

ทำการสร้างเส้นทางการบินโดยการนำคาบการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆ ที่สามารถนำมาสร้างต่อกันเป็นเส้นทางการบินได้ ให้อยู่ในรูปของโครงข่ายที่เชื่อมโยงเส้นทางการบิน โดยมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

1. กระบวนการที่ใช้ในการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยทำการเขียนโปรแกรม เพื่อหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Candidate Duty Period) โดยมีข้อมูลของเที่ยวบินต่างๆ เป็นข้อมูลนำเข้า ว่าแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าที่มีค่าใช้จ่ายในการบินคาบการปฏิบัติหน้าที่

นั้นๆ เป็นจำนวนเท่าไร โดยมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่เป็นเงื่อนไขข้างเคียง (Side constraints)

2. กระบวนการสร้างโครงข่ายการบิน โดยการนำคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดนั้น มาสร้างเป็นโครงข่ายคาบการปฏิบัติหน้าที่ เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหารอง (Subproblem) หรือการหาเส้นทางที่มีแนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่ต่ำที่สุด เพื่อนำมาใช้เป็นตัวแปรในการตัดสินใจในปัญหาหลัก ซึ่งโครงข่ายเส้นทางการบินจะมีจุด (Node) แทนด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆ ซึ่งแต่ละจุดนี้จะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการทำการบินคาบการปฏิบัติหน้าที่ของจุดนั้นๆ มีจุดเริ่มต้น (Source Node) และมีจุดสิ้นสุด (Sink Node) เป็นจุดที่บังคับให้โครงข่ายเส้นทางการบินนี้มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดอยู่ที่ฐานที่อยู่ของลูกเรือ (Home base) และมีลูกศร (Arc) เป็นเส้นเชื่อมโยงระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ หากคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เชื่อมโยงกันนั้น เป็นไปตามเงื่อนไขในการสร้างเส้นทางการบินต่างๆ ซึ่งลูกศรแต่ละอัน จะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของเส้นทางการบินที่ประกอบไปด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เชื่อมโยงกันนั้นๆ

ซึ่งเมื่อพิจารณาวิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบินของกรณีศึกษา พบว่าการสร้างโครงข่ายคาบการปฏิบัติหน้าที่ ไม่เหมาะที่จะทำมาใช้ในการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางการบิน จะขึ้นอยู่กับพื้นที่หรือเขตที่ไปพักของแต่ละเที่ยวบินที่อยู่ในเส้นทางการบินหนึ่งๆ ทำให้การคำนวณ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของเส้นทางการบินที่เชื่อมโยงกันด้วยลูกศรต่างๆ มีขั้นตอนที่ซับซ้อนกว่า เนื่องจากต้องพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นทำการบินในเที่ยวบินแรกในคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่หนึ่งของเส้นทางการบินเพื่อทำการคำนวณค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินใดๆ ทุกครั้ง ที่ทำการสร้างการเชื่องโยงระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ใดๆ ดังนั้นจึงเลือกการสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการคำนวณตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทางการบินของนักบินที่ดีที่สุด

3.3.2 **กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

เมื่อได้เส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว จะนำเส้นทางการบินดังกล่าวมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเลือกเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ซึ่งครอบคลุมทุกเที่ยวบิน โดยในกรณีศึกษานี้ เที่ยวบินต่างๆ สามารถถูก

เลือกให้ทำการบินในเส้นทางการบินได้มากกว่า 1 เส้นทางการบิน เนื่องจากเป็นการอนุญาตให้นักบินสามารถเดินทางเป็นผู้โดยสาร เพื่อไปทำการบินในเที่ยวบินถัดไปได้ (Deadhead) ดังนั้นลักษณะของปัญหาในงานวิจัยนี้ จึงเป็นปัญหาแบบครอบคลุม (Set Covering Problem) โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

กำหนดให้ F เป็นกลุ่มของเที่ยวบินที่ต้องการพิจารณา

P เป็นกลุ่มของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด

Y_p คือตัวแปรตัวสินใจ ซึ่งจะเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทางการบิน p ถูกเลือก และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

a_{ip} คือสัมประสิทธิ์ของตัวแปร Y_p ใดๆในแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,F\}$

C_p คือค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน p

สมการวัตถุประสงค์

$$Min \quad \sum_{p \in P} C_p Y_p$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_{p \in P} a_{ip} Y_p \geq 1 \qquad \forall i \in F$$

$$Y_p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P$$

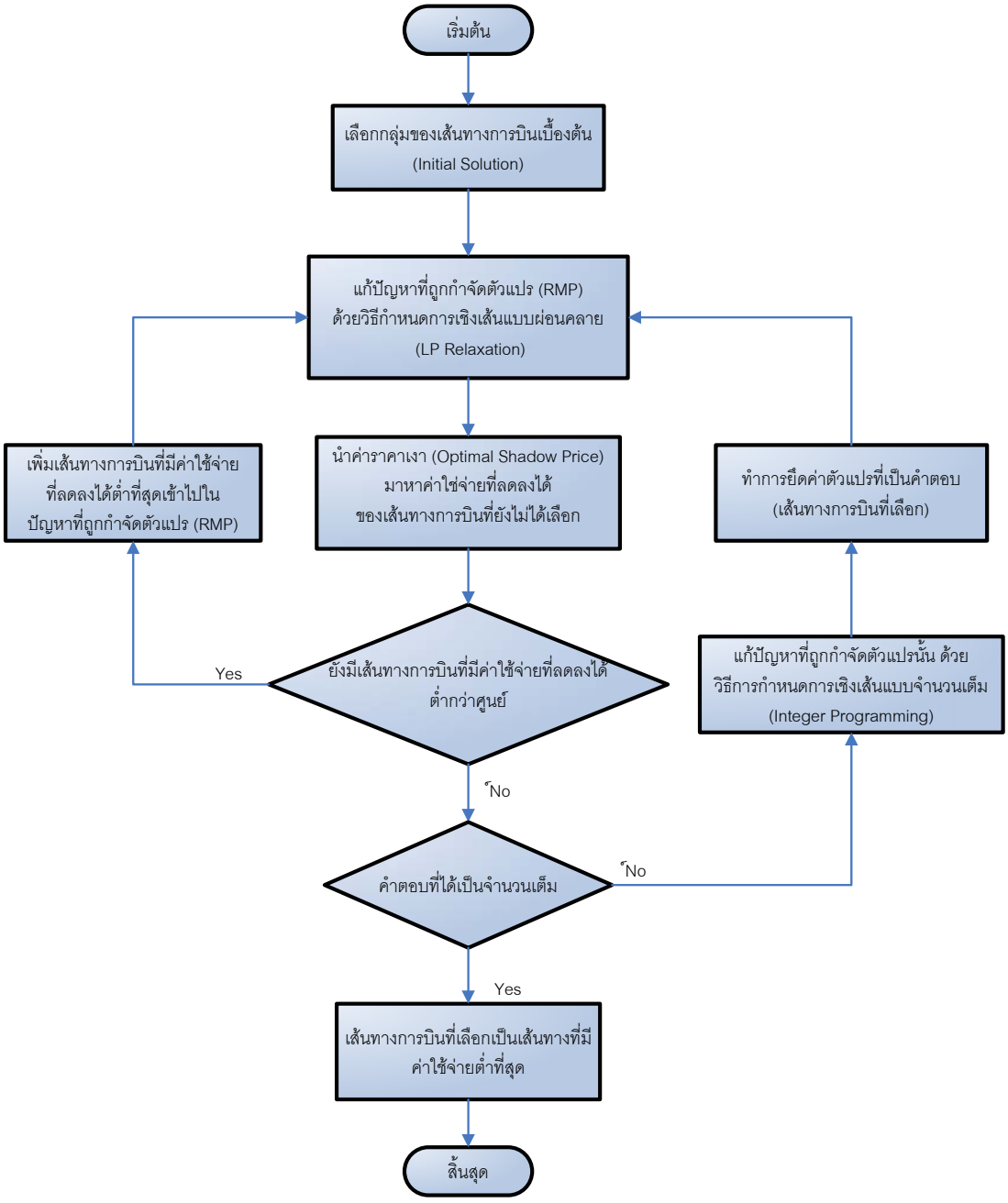
โดยเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการหาเส้นทางการบินนั้น คือตัวแปร a_{ip} ว่าในแต่ละเส้นทางการบิน p มีเที่ยวบินที่ i ใดบ้าง แต่หากทำการแก้ปัญหาการหาเส้นทางการบินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยตรง อาจไม่สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากมีจำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงออกแบบกระบวนการที่สามารถช่วยแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยการนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) และวิธีการบรานช์แอนด์บาวด์ (Branch-and-bound) เข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ที่เป็นจำนวนเต็มได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกกลุ่มของเส้นทางการบินเบื้องต้น (Initial solution) ที่ครอบคลุมเที่ยวบินทุกเที่ยวบิน 1 ครั้ง มาใช้เป็นกลุ่มของคำตอบเริ่มต้นของปัญหาหลักที่ถูกกำจัดตัวแปร (Restricted Master Problem:RMP)
2. แก้ปัญหาที่ถูกจำกัดตัวแปร (RMP) โดยใช้กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อหาค่าราคาเงาที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Shadow Price) ของแต่ละเงื่อนไขบังคับ
3. ทำการแก้ปัญหารอง คือการหาเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่ต่ำที่สุด โดยการนำค่าราคาเงาที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากปัญหาที่ถูกจำกัดตัว

แปร มาทำการหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อทำการเพิ่มเส้นทางมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำที่สุดเข้ามาอยู่ในกลุ่มของเส้นทางการบินเบื้องต้น

4. หากค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ที่ไม่ได้ถูกเลือกมาอยู่ในกลุ่มของเส้นทางการบินเบื้องต้นนั้นยังมีค่าน้อยกว่าศูนย์ ให้ทำการเพิ่มเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำที่สุด เข้าไปในปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรเดิม และกลับไปทำข้อ 2 แต่หากค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ที่ไม่ได้ถูกเลือกมาอยู่ในกลุ่มของเส้นทางการบินเบื้องต้นทั้งหมดนั้น มีค่ามากกว่าศูนย์แล้ว ไปทำข้อ 5
5. ถ้าตัวแปรที่เป็นคำตอบ (เส้นทางการบินที่เลือก) เป็นจำนวนเต็มแล้ว คำตอบที่ได้คือคำตอบที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดแล้ว สิ้นสุดขั้นตอนการคำนวณ แต่หากคำตอบที่ได้ยังไม่เป็นจำนวนเต็ม ให้ทำข้อ 6
6. ให้ทำการแก้ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรนั้น โดยใช้กำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม (Integer Programming) โดยใช้วิธีการกิ่งและก้าน (Branch - and - Bound) เพื่อหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม
7. ยึดค่าของตัวแปรที่เป็นคำตอบ (เส้นทางการบินที่เลือก) ที่ได้ แล้วกลับไปทำข้อ 2

โดยมีแผนภูมิการไหลดังรูปที่ 3.6 นี้



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนกระบวนการที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.4 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่นำมาใช้ในงายวิจัย และทำการวิเคราะห์ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ข้อมูล ที่สามารถนำไปใช้ในการหาเส้นทางการบินที่เหมาะสม ได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 ข้อมูลเที่ยวบินที่เปิดให้บริการ

นำข้อมูลเที่ยวบินที่ทางสายการบินกรณีศึกษาเปิดให้บริการในช่วงวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2549 ถึงวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2549 เท่านั้น ไม่พิจารณาเที่ยวบินที่ให้บริการการขนส่งสินค้า (Cargo Services) และเที่ยวบินที่ทำการบินโดยบริษัทคู่ค้าทางการบิน (Partner airlines) โดยข้อมูลที่ได้ เป็นข้อมูลเที่ยวบินที่ทำการบินในสัปดาห์หนึ่งๆ

โดยเที่ยวบินแต่ละเที่ยวบิน จะประกอบไปด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

- เลขแสดงเที่ยวบิน เช่น 100, 238 เป็นต้น
- ชนิดและรุ่นของเครื่องบินที่ทำการบิน
- จุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของเที่ยวบิน
- วันในแต่ละสัปดาห์ที่เที่ยวบินออกจากจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง โดยบริษัทจะทำการบินเที่ยวบินต่างๆ เหมือนกันในทุกๆสัปดาห์ โดยมีการอ้างอิงวันที่เที่ยวบินเปิดให้บริการในแต่ละสัปดาห์ดังนี้

ตารางที่ 3.13 การอ้างอิงวันที่ในเชิงตัวเลข

วันในแต่ละสัปดาห์	การอ้างอิงในเชิงตัวเลข
จันทร์	1
อังคาร	2
พุธ	3
พฤหัสบดี	4
ศุกร์	5
เสาร์	6
อาทิตย์	7

- เวลาที่เที่ยวบินออกจากจุดเริ่มต้นและเวลาที่เที่ยวบินถึงจุดปลายทาง โดยจะแสดงเวลาท้องถิ่น (Local time) ของเมืองที่เป็นจุดเริ่มต้นหรือจุดปลายทาง ซึ่งข้อมูลเวลาการบิน จะอยู่ในรูปของตัวเลข 4 หลัก โดยสองหลักแรกจะแสดงชั่วโมงที่ทำการบิน และสองหลักสุดท้าย จะแสดงนาทีที่ทำการบิน

ข้อมูลเวลาที่เที่ยวบินออกจากจุดเริ่มต้นและเวลาที่เที่ยวบินถึงจุดปลายทาง เป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยชั่วโมง ที่ทำการบินออกหรือถึงในแต่ละวัน เช่น เที่ยวบินออกจากจุดเริ่มต้นเวลา 10.40 น. ของวันจันทร์ และเวลา 10.40 น. ของวันอังคาร เนื่องจากเส้นทางการบินมีระยะเวลาการบินได้มากกว่า 1 วัน ดังนั้นจึงทำการแปลงเวลาที่เที่ยวบินออกจากจุดเริ่มต้นและเวลาที่เที่ยวบินถึงจุดปลายทางจากหน่วยของชั่วโมง ให้อยู่ในหน่วยของนาทีโดยเริ่มต้นนาทีที่ศูนย์ที่เวลา 0.00 น. ของวันจันทร์และสิ้นสุดหน่วยของนาทีที่เวลา 23.59 น. ของวันอาทิตย์ โดยมีสูตรในการแปลงหน่วยดังนี้

$$time = (d-1)\times 1440 + (h\times 60) + m$$

เมื่อ time คือ เวลาที่ถูกแปลงให้อยู่ในหน่วยของนาที

d คือ วันที่ทำการบินในเชิงตัวเลข

h คือ ชั่วโมงที่ทำการบิน

m คือ นาทีที่ทำการบิน

ตารางที่ 3.14 ตัวอย่างการเปลี่ยนเวลาในหน่วยของชั่วโมงเป็นหน่วยของนาที

วันที่ทำการบิน	**เวลาที่ทำการบินในหน่วยของชั่วโมง**	**เวลาที่ทำการบินในหน่วยของนาที**
จันทร์	8.40	$(1-1)\times 1440 + (8\times 60) + 40 = 520$
ศุกร์	20.35	$(5-1)\times 1440 + (20\times 60) + 35 = 6995$

ข้อมูลเวลาที่ได้เป็นเวลาท้องถิ่นของแต่ละประเทศ ที่เป็นจุดเริ่มต้นหรือเป็นจุดปลายทางของเที่ยวบิน ไม่ใช่เวลาที่ลูกเรือทำการบินจริง จึงต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในเวลามาตรฐาน (GMT) เดียวกัน โดยทำการพิจารณาว่าจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางของแต่ละเที่ยวบินอยู่ในโซนเวลา (Time Zone) ใด มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าเวลามาตรฐาน (GMT) เป็นเวลากี่ชั่วโมง แล้วนำเวลานั้น มาเพิ่มหรือลด เพื่อให้เวลาที่เที่ยวบินออกจากจุดเริ่มต้น และเวลาที่

เที่ยวบินถึงจุดปลายทาง อ้างอิงจากเวลามาตรฐานเดียวกัน และทำการแปลงเวลาจากหน่วยของชั่วโมง ให้อยู่ในหน่วยของนาที

ตารางที่ 3.15 ตัวอย่างการเปลี่ยนเวลาท้องถิ่นให้เป็นเวลามาตรฐาน

จุดเริ่มต้น	เวลาเริ่มต้น (Local time)	โซนเวลาของจุดเริ่มต้น	เวลาเริ่มต้น (GMT)	จุดปลายทาง	เวลาสิ้นสุด (Local time)	โซนเวลาของจุดเริ่มต้น	เวลาเริ่มต้น (GMT)
Bangkok	7.30	(GMT+7)	0.30	Tokyo(NRT)	15.40	(GMT+9)	6.40
Bangkok	10.25	(GMT+7)	3.25	Chiang Mai	11.35	(GMT+7)	4.35

3.4.2 ข้อมูลเงื่อนไขการทำงาน

พิจารณาข้อมูลกฎเกณฑ์เงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางการบินทั้งหมด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น เงื่อนไขระยะเวลาการทำงานของลูกเรือ เงื่อนไขการคิดค่าใช้จ่ายในการบินของเส้นทางการบิน กลุ่มของชนิดและรุ่นของเครื่องบิน ที่นักบินคนหนึ่งๆ สามารถทำการบินได้ภายในกลุ่มต่างๆ

3.4.3 ข้อมูลเส้นทางการบินที่ทางบริษัทการบินกรณีศึกษาทำการบินอยู่ในปัจจุบัน

พิจารณาข้อมูลเส้นทางการบินของนักบินที่ทางบริษัทการบินกรณีศึกษา ทำการบินอยู่ในปัจจุบัน ว่าแต่ละเที่ยวบินที่เปิดให้บริการ ถูกจัดอยู่ในเส้นทางการบินอย่างไร มีค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางเป็นอย่างไร

3.5 กระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ออกแบบกระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบิน ที่มีความเป็นไปได้ในการบินทั้งหมด ซึ่งอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์เงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้ เนื่องจากการนำเที่ยวบินต่างๆ ที่เปิดให้บริการมาสร้างเป็นเส้นทางการบินได้นั้น จำเป็นต้องสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ หรือเส้นทางการบินที่นักบินสามารถทำงานได้ในเวลาที่กำหนด แล้วลูกเรือต้องได้รับการพักผ่อนเป็นระยะเวลาหนึ่ง (Rest Period) ก่อน จึงจะสามารถทำการบินในคาบการปฏิบัติหน้าที่ถัดไปได้ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน

3.5.1 กระบวนการที่ใช้ในการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่

กระบวนการนี้เริ่มต้นจากการนำเที่ยวบิน ที่เปิดให้บริการทั้งหมดมาแบ่งแยกประเภทตามรุ่นและชนิดของเครื่องบิน เนื่องจากสมมติฐานที่กำหนดให้เที่ยวบินที่เปิดให้บริการเหมือนกันในแต่ละสัปดาห์ และแต่ละเที่ยวบินที่เปิดให้บริการใช้เครื่องบินรุ่นเดียวกันในทุกสัปดาห์ ดังนั้นจึงพิจารณาเที่ยวบินที่บินในสัปดาห์ใดๆ เพียงหนึ่งสัปดาห์เท่านั้น คาบการปฏิบัติหน้าที่สามารถประกอบด้วยเที่ยวบินจำนวนสูงสุด 3 เที่ยวบิน โดยแต่ละคาบการปฏิบัติหน้าหากประกอบไปด้วยเที่ยวบินจำนวนหนึ่งเที่ยวบินนั้น คาบการปฏิบัติหน้าที่นี้ จะไม่มีระยะเวลาการบินที่จำกัด แต่หากคาบการปฏิบัติหน้าที่ประกอบไปด้วยเที่ยวบินจำนวนมากกว่าหนึ่งเที่ยวบิน คาบการปฏิบัติหน้าที่นั้น จะมีระยะเวลาการบินที่จำกัด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนเที่ยวบินที่ทำการบิน โดยสามารถประมาณระยะเวลาของคาบการปฏิบัติหน้าที่สูงสุด เป็นระยะเวลา 1 วันโดยประมาณ และเนื่องด้วยเส้นทางการบินแต่ละเส้นทางมีเงื่อนไขระยะเวลาการบินทั้งหมดของเส้นทางการบินสูงสุด (time-away-from-base) เป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่เส้นทางการบินจะเป็นเส้นทางที่ทำการบินข้ามสัปดาห์กัน เช่น เริ่มต้นเส้นทางการบินในวันอาทิตย์ของสัปดาห์เป็นวันแรก และวันสุดท้ายของเส้นทางการบินสิ้นสุดที่วันอังคารของสัปดาห์ถัดไป ดังรูปที่ 3.7 ดังนั้นเพื่อให้เส้นทางการบินที่ถูกสร้างขึ้นมียืดหยุ่นมากขึ้น การพิจารณาสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อให้สามารถสร้างเส้นทางการบินที่เริ่มต้นการบินในวันอาทิตย์ของสัปดาห์และสิ้นสุดที่วันพฤหัสบดีของสัปดาห์ถัดไป เพิ่มเข้ามาในการพิจารณาสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดด้วย เพื่อให้ได้ครอบคลุมเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด จึงต้องทำการสร้างซ้ำในสัปดาห์ถัดไปอีกเป็นระยะเวลา 4 วัน คือวันจันทร์ถึงวันพฤหัสบดี

รูปที่ 3.7 ระยะตัวอย่างของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้

ตารางที่ 3.16 การอ้างอิงวันที่ในเชิงตัวเลขที่ใช้ในการวิเคราะห์

วันในแต่ละสัปดาห์	การอ้างอิงในเชิงตัวเลข
จันทร์	1,8
อังคาร	2,9
พุธ	3,10
พฤหัสบดี	4,11
ศุกร์	5
เสาร์	6
อาทิตย์	7

เมื่อได้เที่ยวบินทั้งหมดที่ทำการบินตั้งแต่วันจันทร์ของสัปดาห์แรกถึงวันพฤหัสบดีของสัปดาห์ถัดไปแล้ว ทำการเก็บข้อมูลเที่ยวบินทั้งหมดไว้ดังนี้

กำหนดให้ i เป็นสมาชิกของเที่ยวบิน $x \in flight$

$f(x)$ คือ ชุดข้อมูลของเที่ยวบินที่ x

$f(x).ID$ คือ หมายเลขแสดงเที่ยวบินที่ x เช่น เที่ยวบินที่ 100 วันจันทร์ มี $f(x).ID$ เท่ากับ 1, เที่ยวบินที่ 100 วันอังคาร มี $f(x).ID$ เท่ากับ 2 เป็นต้น

$f(x).NO$ คือ หมายเลขอ้างอิงของเที่ยวบินที่ x เนื่องจากเที่ยวบินที่ทำการบินระหว่างวันจันทร์ถึงวันพฤหัสบดี จะมีเที่ยวบินที่ซ้ำกันระหว่างสัปดาห์แรกและสัปดาห์ถัดไป เช่นเที่ยวบินที่ 100 วันจันทร์ในสัปดาห์ที่หนึ่ง และเที่ยวบินที่ 100 วันจันทร์ในสัปดาห์ที่สอง เป็นเที่ยวบินที่มี $f(x).ID$ เดียวกัน แต่มีเวลาออกจากจุดเริ่มต้นและเวลาถึงจุดปลายทางที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นการอ้างอิงให้เที่ยวบินมีความแตกต่างกัน จึงต้องมีหมายเลขในการอ้างอิงเที่ยวบินต่างๆ เช่น เที่ยวบินที่ 100 วันจันทร์ของสัปดาห์ที่หนึ่งมี $f(x).ID$ เท่ากับ 1 มี $f(x).NO$ เท่ากับ 1, เที่ยวบินที่ 100 วันจันทร์ของสัปดาห์ที่สองมี $f(x).ID$ เท่ากับ 1 มี $f(x).NO$ เท่ากับ 2 เป็นต้น

$f(x).DepTime$	คือ เวลาออกจากจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ x โดยข้อมูลจะอยู่ในหน่วยของนาที
$f(x).ArrTime$	คือ เวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ x โดยข้อมูลจะอยู่ในหน่วยของนาที
$f(x).Origin$	คือ จุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ x
$f(x).Destination$	คือ จุดปลายทางของเที่ยวบินที่ x
$f(x).Zone$	คือ โซนของเที่ยวบินที่ x

ตารางที่ 3.17 ตัวอย่างข้อมูลของเที่ยวบิน

ชื่อเที่ยวบิน	ชนิดของเครื่องบิน	จุดเริ่มต้นของเที่ยวบิน	จุดปลายทางของเที่ยวบิน	วันที่ทำการบินออกจากจุดเริ่มต้น	เวลาออกจากจุดเริ่มต้น (Local time)	วันที่ทำการบินถึงปลายทาง	เวลาถึงจุดปลายทาง (Local time)
104	A300-600	Bangkok	Chiang Mai	1	9.20	1	10.30
104	A300-600	Bangkok	Chiang Mai	2	9.20	2	10.30
676	747-100	Bangkok	Tokyo(NRT)	3	7.30	3	15.40
945	747-300	Rome	Bangkok	3	15.20	4	6.45

ตารางที่ 3.18 ตัวอย่างการแปลงเวลาของเที่ยวบิน

ชื่อเที่ยวบิน	เวลาออกจากจุดเริ่มต้น(นาที) (Local time)	โซนเวลาของจุดเริ่มต้น	เวลาออกจากจุดเริ่มต้น(นาที) (GMT)	เวลาถึงจุดปลายทาง(นาที) (Local time)	โซนเวลาของจุดเริ่มต้น	เวลาถึงจุดปลายทาง(นาที) (GMT)
104	560	(GMT+7)	140	630	(GMT+7)	210
104	2,000	(GMT+7)	1,580	2,070	(GMT+7)	1,650
676	3,330	(GMT+7)	2,910	3,820	(GMT+9)	3,280
945	3,800	(GMT+1)	3,740	4,725	(GMT+7)	4,305

ตารางที่ 3.19 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้ากระบวนการการหาเส้นทางการบิน

ชื่อเที่ยวบิน	วันที่ทำการบินออกจากจุดเริ่มต้น	f(x).ID	f(x).NO	f(x).DepTime	f(x).ArrTime	f(x).Origin	f(x).Destination	f(x).Zone
104	1	1	1	140	210	BKK	Chiang Mai	Domestic
104	8	1	2	10,220	10,290	BKK	Chiang Mai	Domestic
104	2	2	3	1,580	1,650	BKK	Chiang Mai	Domestic
104	9	2	4	8,500	11,730	BKK	Chiang Mai	Domestic
676	3	3	5	2,910	3,280	BKK	Tokyo(NRT)	Special regional
TG676	10	3	6	12,990	13,360	BKK	Tokyo(NRT)	Special regional
TG945	3	4	7	3,740	4,305	Rome	BKK	European
TG945	10	4	8	13,820	14,385	Rome	BKK	European

จากนั้นจึงนำเที่ยวบินทั้งหมดเข้าสู่ขั้นตอนการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งเก็บข้อมูลของคาบการปฏิบัติหน้าทีในรูปแบบดังต่อไปนี้

กำหนดให้ y เป็นสมาชิกของคาบการปฏิบัติหน้าที่

$d(y)$	คือ ชุดข้อมูลของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).NO$	คือ หมายเลขแสดงลำดับของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).StartTime$	คือ เวลาเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).EndTime$	คือ เวลาสิ้นสุดของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).Origin$	คือ จุดเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).Destination$	คือ จุดปลายทางของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).component(1)$	คือ ชุดข้อมูลของเที่ยวบินที่ 1 ในคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).component(2)$	คือ ชุดข้อมูลของเที่ยวบินที่ 2 ในคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y
$d(y).component(3)$	คือ ชุดข้อมูลของเที่ยวบินที่ 3 ในคาบการปฏิบัติหน้าทีที่ y
$d(y).Fatigue$	คือ ค่าความล้าของการทำงานของนักบินของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y

ซึ่งมีสูตรในการคำนวณคือ

$$6\times(EndTime-StartTime+1.30)+6\times(landing)$$

เมื่อ $landing$ คือจำนวนเที่ยวบินในคาบการปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งเป็นสูตรการคำนวณในหน่วยของชั่วโมง จึงทำการแปลงสูตรการคำนวณนี้ ให้เป็นเวลาในหน่วยของนาทีได้ดังนี้

$$6\times\frac{(EndTime-StartTime+90)}{60}-(((EndTime-StartTime+90)\bmod 60)\times 0.04)+6\times(landing)$$

- ขั้นตอนการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่มีดังนี้
  1. กำหนดให้ i,j,k เป็นสมาชิกของเที่ยวบินทั้งหมด $i,j,k\in flight$ และมีค่าเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ $i=j=k=0$
  2. กำหนดให้ $i=i+1$ และทำการพิจารณาว่ามีเที่ยวบินลำดับที่ i ที่ต้องพิจารณาหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 3 ถ้าไม่ใช่สิ้นสุดขั้นตอนการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่
  3. กำหนดให้ y = y + 1 และทำการสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y ซึ่งประกอบด้วยเที่ยวบินที่ i เท่านั้น โดยทำการเก็บค่าข้อมูลและไปข้อที่ 4

- เวลาเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y เท่ากับเวลาออกจากจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ i ($d(y).StartTime = f(i).DepTime$)
- เวลาสิ้นสุดของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y เท่ากับเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ i ($d(y).EndTime = f(i).ArrTime$)
- จุดเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ i ($d(y).Origin = f(i).Origin$)
- จุดปลายทางของคาบการปฏิบัติที่ที่ y คือจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ i ($d(y).Destination = f(i).Destination$)
- ชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ 1 ของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ i ($d(y).component(1) = f(i)$)
- ค่าความล้าที่คำนวณได้

$$d(y).Fatigue = 6 \times ((f(i).ArrTime - f(i).DepTime + 90)/60) - (((f(i).ArrTime - f(i).DepTime) \bmod 60) \times 0.04) + 6 \times (1)$$

4. กำหนดให้ $j = j + 1$ และทำการพิจารณาว่ามีเที่ยวบินลำดับที่ j ที่ต้องพิจารณาหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 5 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 2
5. พิจารณาเที่ยวบินที่ j ว่าเที่ยวบินที่ i และเที่ยวบินที่ j มีหมายเลขแสดงเที่ยวบินเดียวกันหรือไม่ ($f(i).ID = f(j).ID$) หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 4 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 6
6. พิจารณาว่าเที่ยวบินที่ j มีจุดเริ่มต้นเป็นสถานที่เดียวกับจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ i หรือไม่ ($f(j).Origin = f(i).Destination$) ถ้าใช่ไปข้อที่ 7 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 4
7. พิจารณาว่าเที่ยวบินที่ j มีเวลาออกจากจุดเริ่มต้นหลังจากเวลาที่เที่ยวบินที่ i ถึงจุดปลายทางเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีหรือไม่ ถ้าใช่ไป ข้อที่ 8 ถ้าไม่ใช่ ไปข้อที่ 4
8. พิจารณาว่าระยะเวลาตั้งแต่เที่ยวบินที่ i ออกจากจุดเริ่มต้นจนถึงเวลาที่เที่ยวบินที่ j ถึงจุดปลายทางอยู่ในระยะเวลาตามที่เงื่อนไขกำหนดของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ประกอบไปด้วยเที่ยวบินจำนวนสองเที่ยวบินคือ 9.45 ชม.หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 9 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 4

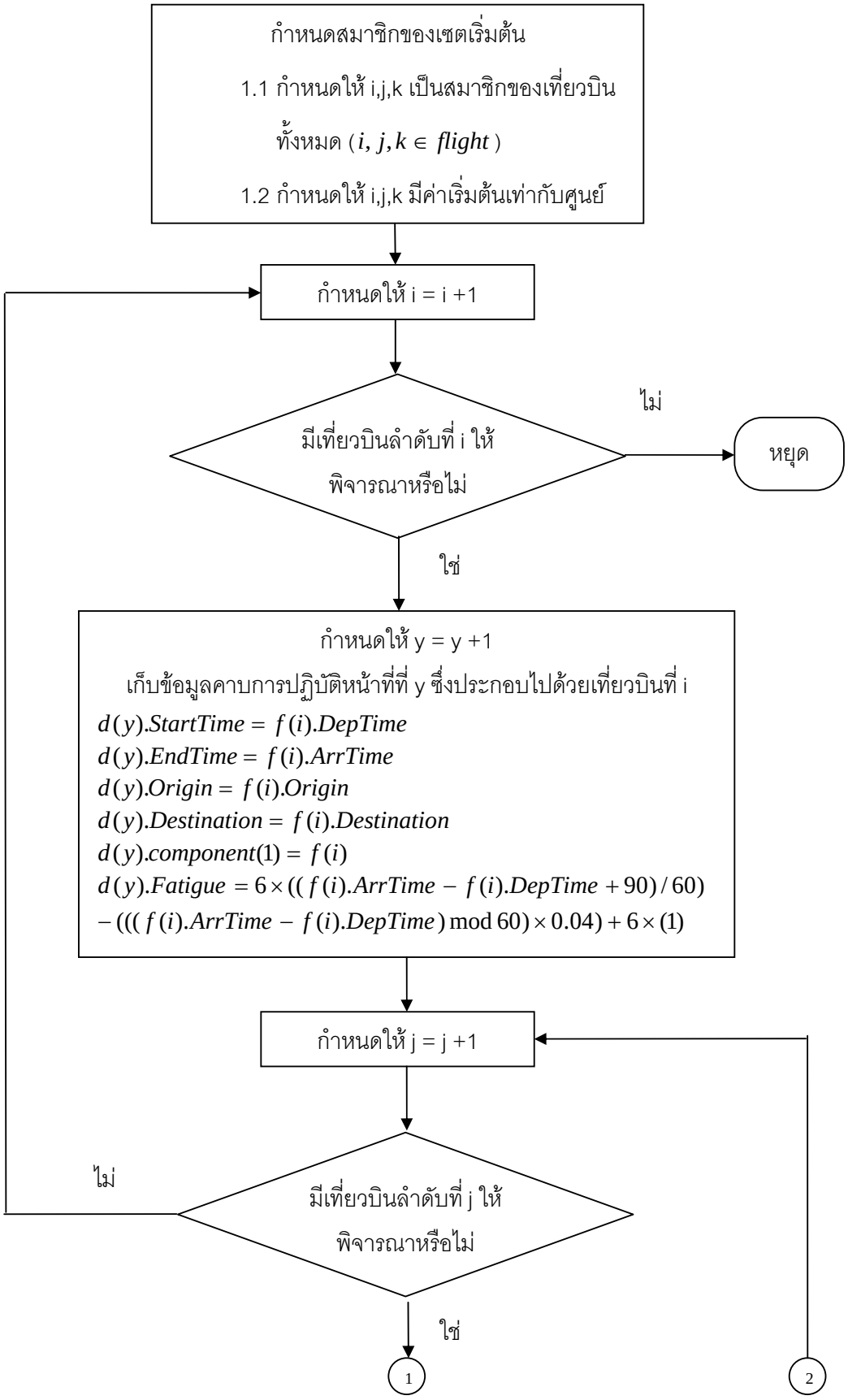
9. พิจารณาว่าค่าความล้าในการทำงานของนักบินในเที่ยวบินที่ i และเที่ยวบินที่ j มีค่าน้อยกว่า 80 หน่วยหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 10 ถ้าไม่ใช่ไป ข้อที่ 4
10. กำหนดให้ y = y + 1 และทำการสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y ซึ่งประกอบด้วยเที่ยวบินที่ i และเที่ยวบินที่ j และไปข้อที่ 11
    - เวลาเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y เท่ากับเวลาออกจากจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ i ($d(y).StartTime = f(i).DepTime$)
    - เวลาสิ้นสุดของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y เท่ากับเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ j ($d(y).EndTime = f(j).ArrTime$)
    - จุดเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ i ($d(y).Origin = f(i).Origin$)
    - จุดปลายทางของคาบการปฏิบัติที่ที่ y คือจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ j ($d(y).Destination = f(i).Destination$)
    - ชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ 1 ของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ i ($d(y).component(1) = f(i)$)
    - ชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ 2 ของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ j ($d(y).component(2) = f(j)$)
    - ค่าความล้าที่คำนวณได้

      $$d(y).Fatigue = 6 \times ((f(j).ArrTime - f(i).DepTime + 90)/60) - (((f(j).ArrTime - f(i).DepTime) \bmod 60) \times 0.04) + 6 \times (2)$$

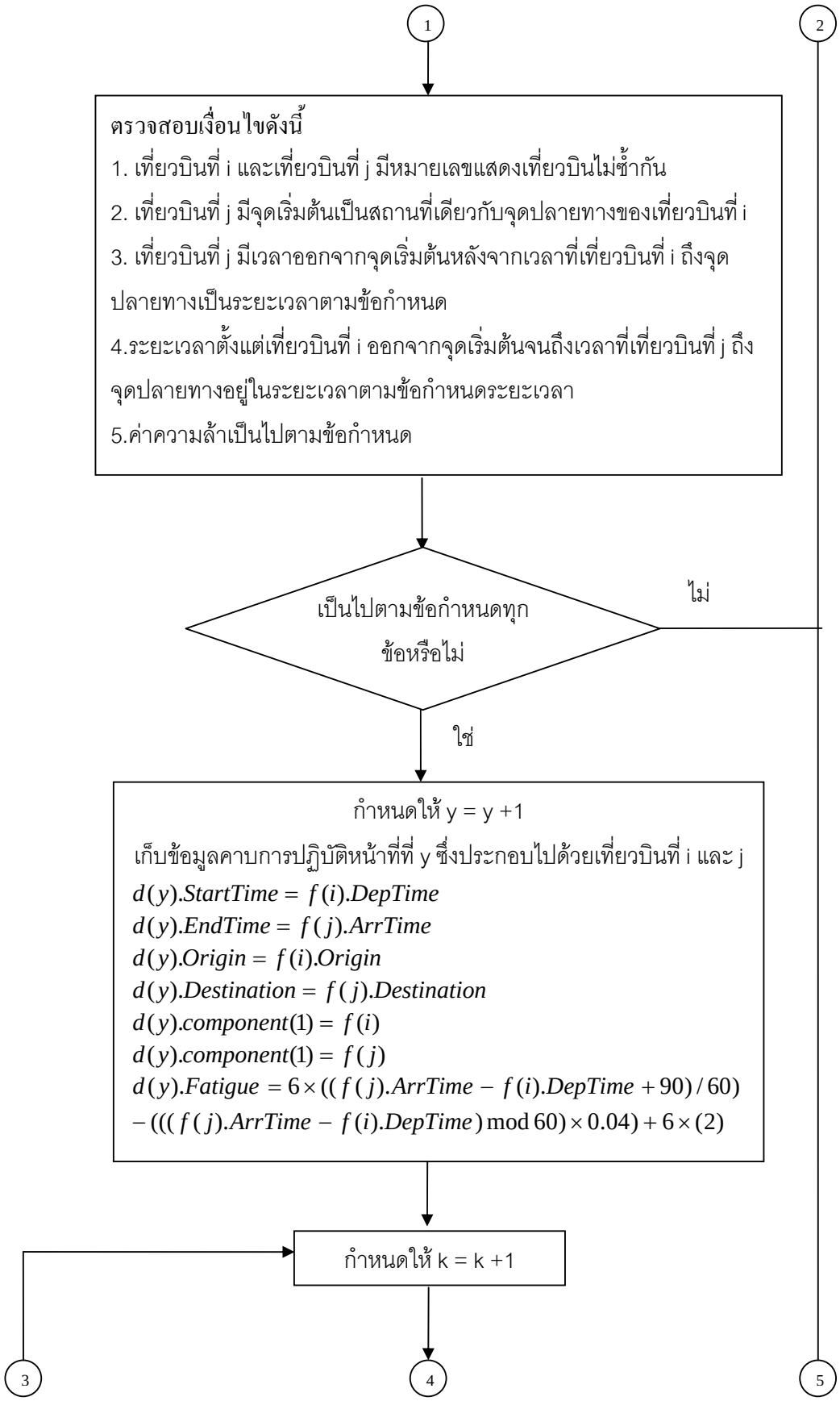
11. กำหนดให้ $k = k + 1$ และทำการพิจารณาว่ามีเที่ยวบินลำดับที่ k ที่ต้องพิจารณาหรือมไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 12 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 4
12. พิจารณาเที่ยวบินที่ k ว่าเที่ยวบินที่ i เที่ยวบินที่ j และเที่ยวบินที่ k มีหมายเลขแสดงเที่ยวบินเดียวกัน $(f(i).ID = f(j).ID) = f(k).ID$ หรือไม่ถ้าใช่ไปข้อที่ 11 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 13
13. พิจารณาว่าเที่ยวบินที่ k มีจุดเริ่มต้นเป็นสถานที่เดียวกับจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ j หรือไม่ $(f(k).Origin = f(j).Destination)$ ถ้าใช่ไปข้อที่ 14 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 11

14. พิจารณาว่าเที่ยวบินที่ k มีเวลาออกจากจุดเริ่มต้นหลังจากเวลาที่เที่ยวบินที่ j ถึงจุดปลายทางเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 15 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 11
15. พิจารณาว่าระยะเวลาตั้งแต่เที่ยวบินที่ i ออกจากจุดเริ่มต้นจนถึงเวลาที่เที่ยวบินที่ k ถึงจุดปลายทางอยู่ในระยะเวลาตามที่เงื่อนไขกำหนดของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ประกอบไปด้วยเที่ยวบินจำนวนสามเที่ยวบินคือ 9.15 ชม.หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 16 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 11
16. พิจารณาว่าค่าความล้าในการทำงานของนักบินในเที่ยวบินที่ i, เที่ยวบินที่ j และเที่ยวบินที่ k มีค่าน้อยกว่า 80 หน่วยหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 17 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 11
17. กำหนดให้ y = y + 1 และทำการสร้างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y ซึ่งประกอบด้วยเที่ยวบินที่ i เที่ยวบินที่ j และเที่ยวบินที่ k และไปข้อที่ 2
    - เวลาเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y เท่ากับเวลาออกจากจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ i ($d(y).StartTime = f(i).DepTime$)
    - เวลาสิ้นสุดของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y เท่ากับเวลาถึงจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ k ($d(y).EndTime = f(k).ArrTime$)
    - จุดเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ i ($d(y).Origin = f(i).Origin$)
    - จุดปลายทางของคาบการปฏิบัติที่ที่ y คือจุดปลายทางของเที่ยวบินที่ k ($d(y).Destination = f(k).Destination$)
    - ชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ 1 ของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ i ($d(y).component(1) = f(i)$)
    - ชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ 2 ของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ j ($d(y).component(2) = f(j)$)
    - ชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ 3 ของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ y คือชุดข้อมูลเที่ยวบินที่ k ($d(y).component(2) = f(k)$)
    - ค่าความล้าที่คำนวณได้

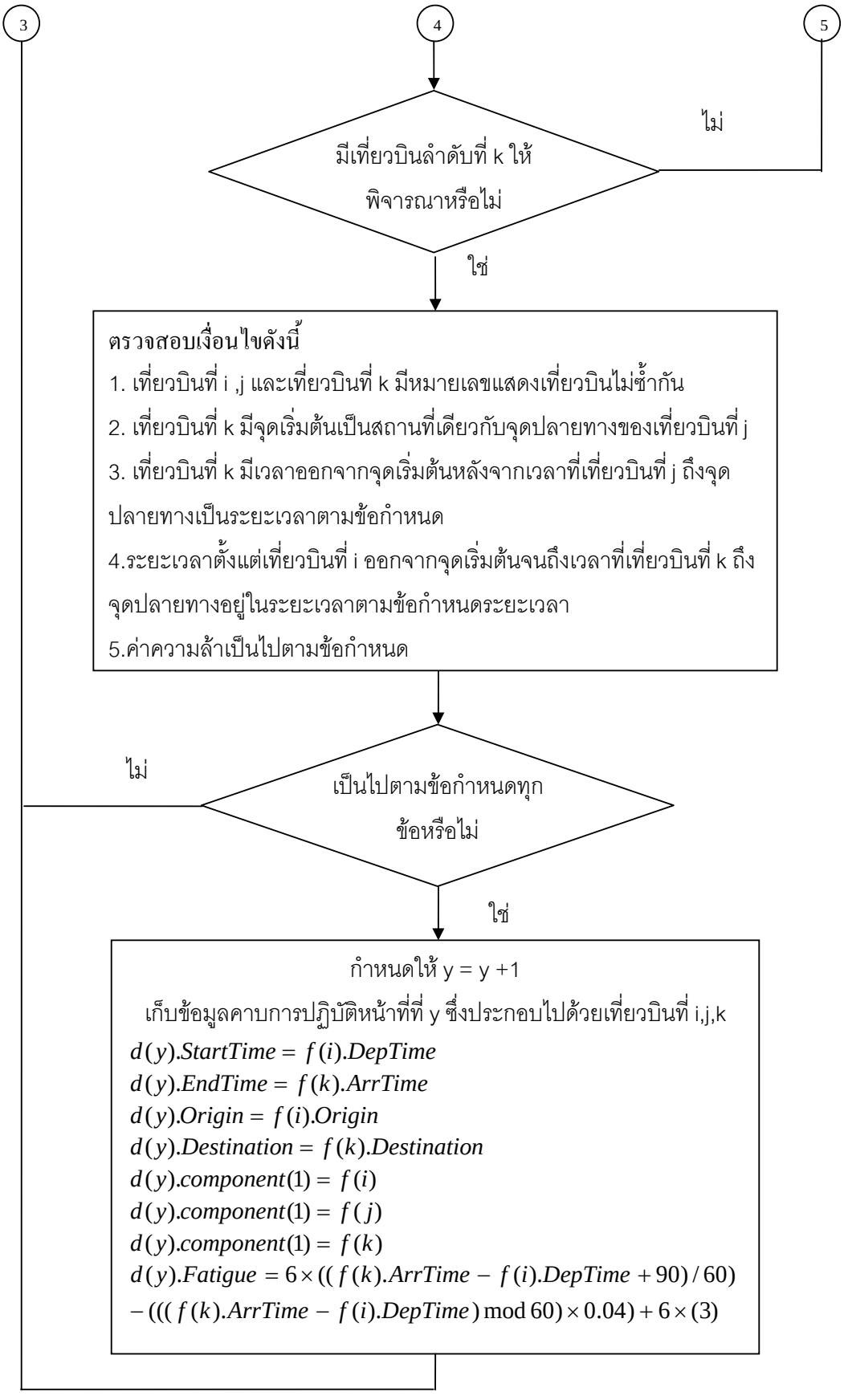
      $$d(y).Fatigue = 6 \times ((f(k).ArrTime - f(i).DepTime + 90)/60) - (((f(k).ArrTime - f(i).DepTime) \bmod 60) \times 0.04) + 6 \times (2)$$



รูปที่ 3.8 แผนภูมิการไหลของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด



รูปที่ 3.9 แผนภูมิการไหลของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (2)



รูปที่ 3.10 แผนภูมิการไหลของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (3)

3.5.2 กระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางการบิน

กระบวนการนี้เริ่มต้นจากการนำคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด มาเป็นข้อมูลนำเข้าสู่กระบวนการหาเส้นทางการบิน โดยแต่ละเส้นทางการบินสามารถประกอบไปด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่จำนวนสูงสุด 3 คาบการปฏิบัติหน้าที่ ทำให้มีจำนวนเที่ยวบินได้สูงสุด 9 เที่ยวบิน และมีค่าความล้าในการทำงานของนักบินของเส้นทางการบินไม่เกิน 80 หน่วย และเป็นไปตามเงื่อนไขเวลาพักผ่อน โดยเก็บข้อมูลของเส้นทางการบินดังต่อไปนี้

$p(z)$	คือ ชุดข้อมูลของเส้นทางการบินที่ z
$p(z).\text{cost}$	คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(1)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 1 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(2)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 2 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(3)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 3 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(4)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 4 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(5)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 5 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(6)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 6 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(7)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 7 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(8)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 8 ในเส้นทางการบินที่ z
$p(z).component(9)$	คือ เที่ยวบินลำดับที่ 9 ในเส้นทางการบินที่ z

เนื่องจากในแต่ละเส้นทางการบินที่ประกอบไปด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่จำนวนมากกว่าหนึ่งคาบการปฏิบัติหน้าที่ จะมีเวลาที่นักบินได้รับการพักผ่อนเกิดขึ้น ซึ่งเวลาที่นักบินได้รับการพักผ่อนนี้ จะทำให้ค่าความล้าในการทำงานของนักบินสะสมรวมที่เกิดขึ้นจากการทำงานในคาบการปฏิบัติหน้าที่ก่อนหน้า มีค่าลดลง ซึ่งอัตราการลดลงของค่าความล้าในการทำงานของนักบินขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่นักบินได้รับการพักผ่อนมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$F = F_{acc} - 8H_n - 4H_d$$

เมื่อ F คือ ค่าความล้าในการทำงานของนักบินของคาบการปฏิบัติหน้าที่

F_{acc} คือ ค่าความล้าในการทำงานของนักบินของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เหลืออยู่ก่อนหน้านี้

H_n คือ ระยะเวลาพักผ่อนที่อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 22.00 ถึง 6.00

H_d คือ ระยะเวลาพักผ่อนที่อยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 6.00 ถึง 22.00

เพื่อให้การง่ายต่อการคำนวณค่าความล้าที่ลดลงจึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงสูตรให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถคำนวณได้ง่ายขึ้น

$$F = F_{acc} - 4H_n - 4(H_n + H_d)$$

โดยที่ $H_n + H_d$ คือระยะเวลาพักผ่อนทั้งหมด ตั้งแต่เวลาถึงเที่ยวบินสุดท้ายของคาบการปฏิบัติหน้าที่ก่อนหน้าถึงเวลาออกเดินทางจากจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินแรกของคาบการปฏิบัติหน้าที่ถัดไป

โดยสูตรในการคำนวณนี้เวลาในการคำนวณจะอยู่ในหน่วยของชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงสูตรให้อยู่ในหน่วยของนาที และทำการหาค่า H_n หรือระยะเวลาพักผ่อนที่อยู่ระหว่าง 22.00 น. ถึงเวลา 6.00 น. มาคำนวณในสูตร

$$F = F_{acc} - round\left[4(H_n / 60) - ((H_n \bmod 60) \times 0.0267)\right]$$
$$- round\left[4(EndTime - StartTime) / 60 - (((EndTime - StartTime) \bmod 60) \times 0.0267)\right]$$

- ขั้นตอนการหาเส้นทางการบินมีดังนี้
  1. กำหนดให้ i,j,k เป็นสมาชิกของคาบการปฏิบัติหน้าที่ทั้งหมด $i, j, k \in duty$ และกำหนดให้ $i = j = k = 0$
  2. กำหนดให้ $i = i + 1$ และทำการพิจารณาว่ามีคาบการปฏิบัติหน้าที่ลำดับที่ i ที่ต้องพิจารณาหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 3 ถ้าไม่ใช่สิ้นสุดขั้นตอนการหาเส้นทางการบิน
  3. พิจารณาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i ว่ามีเวลาออกจากจุดเริ่มต้นอยู่ในช่วงวันจันทร์ถึงวันอาทิตย์แรกหรือวันที่ 1 ถึงวันที่ 7 หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 3 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 2
  4. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i มีจุดเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่อยู่ที่กรุงเทพฯ (BKK) และมีจุดปลายทางของคาบการปฏิบัติหน้าที่อยู่ที่กรุงเทพฯ (BKK) หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 5 ถ้าไม่ใช่ ไปข้อที่ 6
  5. เก็บข้อมูลเส้นทางการบินซึ่งประกอบไปด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i แล้วไปข้อที่ 2
  6. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i มีจุดเริ่มต้นของคาบการปฏิบัติหน้าที่อยู่ที่กรุงเทพฯ (BKK) หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 7 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 2

7. กำหนดให้ $j = j + 1$ และทำการพิจารณาว่ามีคาบการปฏิบัติหน้าที่ลำดับที่ j ที่ต้องพิจารณาหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 8 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 2
8. พิจารณาว่า i = j หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 7 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 9
9. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j มีจุดเริ่มต้นเป็นสถานที่เดียวกับจุดปลายทางของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 10 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 7
10. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j มีเวลาออกจากจุดเริ่มต้นหลังจากเวลาที่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i ถึงจุดปลายทางหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 11 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 7
11. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i และคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j ประกอบด้วยเที่ยวบินที่มีหมายเลขแสดงเที่ยวบิน (ID) ซ้ำกันหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 7 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 12
12. พิจารณาว่าระยะเวลาตั้งแต่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i เริ่มต้นถึงเวลาที่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j สิ้นสุดมีระยะเวลาไม่เกิน 5 วันหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 13 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 7
13. คำนวณหาค่า H_n และทำการพิจารณาว่าค่าความล้าในการทำงานของนักบินสะสมมีค่าไม่เกิน 80 หน่วยหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 14 ถ้าไม่ใช่ไปข้อ 7
14. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j มีจุดปลายทางอยู่ที่กรุงเทพฯ หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 15 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 19
15. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i มีระยะเวลาทำงานน้อยกว่า 11 ชั่วโมง (660 นาที) หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 16 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 18
16. พิจารณาว่าระยะเวลาพักผ่อนระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i ถึงคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j มีระยะเวลาไม่น้อยกว่า 11 ชั่วโมงหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 17 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 7
17. เก็บข้อมูลเส้นทางการบินซึ่งประกอบไปด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i และ j แล้วไปข้อที่ 7
18. กรณีที่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i มีระยะเวลาทำงานมากกว่า 11 ชั่วโมง ทำการพิจารณาว่าระยะเวลาพักผ่อนระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i ถึงคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j มีระยะเวลาไม่น้อยกว่าระยะเวลาทำงานของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 17 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 7

19. กำหนดให้ $k = k + 1$ และทำการพิจารณาว่ามีคาบการปฏิบัติหน้าที่ลำดับที่ k ที่ต้องพิจารณาหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 20 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 7
20. พิจารณาว่า i = j = k หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 21
21. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ k มีจุดเริ่มต้นเป็นสถานที่เดียวกับจุดปลายทางของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 22 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 19
22. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ k มีเวลาออกจากจุดเริ่มต้นหลังจากเวลาที่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j ถึงจุดปลายทางหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 23 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 19
23. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i, คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j และคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ k ประกอบด้วยเที่ยวบินที่มีหมายเลขแสดงเที่ยวบิน (ID) ซ้ำกันหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 24
24. พิจารณาว่าระยะเวลาตั้งแต่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ i เริ่มต้นถึงเวลาที่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ k สิ้นสุดมีระยะเวลาไม่เกิน 5 วันหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 25 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 19
25. คำนวณหาค่า H_n และพิจารณาว่าค่าความล้าในการทำงานของนักบินสะสมมีค่าไม่เกิน 80 หน่วยหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 26 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่19
26. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ k มีจุดปลายทางอยู่ที่กรุงเทพฯ หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 27 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 19
27. พิจารณาว่าคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j มีระยะเวลาทำงานน้อยกว่า 11 ชั่วโมง (660 นาที) หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 28 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 30
28. พิจารณาว่าระยะเวลาพักผ่อนระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j ถึงคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ k มีระยะเวลาไม่น้อยกว่า 11 ชั่วโมงหรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 29 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 19
29. เก็บข้อมูลเส้นทางการบินซึ่งประกอบไปด้วยคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j และ k แล้วไปข้อที่ 19
30. กรณีที่คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j มีระยะเวลาทำงานมากกว่า 11 ชั่วโมง ทำการพิจารณาว่าระยะเวลาพักผ่อนระหว่างคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j ถึงคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ k มีระยะเวลาไม่น้อยกว่าระยะเวลาทำงานของคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่ j หรือไม่ ถ้าใช่ไปข้อที่ 29 ถ้าไม่ใช่ไปข้อที่ 19

3.6 กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณ ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดยทั่วไปหลักแนวคิดในการหาการหาเส้นทางการบิน เป็นลักษณะปัญหาแบบการแบ่งห้อง (Set partitioning problem) คือการหาเส้นทางการบินซึ่งครอบคลุมเที่ยวบินแต่ละเที่ยวบินเพียง 1 ครั้งเท่านั้น แต่สำหรับในส่วนของงานวิจัยนี้ กำหนดให้นักบินสามารถเดินทางเป็นผู้โดยสาร เพื่อไปปฏิบัติหน้าที่ในเที่ยวบินถัดไป ซึ่งมีจุดเริ่มต้นของเที่ยวบินที่ไม่ใช่ฐานที่อยู่ของลูกเรือ หรือเดินทางเป็นผู้โดยสารกลับมายังฐานที่อยู่ของลูกเรือ หลังจากที่ได้ปฏิบัติหน้าที่ ในเที่ยวบินก่อนหน้านั้น (Deadheading) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของการที่นักบินทำการบินในลักษณะของผู้โดยสารนี้ จะมีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินที่เท่ากับการที่นักบินคนดังกล่าว ปฏิบัติหน้าที่ในเส้นทางการบินนั้นๆ ดังนั้นปัญหาที่พิจารณาจะเป็นลักษณะปัญหาแบบครอบคลุม (Set Covering problem) และมีเงื่อนไขของระยะเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พื้นฐานดังนี้

กำหนดให้ F เป็นกลุ่มของเที่ยวบินที่ต้องการพิจารณา

P เป็นกลุ่มของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด

Y_p คือตัวแปรตัวสินใจ ซึ่งจะเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทางการบิน p ถูกเลือก และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

a_{ip} คือสัมประสิทธิ์ของตัวแปร Y_p ใดๆในแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,F\}$

C_p คือค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน p

สมการวัตถุประสงค์

$$Min \quad \sum_{p \in P} C_p Y_p$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_{p \in P} a_{ip} Y_p \geq 1 \qquad \forall i \in F$$

$$Y_p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P$$

แต่เนื่องจากการหาคำตอบโดยนำเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด มาคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ หากจำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด มีขนาดใหญ่มากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว จะไม่สามารถหาคำตอบได้ หรือใช้เวลาในการหาคำตอบมาก ดังนั้นจึงต้องมีอัลกอลิทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ เข้ามาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ โดยมีขั้นตอนในการหาคำตอบดังนี้

1. ทำการสร้างปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร (Restricted master problem) เบื้องต้น ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นทางการบินที่มีเที่ยวบินเพียงหนึ่งเที่ยวบินเท่านั้น มาใช้เป็นกลุ่มของคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) และกำหนดให้มีค่าใช้จ่ายสูงมากๆ เนื่องจากเส้นทางการบินที่เป็นไปได้นั้น จะต้องมีจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของเส้นทางการบิน อยู่ที่ฐานที่อยู่ของลูกเรือเท่านั้น

   กำหนดให้ F เป็นกลุ่มของเที่ยวบินที่ต้องการพิจารณา

   J เป็นกลุ่มของเส้นทางการบินเบื้องต้น

   Y_j คือตัวแปรตัวสินใจ ซึ่งจะเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทางการบิน $j \in \{1,\ldots,J\}$ ถูกเลือกและเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

   a_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_j ใดๆในแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,F\}$

   C_j คือค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน $j \in \{1,\ldots,J\}$

   สมการวัตถุประสงค์ $\min \sum_{j \in J} C_j Y_j$

   สมการเงื่อนไข $\sum_{j \in J} a_{ij} Y_j \geq 1 \qquad \forall i \in F$

   $Y_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J$

2. ทำการแก้ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร (RMP) โดยใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย (Linear Programming Relaxation) เพื่อหาค่าราคาเงาที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Shadow Price) π_i^J ที่คิดจากตัวแปร J ตัว ของแต่ละเงื่อนไขบังคับ $i \in \{1,\ldots,F\}$

3. ทำการแก้ปัญหารอง คือการหาเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่ต่ำที่สุด โดยการนำค่าราคาเงาที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากปัญหาที่ถูกจำกัดตัวแปร มาทำการหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วเพิ่มเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำที่สุดเข้ามาอยู่ในกลุ่มของเส้นทางการบินเบื้องต้น โดยมีการตรวจสอบหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการบิน (ตัวแปร) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ได้ดังนี้

$$\overline{c_j} = c_j - \sum_{i=1}^{m} \pi_i^J a_{ij}$$

เมื่อ $\overline{c_j}$ คือค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการบินที่ $j \in \{1,\ldots,J\}$

4. พิจารณาว่าค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการบินที่มีค่าต่ำที่สุด มีค่าน้อยกว่าศูนย์หรือไม่ หากค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่ต่ำที่สุดมีค่าต่ำกว่าศูนย์ จึงทำการเพิ่มเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำที่สุดนี้ เข้าไปในปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร
5. ทำการแก้ปัญหาที่ถูกจำกัดตัวแปรใหม่ ซึ่งได้มีการเพิ่มเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่ต่ำที่สุดเข้าไปในปัญหาแล้ว
6. ทำการแก้ปัญหารอง เพื่อหาเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำที่สุด หากไม่มีเส้นทางการบินใด มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ ต่ำกว่าศูนย์แล้ว ให้ทำการแก้ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรนั่น โดยวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม (Integer Programming)
7. ทำการยึดตัวแปรที่เป็นคำตอบ ซึ่งได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม แล้วทำการแก้ปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรใหม่อีกครั้ง
8. ทำการแก้ปัญหารอง เพื่อหาเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำที่สุด หากไม่มีเส้นทางการบินใด มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ ต่ำกว่าศูนย์แล้ว คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาหลักด้วย จึงสิ้นสุดกระบวนการ หากยังมีเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ต่ำกว่าศูนย์ ให้กลับไปข้อที่ 4

3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนากระบวนการหาคำตอบของปัญหาการหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุด ผู้วิจัยเลือกใช้ภาษาเบสิก (Visual basic computer language) ในการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด เส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด กระบวนการก่อกำเนิดสดมภ์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) โดยการเรียกใช้ไลบรารี่ (Callable library) ของชุดคำสั่งโปรแกรมเอ็กซ์เพรส (Xpress) เพื่อใช้ในการหาคำตอบ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 จำนวนเที่ยวบินและเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดในแต่ละกลุ่มชนิดและรุ่นของเครื่องบิน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเที่ยวบินต่างๆ ที่เปิดให้บริการของสายการบินกรณีศึกษา ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเที่ยวบิน โดยทำการแยกเที่ยวบินทั้งหมดตามกลุ่มของชนิดของเครื่องบิน และทำการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด และเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่สายการบินกำหนดไว้ โดยสามารถสรุปจำนวนเที่ยวบิน คาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด และเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้ตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 จำนวนเที่ยวบินและเส้นทางการบินทั้งหมดของแต่ละกลุ่มข้อมูล

กลุ่มข้อมูล	จำนวนเที่ยวบินทั้งหมด	จำนวนคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด	จำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด
1	609	10,026	3,486,669
2	291	1,100	10,706
3	62	99	179
4	168	3,097	330,945
5	249	500	2,675
6	272	935	10,095

4.2 ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อทำการแก้ปัญหาโดยไม่ใช้การก่อกำเนิดสดมภ์

ทำการทดลองหาคำตอบเส้นทางการบินที่ดีที่สุด โดยแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม และทดลองแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย โดยไม่ใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ในการแก้ปัญหา ได้ผลลัพธ์ดังนี้

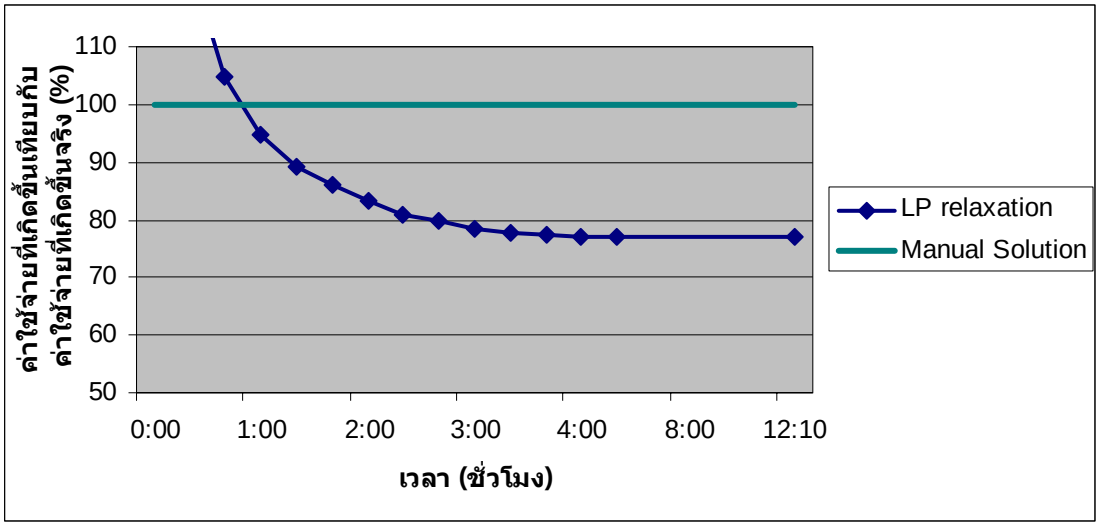
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ที่ได้โดยไม่ใช้กระบวนการที่สร้างขึ้น

กลุ่มข้อมูล	% คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายจริงในปัจจุบัน	เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	%คำตอบของปัญหาแบบผ่อนคลายที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายจริงในปัจจุบัน	เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)
1	N/A	>720	N/A	>720
2	1,407,700	1	1,407,700	1
3	705,600	1	705,600	1
4	N/A	>720	672,539.28	3
5	1,990,800	1	1,990,800	1
6	1,291,800	1	1,291,800	1

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการในการหาคำตอบแบบปกติ โดยไม่ใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ ไม่สามารถหาคำตอบเส้นทางการบินที่ดีที่สุดได้ทุกกลุ่มข้อมูล ในกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มาก ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายได้ และเมื่อทำการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็มกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่กำหนดเช่นกัน

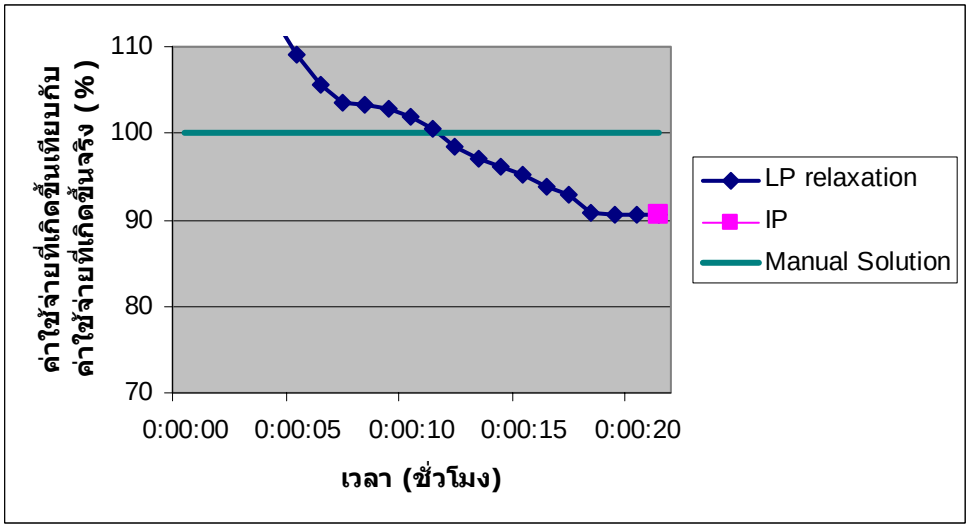
4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคำนวณโดยใช้การก่อกำเนิดสดมภ์

หลังจากที่ได้ทำการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อนำมาใช้ในการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว นำเส้นทางการบินที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการสร้างเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดมาเข้ากระบวนการคำนวณหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุด ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium M 1.3 GHz, 1536 MB of ram สามารถสรุปผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคำนวณ โดยใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบตัวแปรเดียว โดยใช้วิธี dual simplex method ในการหาคำตอบของกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย โดยแต่ละชุดข้อมูลสามารถแสดงกราฟผลของการหาคำตอบเมื่อเทียบกับเวลา สรุปได้ดังต่อไปนี้



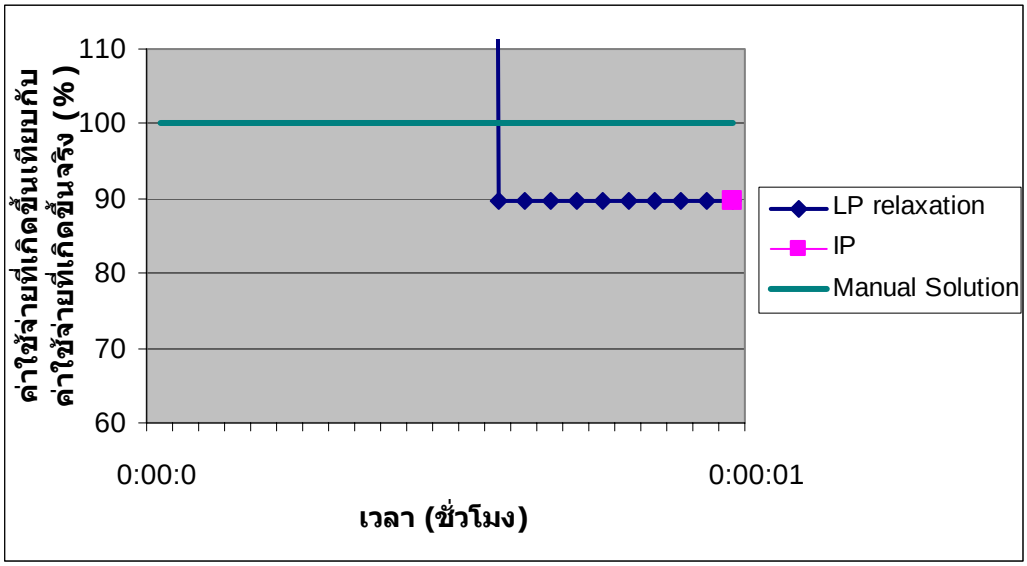
รูปที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 1

จากรูปที่ 4.1 ผลการแก้ปัญหาของกลุ่มข้อมูลที่ 1 พบว่าไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ในระยะเวลา 12 ชั่วโมง โดยใช้เวลาในการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มมากกว่า 8 ชั่วโมง



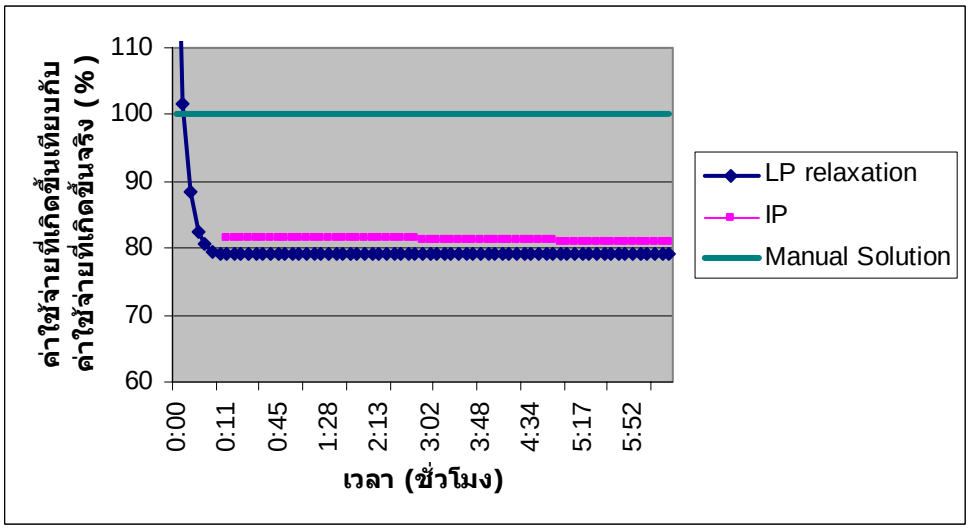
รูปที่ 4.2 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 2

จากรูปที่ 4.2 ผลการแก้ปัญหาของกลุ่มข้อมูลที่ 2 พบว่าสามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ในระยะเวลา 20 วินาทีเท่านั้น โดยคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุด มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินคิดเป็น 90.58% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้คิดเป็น 9.42%



รูปที่ 4.3 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 3

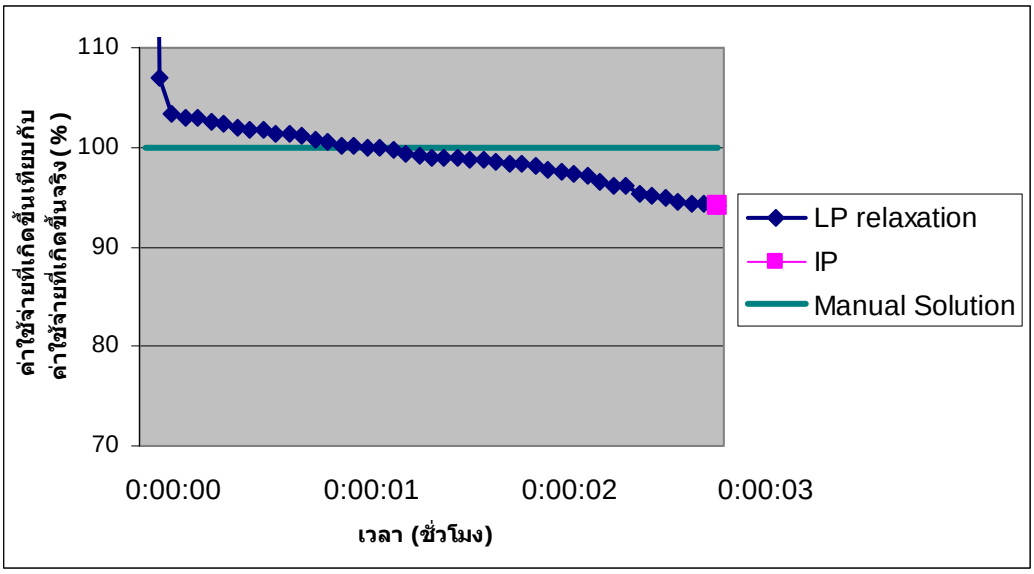
จากรูปที่ 4.3 ผลการแก้ปัญหาของกลุ่มข้อมูลที่ 3 พบว่าสามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ในระยะเวลา 1 วินาทีเท่านั้น โดยคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุด มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินคิดเป็น 89.63% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ คิดเป็น 10.37%



รูปที่ 4.4 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 4

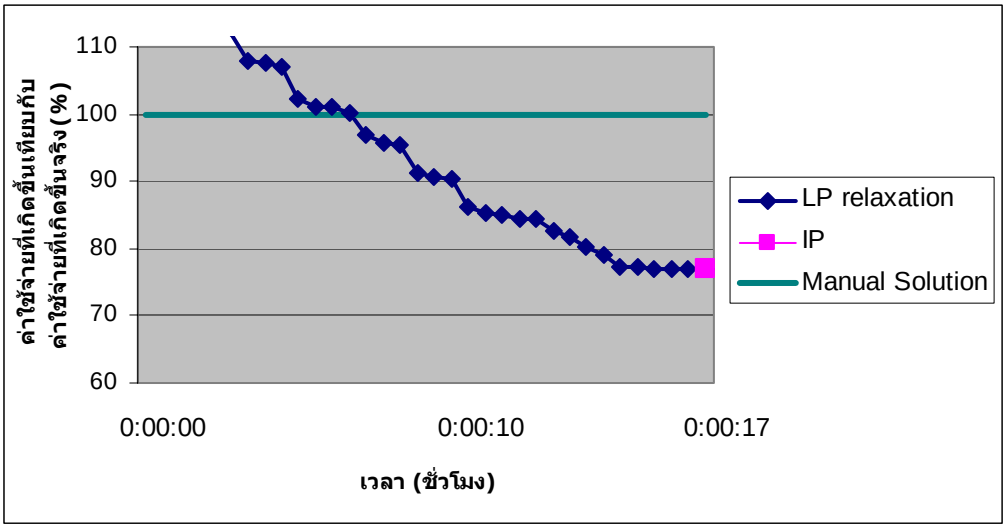
จากรูปที่ 4.4 ผลการแก้ปัญหาของกลุ่มข้อมูลที่ 4 พบว่าสามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ โดยสามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ตั้งแต่นาทีที่ 300 หรือ 5 ชั่วโมง ของการ

แก้ปัญหา แต่ไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุดได้ ในระยะเวลา 12 ชั่วโมง โดยคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่สามารถหาคำตอบได้ใน 12 ชั่วโมงนั้น มีแนวโน้มของการพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีกว่าน้อยเมื่อเทียบกับเวลา โดยคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุดที่หาได้นั้น มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินคิดเป็น 81.11% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ คิดเป็น 18.89%



รูปที่ 4.5 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 5

จากรูปที่ 4.5 ผลการแก้ปัญหาของกลุ่มข้อมูลที่ 5 พบว่าสามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ในระยะเวลา 3 วินาทีเท่านั้น โดยคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุด มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินคิดเป็น 94.06% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ คิดเป็น 5.94%



รูปที่ 4.6 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 6

จากรูปที่ 4.6 ผลการแก้ปัญหาของกลุ่มข้อมูลที่ 6 พบว่าสามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ในระยะเวลา 17 วินาทีเท่านั้น โดยคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุด มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบิน 76.87% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ คิดเป็น 23.13%

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบทุกกลุ่มข้อมูล

ชุดข้อมูล	1	2	3	4	5	6
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	609	291	62	268	249	272
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	2,190	586	40	927	323	628
เวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุด (นาที)	>720	0:21	0:01	>720	0:02	0:17
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	77.05	90.58	89.63	79.22	96.04	76.87
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	N/A	90.58	89.63	81.11	96.04	76.87
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เทียบกับค่า LP relaxation	N/A	0	0	2.39	0	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มกับค่าใช้จ่ายจริง	N/A	9.42	10.37	18.89	5.94	23.13

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อทำการทดลองหาคำตอบด้วยกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้ พบว่าสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่ากรณีที่แก้ปัญหาตามวิธีปกติ แต่ในบางกลุ่มข้อมูลไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ในระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงเงื่อนไขในการหาคำตอบ เพื่อให้สามารถหาเส้นทางการบินที่เหมาะสมได้ในระยะเวลาที่กำหนด

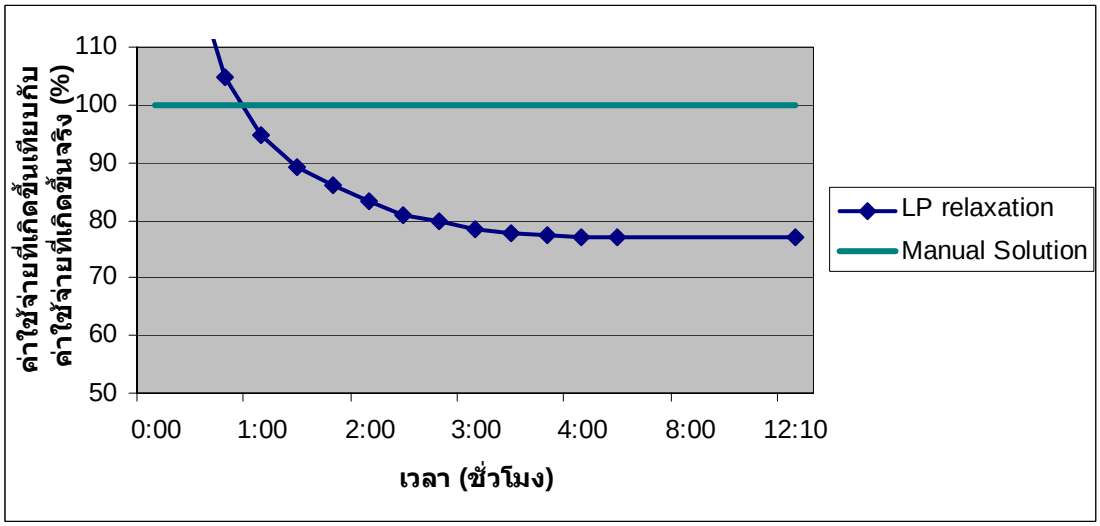
บทที่ 5

การทดลองปรับปรุงเงื่อนไขของการหาคำตอบ

เมื่อพิจารณาผลของการหาคำตอบด้วยกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้ พบว่าในชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ภายในเวลา 12 ชั่วโมงที่กำหนดไว้ ซึ่งจากการพิจารณาผลลัพธ์และเวลาของคำตอบ ที่ได้จากกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มของปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็มมีระยะเวลานาน และในกรณีชุดข้อมูลที่สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ภายในเวลา 12 ชั่วโมงนั้น แต่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงทำการปรับปรุงกฎเกณฑ์เงื่อนไขของการหาคำตอบได้ดังนี้

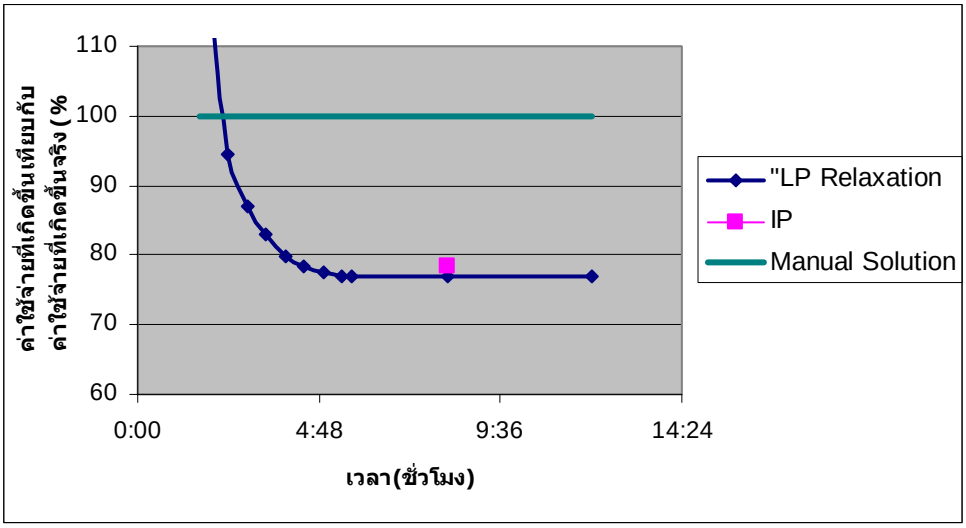
5.1 การกำหนดความแตกต่าง (Gap) ของการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม

โดยการอนุญาตให้มีความแตกต่าง (Gap) ระหว่างคำตอบจำนวนเต็มที่เจอ (Feasible Integer Solution) กับค่าขอบเขตคำตอบที่ดีที่สุด (Best bound) ได้ไม่เกิน 0.3% และ 0.5% โดยสามารถแสดงกราฟผลของการทดลองการหาคำตอบเมื่อเทียบกับเวลา สรุปได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มชนิดข้อมูลที่ 1 ที่ Gap 0.3%

จากรูปที่ 5.1 พบว่าเมื่อกำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) ระหว่างคำตอบจำนวนเต็มที่เจอ (Feasible Integer Solution) กับค่าขอบเขตของคำตอบที่ดีที่สุด (Best Bound) ไม่เกิน 0.3% กลุ่มข้อมูล AB6 ไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ในระยะเวลา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 5.2 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มชนิดข้อมูลที่ 1 ที่ Gap 0.5%

จากรูปที่ 5.2 เมื่อกำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) ระหว่างคำตอบจำนวนเต็มที่เจอ (Feasible Integer Solution) กับค่าขอบเขตของคำตอบที่ดีที่สุด (Best Bound) ไม่เกิน 0.5% กลุ่มข้อมูลที่ 1 สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ที่เวลาประมาณ 8 ชั่วโมงซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดมีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินคิดเป็น 78.02% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ คิดเป็น 21.98% โดยสามารถเปรียบเทียบการกำหนดค่าความแตกต่างระหว่าง 0.3% และ 0.5% ของข้อมูลชุดที่ 1 ได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 1

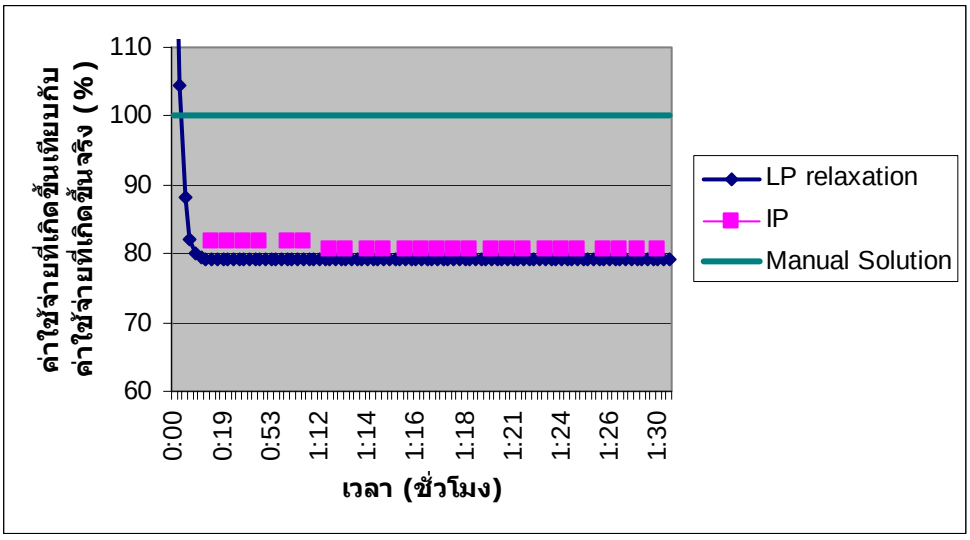
% Gap	0.3	0.5
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	609	609
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	2,173	2,198
เวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุด (นาที)	N/A	690
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	77.05	77.05
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	N/A	78.02
% ความแตกต่างของคำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุดเทียบกับกรณีความแตกต่าง 0%	N/A	N/A
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เทียบกับ LP relaxation	N/A	1.58
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	N/A	21.98

ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 2

% Gap	0.3	0.5
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	291	291
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	586	586
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	0:21	0:21
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	90.58	90.58
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	90.58	90.58
% ความแตกต่างของคำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุดเทียบกับกรณีความแตกต่าง 0%	0	0
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เทียบกับ LP relaxation	0	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	9.42	9.42

ตารางที่ 5.3 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 3

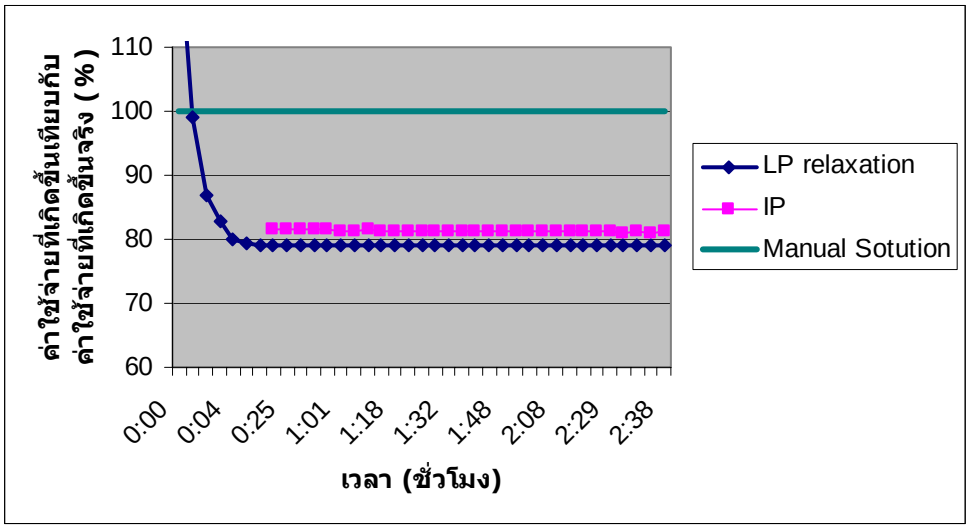
% Gap	0.3	0.5
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	62	62
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	40	40
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	0:01	0:01
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	89.63	89.63
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	89.63	89.63
% ความแตกต่างของคำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุดเทียบกับกรณีความแตกต่าง 0%	0	0
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP	0	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	10.37	10.37



รูปที่ 5.3 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มข้อมูลที่ 4 ที่ Gap 0.3%

จากรูปที่ 5.3 พบว่าเมื่อกำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) ระหว่างคำตอบจำนวนเต็มที่เจอ (Feasible Integer Solution) กับค่าขอบเขตของคำตอบที่ดีที่สุด (Best Bound) ไม่เกิน 0.3% กลุ่มข้อมูลที่ 4 สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ที่เวลาประมาณ 8 ชั่วโมงซึ่งคำตอบที่

ดีที่สุด มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินคิดเป็น 80.92% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ คิดเป็น 19.08%



รูปที่ 5.4 กราฟการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของกลุ่มชนิดเครื่องบิน B734 ที่ Gap 0.5%

จากรูปที่ 5.4 พบว่าเมื่อกำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) ระหว่างคำตอบจำนวนเต็มที่เจอ (Feasible Integer Solution) กับค่าขอบเขตของคำตอบที่ดีที่สุด (Best Bound) ไม่เกิน 0.5% กลุ่มข้อมูลที่ 4 สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ ที่เวลาประมาณ 8 ชั่วโมงซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินคิดเป็น 80.98% ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ คิดเป็น 19.02% โดยสามารถเปรียบเทียบการกำหนดค่าความแตกต่างระหว่าง 0.3% และ 0.5% ของข้อมูลชุดที่ 4 ได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.4 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 4

% Gap	0.3	0.5
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	268	268
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	>943	>800
เวลาในใช้ในการแก้ปัญหา	>720	>720
เวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุด (นาที)	88	151
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	79.22	79.22
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	80.72	80.98
% ความแตกต่างของคำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุดเทียบกับกรณีความแตกต่าง 0%	0.48	0.16
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เทียบกับ LP relaxation	2.15	2.22
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	19.08	19.02

คำตอบที่ได้จากกรณีที่ไม่กำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) ระหว่างคำตอบจำนวนเต็มที่เจอ (Feasible Integer Solution) กับค่าขอบเขตของคำตอบที่ดีที่สุด (Best Bound) ของกลุ่มข้อมูลที่ 4 พบว่าคำตอบที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลของการหาคำตอบในแต่ละครั้ง พบว่ากลุ่มตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาหลัก โดยวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบตัวแปรเดียว มีความแตกต่างกัน เนื่องจากคำตอบในแต่ละครั้งของการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายนั้น มีคำตอบที่ดีที่สุดหลายคำตอบ ทำให้ค่าราคาเงาที่เหมาะสม (Shadow Price) แตกต่างกัน เมื่อกลุ่มตัวแปรที่ถูกเพิ่มเข้ามาเพื่อหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มมีความแตกต่างกัน ทำให้คำตอบที่ได้มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 5.5 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 5

% Gap	0.3	0.5
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	249	249
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	323	323
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	0:02	0:02
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	94.06	94.06
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	94.06	94.06
% ความแตกต่างของคำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุดเทียบกับกรณีความแตกต่าง 0%	0	0
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP	0	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	5.94	5.94

ตารางที่ 5.6 ผลลัพธ์ที่ได้ในการหาคำตอบที่กำหนดค่า Gap ของกลุ่มข้อมูลที่ 6

% Gap	0.3	0.5
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	272	272
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	628	628
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	0:17	0:17
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	76.87	76.87
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	76.87	76.87
% ความแตกต่างของคำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุดเทียบกับกรณีความแตกต่าง 0%	0	0
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP	0	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	23.13	23.13

เมื่อทำการกำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) ระหว่างคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่หาเจอกับค่าขอบเขตของคำตอบที่ดีที่สุด (Best bound) พบว่าสามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้เร็วขึ้น ตัวอย่างเช่นกลุ่มข้อมูลที่ 1 จากเดิมที่ไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้เมื่อทำการกำหนดค่าความแตกต่างไว้เท่ากับ 0.5% สามารถหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ในระยะเวลา 12 ชั่วโมง ส่วนกลุ่มข้อมูลที่ 4 คำตอบที่ได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการที่คำตอบที่ดีที่สุดมีหลายคำตอบ แต่ผลคำตอบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก และเมื่อทำการทดลองกับกลุ่มข้อมูลอื่นๆ ซึ่งสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ เมื่อไม่ได้กำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) พบว่าคำตอบที่ได้ เมื่อทำการกำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) นั้น ไม่มีความแตกต่างกับกรณีที่ไม่มีการกำหนดค่าความแตกต่าง (Gap) ดังผลในตารางที่ 5.3 – 5.6

5.2 การทดลองหาคำตอบของกลุ่มข้อมูลที่มีแนวโน้มการพัฒนาของคำตอบน้อย

ในกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่นั้น การหาคำตอบที่ดีที่สุดไม่สามารถสิ้นสุดลงได้ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมงที่กำหนดไว้ และเมื่อทำการวิเคราะห์กราฟของผลลัพธ์ที่ได้นั้น พบว่าคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ได้ มีการแนวโน้มของการพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ จึงทำการทดลองดังนี้

5.2.1 การทดลองตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม

ทำการตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่หาเจอ (Feasible Integer Solution) หากการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ได้ มีผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวนเต็มเท่ากันเป็นจำนวน 3 ครั้ง, 5 ครั้ง และ 10 ครั้งติดต่อกัน ที่จะใช้ในการหยุดการหาคำตอบ ที่สามารถยอมรับได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการหาคำตอบถึง 12 ชั่วโมง โดยเมื่อทำการพิจารณากลุ่มข้อมูล B734 ซึ่งไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.7 ผลการตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มของกลุ่มข้อมูลที่ 4 gap 0.3%

เงื่อนไข	ปกติ	จำนวนคำตอบที่เท่ากันที่พบ		
		3	5	10
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	268	268	268	268
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	>943	787	793	809
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	>720	40	63	76
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	79.21	79.21	79.21	79.21
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	80.72	81.83	81.83	80.72
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	2.15	3.30	3.30	2.15
% ความแตกต่างระหว่างกรณีปกติกับกรณีที่ตรวจสอบคำตอบ	0	1.37	1.37	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	19.08	18.17	18.17	19.08

จากตารางที่ 5.7 พบว่าเมื่อทำการกำหนดเงื่อนไขของการหาคำตอบ ที่สามารถยอมรับได้ ที่จำนวนคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่เท่ากัน 3 และ 5 จำนวนพบว่า มีความแตกต่างกับคำตอบที่ได้ในกรณีที่ไม่มีเงื่อนไขคิดเป็น 1.37% แต่เมื่อกำหนดเงื่อนไขให้คำตอบที่เป็นจำนวนเต็มเท่ากัน 10 ครั้งติดกัน พบว่าคำตอบที่ได้เท่ากับกรณีที่ไม่มีเงื่อนไขของการหาคำตอบ

ตารางที่ 5.8 ผลการตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มของกลุ่มข้อมูลที่ 4 gap 0.5%

เงื่อนไข	ปกติ	จำนวนคำตอบที่เท่ากันที่พบ		
		3	5	10
จำนวนตัวแปรเริ่มต้น	268	268	268	268
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	>800	779	786	786
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	>720	36	58	108
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	79.22	79.22	79.22	79.22
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	80.98	81.70	81.70	81.37
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	2.17	3.03	3.03	2.71
% ความแตกต่างระหว่างกรณีปกติกับกรณีที่ตรวจสอบคำตอบ	0	0.88	0.88	0.48
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	19.02	18.30	18.30	18.63

จากตารางที่ 5.8 เมื่อทำการกำหนดเงื่อนไขของการหาคำตอบของข้อมูลชุดที่ 4 โดยกำหนดให้สามารถยอมรับได้ ที่จำนวนคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่เท่ากัน 3 และ 5 จำนวน พบว่า มีความแตกต่างกับคำตอบที่ได้ในกรณีที่ไม่มีเงื่อนไข คิดเป็น 0.88% แต่เมื่อกำหนดเงื่อนไขให้คำตอบที่เป็นจำนวนเต็มเท่ากัน 10 ครั้งติดกัน พบว่าคำตอบที่ได้แตกต่างกับคำตอบที่ได้ในกรณีที่ไม่มีเงื่อนไข คิดเป็น 0.48%

สามารถสรุปได้ว่าการกำหนดเงื่อนไขในการหาคำตอบ โดยการตรวจสอบคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ได้จากการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม พบว่าสามารถหยุดการหาคำตอบได้เร็วขึ้น และคำตอบที่ได้จากเงื่อนไขนี้ มีความแตกต่างกับกรณีที่ไม่มีเงื่อนไขไม่มากนัก เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีขึ้น

5.2.2 การทดลองหาค่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ

ทำการเปรียบเทียบ คำตอบของการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย (Linear Programming Relaxation) ที่หาได้ในแต่ละครั้ง มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ผลต่างความเปลี่ยนแปลงของคำตอบ ว่ามีแนวโน้มที่จะหาคำตอบได้ดีขึ้น หรือมีแนวโน้มของการพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีขึ้นน้อย โดยทำการตรวจสอบแนวโน้มทุกๆ จำนวนรอบที่กำหนดไว้ของการหาคำตอบของปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย หากค่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปสู่คำตอบที่ดีขึ้น มีค่าน้อยกว่า 1 % ให้เข้าสู่การแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม เพื่อหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุด แล้วนำคำตอบที่ได้ มาตรวจสอบแก้ปัญหารอง หากไม่มีตัวแปรที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าศูนย์ คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด หรือหากคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม ไม่มีแนวโน้มของการพัฒนาไปสู่คำตอบ คือได้คำตอบที่เป็นจำนวนเต็มเท่ากัน 3 ครั้งติดกัน ให้หยุดการหาคำตอบ โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.9 ผลลัพธ์ของการทดลองข้อมูลที่ 4 เมื่อกำหนด Gap 0.3%

จำนวนรอบในการตรวจสอบค่าแนวโน้ม	50	100	200	300
% ค่าแนวโน้มที่กำหนดไว้ของผลค่าใช้จ่าย	1	1	1	1
จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้ง	1	1	1	1
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	816	828	830	764
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	90	62	40	90
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	79.22	79.22	79.22	79.22
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	81.18	81.44	80.98	81.37
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	2.48	2.8	2.22	2.71
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	18.82	18.56	19.02	18.63

ตารางที่ 5.10 ผลลัพธ์ของการทดลองกลุ่มข้อมูลที่ 4 เมื่อกำหนด Gap 0.5%

จำนวนรอบในการตรวจสอบค่าแนวโน้ม	50	100	200	300
% ค่าแนวโน้มที่กำหนดไว้ของผลค่าใช้จ่าย	1	1	1	1
จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้ง	1	1	1	1
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	790	809	821	764
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	130	37	32	90
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	79.22	79.22	79.22	79.22
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	81.89	81.44	81.44	81.37
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	3.37	2.8	2.8	2.71
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	18.12	18.56	18.56	18.63

เมื่อพิจารณาจำนวนรอบต่างๆ ที่ใช้ทดลองตรวจสอบค่าแนวโน้มของคำตอบ พบว่า เมื่อทำการตรวจสอบค่าแนวโน้มที่จำนวนรอบน้อยกว่า จะใช้ในเวลามากกว่าในการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุด เนื่องจากค่าแนวโน้มของคำตอบของปัญหาเชิงเส้นตรงแบบผ่อนคลาย มีค่าแนวโน้มที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มตั้งแต่ช่วงที่กลุ่มของตัวแปรที่หาคำตอบ ยังไม่ใช่กลุ่มตัวแปรที่เป็นตัวแทนของคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นใช้เวลาในการหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่จำเป็น ทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่ากรณีที่ตรวจสอบค่าแนวโน้มที่มีจำนวนรอบน้อยกว่า แต่เมื่อมีการตรวจสอบค่าแนวโน้มที่จำนวนรอบมากขึ้นพบว่าค่าแนวโน้มที่ได้นั้น มีค่ามากกว่าค่าแนวโน้มที่กำหนดไว้ จึงไม่มีผลให้สามารถเข้าสู่การหาคำตอบที่เป็นจำนวนเต็มได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าการตรวจสอบค่าแนวโน้มของคำตอบของปัญหาเชิงเส้นตรงแบบผ่อนคลาย ไม่สามารถช่วยให้สามารถหาคำตอบได้เร็วขึ้นได้

5.3 การทดลองใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร

เมื่อพิจารณาการหาเส้นทางการบินของกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ พบว่าไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ในระยะเวลาที่กำหนด จึงทำการทดลองเปลี่ยนกระบวนการหาเส้นทางการบินที่จะเพิ่มเข้ามาในปัญหาหลัก จากการใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบตัวแปรเดียว เป็นการใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร โดยกำหนดให้จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้งเริ่มต้นที่ประมาณ 0.05% ของจำนวนตัวแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งทำการทดลองกับกลุ่มข้อมูล 4 ชุดด้วยกัน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 5.11 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 1

จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้ง	500 (0.014%)	1,000 (0.028%)	2,000 (0.05%)	4000 (0.12%)	5,000 (0.15%)
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	144,000	>199,000	>260000	>332,000	395,000
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	407	>720	>720	>720	>720
เวลาที่เจอคำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (นาที)	407	450	463	700	710
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	77.05	77.05	77.05	77.05	77.05
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	77.30	77.14	77.23	77.28	77.33
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	0.33	0.12	0.24	0.30	0.37
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	22.70	22.86	22.77	22.72	22.67

จากตารางที่ 5.11 พบว่าสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ 1 เมื่อจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาในแต่ละครั้งของวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร มีค่าประมาณ 0.015% ของจำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบเพียง 7 ชั่วโมงโดยประมาณ และเมื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวแปร ที่จะเพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้งของวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร จะทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบมากขึ้น เนื่องจากจำนวนตัวแปรในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบจำนวนเต็มนั้น มีจำนวนมาก ทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบมากขึ้น

ตารางที่ 5.12 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 2

จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้ง	5 (0.05%)	10 (0.1%)	20 (0.2%)	40 (0.4%)	80 (0.8%)
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	2,240	2,230	2,300	2,600	3,280
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	0:10	0:05	0:03	0:02	0:02
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	90.58	90.58	90.58	90.58	90.58
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	90.58	90.58	90.58	90.58	90.58
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	0	0	0	0	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42

จากตารางที่ 5.12 พบว่าสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ 2 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหามากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปทั้งหมด พบว่ามีจำนวนไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นที่จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหามีจำนวนมาก จะทำให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบน้อยลง เนื่องจากมีจำนวนรอบของการเพิ่มตัวแปรเข้าไปในปัญหาน้อยกว่า

ตารางที่ 5.13 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 4

จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้ง	100 (0.03%)	150 (0.045%)	200 (0.06%)	250 (0.075%)	300 (0.09%)
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	23,300	27,150	30,200	33,000	35,100
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	10	10	7	12	12
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	79.22	79.22	79.22	79.22	79.22
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	79.41	79.54	79.67	79.41	79.41
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	0.25	0.41	0.57	0.25	0.25
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	20.59	20.46	20.33	20.59	20.59

จากตารางที่ 5.13 พบว่าสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ 4 เมื่อจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาในแต่ละครั้งของวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร มีค่าประมาณ 0.05% ของจำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบเพียง 7 นาทีโดยประมาณ โดยเมื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวแปรที่จะเพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้งของวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร จะใช้เวลาในการหาคำตอบมากขึ้น

ตารางที่ 5.14 ผลลัพธ์เมื่อใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรของกลุ่มข้อมูลที่ 6

จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาต่อครั้ง	5 (0.05%)	10 (0.1%)	20 (0.2%)	40 (0.4%)	80 (0.8%)
ผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไป	2,015	2,080	2,220	2,560	3,120
เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)	0:09	0:04	0:03	0:02	0:02
%คำตอบที่ดีที่สุด (LP Relaxation) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	76.87	76.87	76.87	76.87	76.87
%คำตอบจำนวนเต็มที่ดีที่สุด (IP) เทียบกับค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน	76.87	76.87	76.87	76.87	76.87
% ผลต่าง LP relaxation กับ IP เมื่อเทียบกับ LP relaxation	0	0	0	0	0
%ผลต่างคำตอบจำนวนเต็มที่กับค่าใช้จ่ายจริง	23.13	23.13	23.13	23.13	23.13

จากตารางที่ 5.14 พบว่าสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ 6 มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มข้อมูลที่ 2 คือเมื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหามากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาผลจำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปทั้งหมด พบว่ามีจำนวนไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นที่จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหามีจำนวนมาก จะทำให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบน้อยลง เนื่องจากมีจำนวนรอบของการเพิ่มตัวแปรเข้าไปในปัญหาน้อยกว่า

ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการโดยเปลี่ยนวิธีการเพิ่มตัวแปรเข้าไปในปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร เพื่อหาตัวแปรที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ที่ต่ำกว่าศูนย์ โดยใช้วิธีก่อกำเนิดสดมภ์แบบตัวแปรเดียว เป็นการใช้วิธีก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปรสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดลงได้รวดเร็วยิ่งขึ้น แต่จำนวนตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาในแต่ละครั้งที่เหมาะสมนั้น เป็นสัดส่วนต่อจำนวนเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่

ไม่แน่นอน ส่วนในกรณีที่ปัญหาเล็กลงมา การใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบตัวแปรตัวนั้น ใช้เวลาไม่นานนัก ดังนั้นเวลาที่น้อยลงจากการใช้วิธีก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร จึงไม่มีนัยสำคัญมากนัก

จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบหลายตัวแปร ในการเพิ่มตัวแปรเข้าไปในปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปร สามารถแก้ปัญหาได้เร็วกว่าวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์แบบตัวแปรเดียว แต่ไม่สามารถหาสัดส่วนจำนวนตัวแปรที่จะเพิ่มเข้าไปในปัญหาหลักที่ถูกจำกัดตัวแปรกับตัวแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่เหมาะสมได้ ซึ่งผู้วิจัยแนะนำให้สัดส่วนจำนวนตัวแปรที่เพิ่มในแต่ละครั้งนั้น ไม่ควรมากกว่า 0.5% จะสามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่ยอมรับได้กับทุกขนาดข้อมูล

5.4 การทดสอบความไวของการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหานี้ คือเส้นทางการบินที่จะนำไปใช้ในการจัดตารางการบินให้กับนักบินต่อไป ซึ่งเมื่อนำไปใช้เป็นเส้นทางการบินจริงนั้น อาจมีความไม่แน่นอนของเวลาในการบินเกิดขึ้น เช่น เที่ยวบินมีความล่าช้ากว่ากำหนดการบินตามตารางการบินจริง ดังนั้นจึงทำทดลองกำหนดให้เที่ยวบินเกิดการล่าช้าในการบิน แล้วตรวจสอบว่าเส้นทางการบินที่เกิดขึ้นเมื่อเที่ยวบินมีความล่าช้านั้น มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเส้นทางการบินเดิมอย่างไร โดยทำการทดลองให้เที่ยวบินมีความล่าช้าเป็นจำนวน 10% และ 15% ของเที่ยวบินทั้งหมดของกลุ่มข้อมูล โดยกำหนดให้มีความล่าช้าระหว่าง 15-30 นาที และ 30-45 นาที ทำการสุ่มข้อมูลเป็นจำนวน 3 ชุดข้อมูล โดยทำการทดลองกับกลุ่มข้อมูลที่ 2 และทดลองให้เที่ยวบินมีความล่าช้าเป็นจำนวน 10% ของเที่ยวบินทั้งหมดโดยมีความล่าช้า 15-30 นาที กับกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 5.15 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 10% ระหว่าง 15-30 นาที

ชุดข้อมูล	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
จำนวนเส้นทางการบินปกติ	117	117	117
จำนวนเส้นทางการบินเมื่อเที่ยวบินมีความล่าช้า	115	116	117
จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	105	106	111
% จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	89.74	90.60	94.87
% ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น	0.31	0.75	0

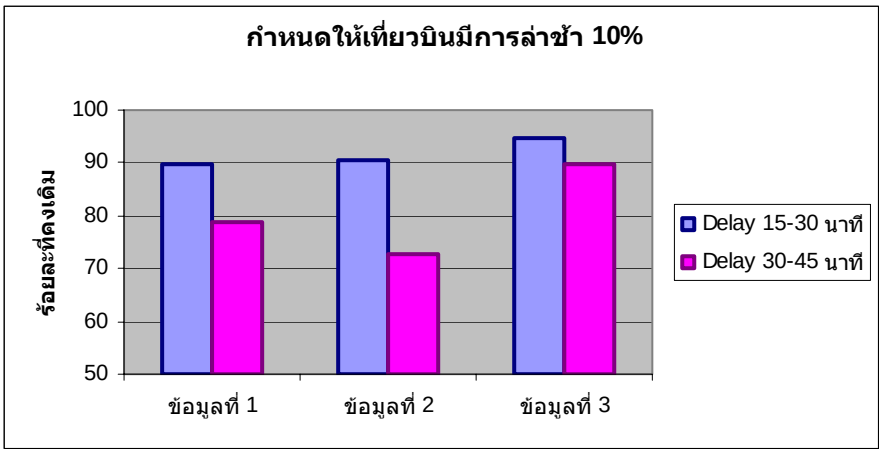
จากตารางที่ 5.15 พบว่าเมื่อทำการทดสอบเปลี่ยนแปลงข้อมูลเวลาการบินให้มีความล่าช้าจำนวน 10% ของเที่ยวบินที่ทั้งหมด โดยมีเวลาที่ล่าช้ากว่าปกติอยู่ระหว่าง 15-30 นาที แบบสุ่ม พบว่าเที่ยวบินส่วนใหญ่ยังมีเส้นทางการบินไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เป็นจำนวน 90% โดยเฉลี่ย

ตารางที่ 5.16 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 10% ระหว่าง 30-45 นาที

ชุดข้อมูล	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
จำนวนเส้นทางการบินปกติ	117	117	117
จำนวนเส้นทางการบินเมื่อเที่ยวบินมีความล่าช้า	115	109	113
จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	92	85	105
% จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	78.63	72.65	89.74
% ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น	3.05	6.56	1.48

จากตารางที่ 5.16 พบว่าเมื่อทำการทดสอบเปลี่ยนแปลงข้อมูลเวลาการบินให้มีความล่าช้าจำนวน 10% ของเที่ยวบินที่ทั้งหมด โดยมีเวลาที่ล่าช้ากว่าปกติอยู่ระหว่าง 30-45 นาที

แบบสุ่ม พบว่าเที่ยวบินส่วนใหญ่ยังมีเส้นทางการบินไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม อยู่ระหว่าง 70-90%



รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบเมื่อเที่ยวบินมีการล่าช้า 10% ที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 5.5 พบว่ากรณีที่มีเที่ยวบินเกิดการล่าช้าประมาณ 10% ของเที่ยวบินทั้งหมด เมื่อระยะเวลาที่เกิดการล่าช้าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เส้นทางการบินที่ดีที่สุด มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น แต่ร้อยละของเส้นทางการบินที่คงเดิมที่น้อยที่สุด ยังคงสูงกว่า 70% แสดงว่าเส้นทางการบินเดิมสามารถรองรับการเปลี่ยนได้ในระดับที่น่าพอใจ

ตารางที่ 5.17 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 15% ระหว่าง 15-30 นาที

ชุดข้อมูล	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
จำนวนเส้นทางการบินปกติ	117	117	117
จำนวนเส้นทางการบินเมื่อเที่ยวบินมีความล่าช้า	116	114	114
จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	100	95	98
% จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	85.47	81.19	83.76
% ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น	0.67	0.23	0.31

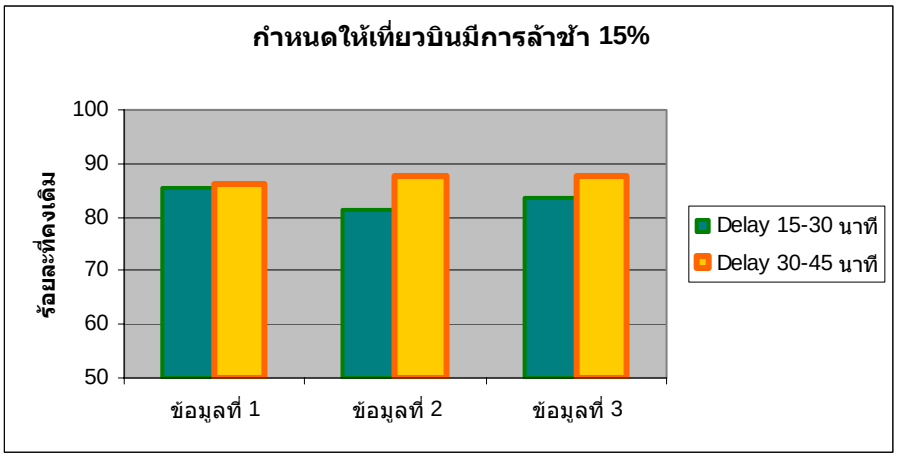
จากตารางที่ 5.17 เมื่อทำการทดสอบเปลี่ยนแปลงข้อมูลเวลาการบินให้มีความล่าช้าจำนวน 15% ของเที่ยวบินที่ทั้งหมด โดยมีเวลาที่ล่าช้ากว่าปกติอยู่ระหว่าง 15-30 นาทีแบบ

สุ่ม พบว่าเที่ยวบินส่วนใหญ่ยังมีเส้นทางการบินไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เป็นจำนวน 85% โดยเฉลี่ย

ตารางที่ 5.18 การทดสอบความไวเมื่อเที่ยวบินล่าช้าจำนวน 15% ระหว่าง 30-45 นาที

ชุดข้อมูล	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
จำนวนเส้นทางการบินปกติ	117	117	117
จำนวนเส้นทางการบินเมื่อเที่ยวบินมีความล่าช้า	112	113	115
จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	101	102	102
% จำนวนเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลง	86.32	87.72	87.72
% ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น	1.31	1.29	3.96

จากตารางที่ 5.18 พบว่าเมื่อทำการทดสอบเปลี่ยนแปลงข้อมูลเวลาการบินให้มีความล่าช้าจำนวน 10% ของเที่ยวบินที่ทั้งหมด โดยมีเวลาที่ล่าช้ากว่าปกติอยู่ระหว่าง 30-45 นาที แบบสุ่ม พบว่าเที่ยวบินส่วนใหญ่ยังมีเส้นทางการบินไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยเฉลี่ย 85% โดยประมาณ



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบเมื่อเที่ยวบินมีการล่าช้า 15% ที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 5.6 พบว่ากรณีที่มีเที่ยวบินเกิดการล่าช้าประมาณ 15% ของเที่ยวบินทั้งหมด เมื่อระยะเวลาที่เกิดการล่าช้าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เส้นทางการบินที่ดีที่สุด มีการ

เปลี่ยนแปลงมากขึ้น แต่ร้อยละของเส้นทางการบินที่คงเดิมที่น้อยที่สุด ยังคงสูงกว่า 80% แสดงว่าเส้นทางการบินเดิมสามารถรองรับการเปลี่ยนได้ในระดับที่น่าพอใจ

เมื่อทำการเปรียบเทียบกรณีเที่ยวบินเกิดการล่าช้าจำนวน 10% และ 15% พบว่าเส้นทางการบินที่ดีที่สุด มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งร้อยละของเส้นทางการบินที่ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงไม่ขึ้นกับร้อยละของเที่ยวบินที่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากในกลุ่มข้อมูลที่มีการล่าช้า 15% บางกลุ่มข้อมูล ยังคงมีเส้นทางการบินที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากกว่ากลุ่มข้อมูลที่มีการล่าช้า 10% บางกลุ่มข้อมูล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางการบินที่เหมาะสมนี้ขึ้นอยู่กับเที่ยวบินใด มีการล่าช้าเกิดขึ้น

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเส้นทางการบินที่สร้างขึ้น หากเที่ยวบินเกิดการล่าช้าขึ้นประมาณ 10-15% และล่าช้าไม่เกิน 45 นาที เส้นทางการบินเดิมที่ได้ออกแบบไว้ ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเป็นจำนวนมากกว่า 70% มีเพียง 30% เท่านั้น ที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ในระดับที่น่าพอใจ

5.5 การวิเคราะห์ผลเส้นทางการบินที่ได้จากกระบวนการแก้ปัญหา

ผลเส้นทางการบินที่ได้จากกระบวนการแก้ปัญหานี้ ในกลุ่มข้อมูลที่ 1 และกลุ่มข้อมูลที่ 4 เที่ยวบินส่วนใหญ่ เป็นเที่ยวบินที่เปิดให้บริการภายในประเทศ และในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแต่ละเที่ยวบิน มีระยะเวลาที่ทำการบินเพียงไม่กี่ชั่วโมง และมีจำนวนเที่ยวบินที่เปิดให้บริการในแต่ละเส้นทางจำนวนมากกว่า 1 เที่ยวบินต่อวัน ดังนั้นในแต่ละเส้นทางการบินจึงประกอบด้วยเที่ยวบินจำนวนหลายเที่ยวบิน มาเรียงต่อๆ กัน ส่วนกลุ่มข้อมูลอื่นๆ เที่ยวบินส่วนใหญ่จะเป็นเที่ยวบินที่ทำการบินไปยังจุดปลายทางในทวีปยุโรป ทวีปออสเตรเลีย และประเทศอื่นๆ ซึ่งแต่ละเที่ยวบินมีระยะเวลาที่ทำการบินเป็นระยะเวลานาน และในแต่ละเส้นทางการบินจะทำการบินเพียง 1 เที่ยวบินต่อวันเท่านั้น จึงมีจำนวนเที่ยวบินต่อจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางเดียวกันที่น้อยกว่า ดังนั้นในแต่ละเส้นทางการบินที่ได้จากกระบวนการแก้ปัญหาจึงเป็นเส้นทางการบินที่ประกอบไปด้วยเที่ยวบิน เพียง 2 เที่ยวบินเท่านั้น คือเที่ยวบินที่ออกจากกรุงเทพฯ (BKK) ไปยังจุดปลายทาง และเที่ยวบินที่ออกจากจุดปลายทางดังกล่าว กลับมาที่กรุงเทพฯ (BKK) โดยเส้นทางการบินที่ได้จากกระบวนการแก้ปัญหานี้ จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการจัดตารางการทำงานให้กับนักบินต่อไป ซึ่งในขั้นตอนการจัดตารางการทำงานของนักบินนี้ จะมีการพิจารณาถึง เงื่อนไขต่างๆ เช่น จำนวนชั่วโมงการทำงานสูงสุดในแต่ละเดือน จำนวนวันพักผ่อนที่นักบินต้องได้รับ เงื่อนไขของการทำเส้นทางการบินมาเรียงต่อกัน จำนวนนักบินที่มีอยู่ ซึ่งอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนเส้นทางการบิน ให้มีความเหมาะสมกับเงื่อนไขต่างๆ ต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นงานวิจัยการออกแบบกระบวนการหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุดของนักบิน โดยเริ่มต้นตั้งแต่การนำข้อมูลกลุ่มของเที่ยวบินที่ต้องการนำมาใช้ในการหาเส้นทางการบิน มาทำการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ การหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของการหาเส้นทางการบิน และกระบวนการหาคำตอบของเส้นทางการบินที่ดีที่สุด ซึ่งครอบคลุมเที่ยวบินทุกเที่ยวบิน ซึ่งหากทำการแก้ปัญหาโดยไม่มีการนำอัลกอลิทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา จะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ในระยะเวลาที่กำหนด จึงมีการนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา โดยในการออกแบบกระบวนการหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุดนี้ ใช้ภาษาเบสิก (Visual Basic Computer Language) ในกระบวนการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด กระบวนการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด การใช้วิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การเรียกใช้ไลบรารี่ (Callable Library) ของชุดคำสั่งเอ็กซ์เพรส (Xpress) เพื่อใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

วิธีการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยขั้นตอนการศึกษาสภาพของกระบวนการทำงานของสายการบินกรณีศึกษาในปัจจุบัน เงื่อนไขข้อกำหนดของเส้นทางการบิน การคิดค่าใช้จ่าย เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเที่ยวบินที่เปิดให้บริการ เพื่อนำไปใช้ในการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ และเส้นทางการบิน ออกแบบกระบวนการหาเส้นทางการบิน ตรวจสอบความถูกต้องและประเมินผลกระบวนการหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงให้เห็นว่าผู้วิจัยได้นำเสนอกระบวนการหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุด ที่สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากเส้นทางการบินที่ทำการบินอยู่ในปัจจุบันของสายการบินกรณีศึกษา กับเส้นทางการบินที่หาคำตอบได้จากกระบวนการได้ โดยกลุ่มข้อมูลมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงสูงสุด คิดเป็น 21.98% ซึ่งเมื่อประมาณค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้ทั้งหมดต่อช่วงระยะเวลา 6 เดือนที่เที่ยวบินทำการบิน เป็นจำนวน 34,540,800 บาท

กระบวนการแก้ปัญหาที่มีการนำวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ เข้ามาช่วยในการหาคำตอบนี้ มีจำนวนเส้นทางที่นำเข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาไม่เกิน 10% ของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาเส้นทางการบินที่เหมาะสมได้ในแต่ละครั้งได้ และเมื่อทำการทดลองการเปลี่ยนแปลงเมื่อเที่ยวบินเกิดความล่าช้าขึ้นไม่เกิน 15% ที่เวลาล่าช้าไม่เกิน 45 นาที พบว่าเส้นทางการบินเดิมยังไม่เปลี่ยนแปลง เป็นจำนวน 70% ของเส้นทางการบินทั้งหมดที่สร้างขึ้น เส้นทางการบินที่สร้างขึ้นจึงมีความสามารถที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง ดังนั้นกระบวนการแก้ปัญหานี้ จึงสามารถช่วยให้สายการบินต่างๆ สามารถวางแผนเส้นทางการบินต่างๆ ได้ ที่มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางการบินที่ต่ำที่สุด ในระยะเวลาที่รวดเร็ว โดยสายการบินต่างๆ สามารถนำเส้นทางการบินที่ได้ ไปใช้ในขั้นตอนการมอบหมายเส้นทางการบินให้กับลูกเรือต่อไป และหากเที่ยวบินมีการล่าช้าเกิดขึ้น เส้นทางการบินดังกล่าว ยังคงสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้ในการวางแผนเส้นทางการบินในครั้งต่อไป

ผลลัพธ์สุดท้ายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ กระบวนการหาคาบการปฏิบัติหน้าที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด กระบวนการหาเส้นทางการบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด และกระบวนการที่ใช้ในการคำนวณหาเส้นทางการบินที่ดีที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

พัฒนาระบบให้มีการอ้างอิงกับฐานข้อมูลแทนการใช้ไฟล์ข้อมูล (Text File) เป็นข้อมูลนำเข้าในการหาเส้นทางการบิน เพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลเที่ยวบินได้ทันที และการหาคำตอบในขั้นตอนการหาเส้นทางการบินเบื้องต้น หากสามารถหากลุ่มของเส้นทางการบินที่เป็นไปได้จริง แทนการกำหนดให้สร้างเส้นทางการบินที่ประกอบด้วยหนึ่งเที่ยวบินเท่านั้นซึ่งเป็นตัวแปรที่สร้างขึ้น (Artificial Variable) มาเป็นกลุ่มเส้นทางการบินเบื้องต้นได้ จะสามารถลดเวลาในใช้ในการหาเส้นทางการบินที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดลงได้

รายการอ้างอิง

[1.] C. Barnhart et.al. Airline crew scheduling. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA 1999

[2.] D. Klabjan et.al. A Parallel Primal-Dual Simplex Algorithm. Georgia Institute of Technology Atlanta 2000.

[3.] R. Anbil et.al. Column generation and the airline crew pairing problem. Mathematics Subject Classification 90B35 90C09 90C10 1991 : 677.

[4.] M. Minoux. Column Generation Techniques in Combinatorial Optimization. A New Application to Crew Pairing Problems, 24th AGIFORS symposium 1984 : 15-29.

[5.] S. Yan et.al. Airline cockpit crew scheduling. European journal of operational research 2002 : 501-511.

[6.] D.M. Ryan et.al. A bus crew scheduling system using a set partitioning mode. Annals of Operations Research 4 1987 : 39-56.

[7.] G. W. Graves et.al. Flight Crew Scheduling. Management Science 1993 : 736.

[8.] R. Anbil et.al. A global approach to crew-pairing optimization. IBM Systems Journal 1992 : 31.

[9.] D. Klabjan. Large-scale Models in the Airline Industry. University of Illinois at Urbana-Champaign (2003).

[10.] M. Fisher. The Lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. Management science 1981 : 1-18.

[11.] S. P. Bradley. Applied Mathematical Programming. United States of America : Addison-Wesley Publishing Company, 1977

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายละเอียดของเที่ยวบินในแต่ละกลุ่มข้อมูล

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
1	BKK	KK	360	415	Domestic
2	BKK	KK	1800	1855	Domestic
3	BKK	KK	3240	3295	Domestic
4	BKK	KK	4680	4735	Domestic
5	BKK	KK	6120	6175	Domestic
6	BKK	KK	7560	7615	Domestic
7	BKK	KK	9000	9055	Domestic
8	BKK	KK	710	765	Domestic
9	BKK	KK	2150	2205	Domestic
10	BKK	KK	3590	3645	Domestic
11	BKK	KK	5030	5085	Domestic
12	BKK	KK	6470	6525	Domestic
13	BKK	KK	7910	7965	Domestic
14	BKK	KK	9350	9405	Domestic
15	BKK	UT	-30	35	Domestic
16	BKK	UT	1410	1475	Domestic
17	BKK	UT	2850	2915	Domestic
18	BKK	UT	4290	4355	Domestic
19	BKK	UT	5730	5795	Domestic
20	BKK	UT	7170	7235	Domestic
21	BKK	UT	8610	8675	Domestic
22	BKK	UT	725	790	Domestic
23	BKK	UT	2165	2230	Domestic
24	BKK	UT	3605	3670	Domestic
25	BKK	UT	5045	5110	Domestic
26	BKK	UT	6485	6550	Domestic
27	BKK	UT	7925	7990	Domestic

ตารางที่ ก.2 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
28	BKK	UT	9365	9430	Domestic
29	BKK	UB	9120	9185	Domestic
30	BKK	VT	80	150	Regional
31	BKK	VT	1520	1590	Regional
32	BKK	VT	2960	3030	Regional
33	BKK	VT	4400	4470	Regional
34	BKK	VT	5840	5910	Regional
35	BKK	VT	7280	7350	Regional
36	BKK	VT	8720	8790	Regional
37	BKK	CM	140	210	Domestic
38	BKK	CM	1580	1650	Domestic
39	BKK	CM	3020	3090	Domestic
40	BKK	CM	4460	4530	Domestic
41	BKK	CM	5900	5970	Domestic
42	BKK	CM	7340	7410	Domestic
43	BKK	CM	8780	8850	Domestic
44	BKK	CM	4640	4710	Domestic
45	BKK	CM	8960	9030	Domestic
46	BKK	CM	2355	2425	Domestic
47	BKK	CM	6675	6745	Domestic
48	BKK	CM	9555	9625	Domestic
49	BKK	CM	1410	1480	Domestic
50	BKK	CM	4290	4360	Domestic
51	BKK	CM	7170	7240	Domestic
52	BKK	CM	75	145	Domestic
53	BKK	CM	1515	1585	Domestic
54	BKK	CM	2955	3025	Domestic

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
55	BKK	CM	5835	5905	Domestic
56	BKK	CM	3255	3325	Domestic
57	BKK	CM	375	445	Domestic
58	BKK	PP	670	745	Regional
59	BKK	PP	2110	2185	Regional
60	BKK	PP	3550	3625	Regional
61	BKK	PP	4990	5065	Regional
62	BKK	PP	6430	6505	Regional
63	BKK	PP	7870	7945	Regional
64	BKK	PP	9310	9385	Regional
65	BKK	YG	670	750	Regional
66	BKK	YG	2110	2190	Regional
67	BKK	YG	3550	3630	Regional
68	BKK	YG	4990	5070	Regional
69	BKK	YG	6430	6510	Regional
70	BKK	YG	7870	7950	Regional
71	BKK	YG	9310	9390	Regional
72	BKK	CR	1525	1605	Domestic
73	BKK	CR	4405	4485	Domestic
74	BKK	CR	8725	8805	Domestic
75	BKK	PK	435	515	Domestic
76	BKK	PK	1875	1955	Domestic
77	BKK	PK	3315	3395	Domestic
78	BKK	PK	4755	4835	Domestic
79	BKK	PK	6195	6275	Domestic
80	BKK	PK	7635	7715	Domestic
81	BKK	PK	9075	9155	Domestic

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
82	BKK	PK	6280	6360	Domestic
83	BKK	PK	585	665	Domestic
84	BKK	PK	2025	2105	Domestic
85	BKK	PK	3465	3545	Domestic
86	BKK	PK	4905	4985	Domestic
87	BKK	PK	7785	7865	Domestic
88	BKK	PK	885	965	Domestic
89	BKK	PK	2325	2405	Domestic
90	BKK	PK	3765	3845	Domestic
91	BKK	PK	5205	5285	Domestic
92	BKK	PK	6645	6725	Domestic
93	BKK	PK	8085	8165	Domestic
94	BKK	PK	9525	9605	Domestic
95	BKK	KB	350	430	Domestic
96	BKK	KB	1790	1870	Domestic
97	BKK	KB	3230	3310	Domestic
98	BKK	KB	4670	4750	Domestic
99	BKK	KB	6110	6190	Domestic
100	BKK	KB	7550	7630	Domestic
101	BKK	KB	8990	9070	Domestic
102	BKK	YG	65	145	Regional
103	BKK	YG	1505	1585	Regional
104	BKK	YG	2945	3025	Regional
105	BKK	YG	4385	4465	Regional
106	BKK	YG	5825	5905	Regional
107	BKK	YG	7265	7345	Regional
108	BKK	YG	8705	8785	Regional

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
109	BKK	CR	4530	4610	Domestic
110	BKK	CR	5970	6050	Domestic
111	BKK	CR	8850	8930	Domestic
112	BKK	CR	405	485	Domestic
113	BKK	CR	1845	1925	Domestic
114	BKK	CR	3285	3365	Domestic
115	BKK	CR	4725	4805	Domestic
116	BKK	CR	6165	6245	Domestic
117	BKK	CR	7605	7685	Domestic
118	BKK	CR	9045	9125	Domestic
119	BKK	CR	680	760	Domestic
120	BKK	CR	2120	2200	Domestic
121	BKK	CR	3560	3640	Domestic
122	BKK	CR	5000	5080	Domestic
123	BKK	CR	6440	6520	Domestic
124	BKK	CR	7880	7960	Domestic
125	BKK	CR	9320	9400	Domestic
126	BKK	PK	130	210	Domestic
127	BKK	PK	3010	3090	Domestic
128	BKK	PK	7330	7410	Domestic
129	BKK	PK	8770	8850	Domestic
130	BKK	PK	225	305	Domestic
131	BKK	PK	1665	1745	Domestic
132	BKK	PK	3105	3185	Domestic
133	BKK	PK	4545	4625	Domestic
134	BKK	PK	7425	7505	Domestic
135	BKK	PK	520	600	Domestic

ตารางที่ ก.6 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
136	BKK	PK	1960	2040	Domestic
137	BKK	PK	3400	3480	Domestic
138	BKK	PK	4840	4920	Domestic
139	BKK	PK	7720	7800	Domestic
140	BKK	PK	9160	9240	Domestic
141	BKK	PK	745	825	Domestic
142	BKK	PK	2185	2265	Domestic
143	BKK	PK	5065	5145	Domestic
144	BKK	PK	7945	8025	Domestic
145	BKK	HCM	115	205	Regional
146	BKK	HCM	1555	1645	Regional
147	BKK	HCM	2995	3085	Regional
148	BKK	HCM	4435	4525	Regional
149	BKK	HCM	5875	5965	Regional
150	BKK	HCM	7315	7405	Regional
151	BKK	HCM	8755	8845	Regional
152	BKK	HCM	6305	6395	Regional
153	BKK	HCM	685	775	Regional
154	BKK	HCM	2125	2215	Regional
155	BKK	HCM	3565	3655	Regional
156	BKK	HCM	5005	5095	Regional
157	BKK	HCM	6445	6535	Regional
158	BKK	HCM	7885	7975	Regional
159	BKK	HCM	9325	9415	Regional
160	BKK	HY	0	90	Domestic
161	BKK	HY	1440	1530	Domestic
162	BKK	HY	2880	2970	Domestic

ตารางที่ ก.7 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
163	BKK	HY	4320	4410	Domestic
164	BKK	HY	5760	5850	Domestic
165	BKK	HY	7200	7290	Domestic
166	BKK	HY	8640	8730	Domestic
167	BKK	HY	230	320	Domestic
168	BKK	HY	1670	1760	Domestic
169	BKK	HY	3110	3200	Domestic
170	BKK	HY	4550	4640	Domestic
171	BKK	HY	5990	6080	Domestic
172	BKK	HY	7430	7520	Domestic
173	BKK	HY	8870	8960	Domestic
174	BKK	HY	445	535	Domestic
175	BKK	HY	1885	1975	Domestic
176	BKK	HY	3325	3415	Domestic
177	BKK	HY	4765	4855	Domestic
178	BKK	HY	6205	6295	Domestic
179	BKK	HY	7645	7735	Domestic
180	BKK	HY	9085	9175	Domestic
181	BKK	PN	750	855	Regional
182	BKK	PN	2190	2295	Regional
183	BKK	PN	3630	3735	Regional
184	BKK	PN	5070	5175	Regional
185	BKK	PN	6510	6615	Regional
186	BKK	PN	7950	8055	Regional
187	BKK	PN	9390	9495	Regional
188	BKK	HN	85	195	Regional
189	BKK	HN	1525	1635	Regional

ตารางที่ ก.8 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
190	BKK	HN	2965	3075	Regional
191	BKK	HN	4405	4515	Regional
192	BKK	HN	5845	5955	Regional
193	BKK	HN	7285	7395	Regional
194	BKK	HN	8725	8835	Regional
195	BKK	HN	650	760	Regional
196	BKK	HN	2090	2200	Regional
197	BKK	HN	3530	3640	Regional
198	BKK	HN	4970	5080	Regional
199	BKK	HN	6410	6520	Regional
200	BKK	HN	7850	7960	Regional
201	BKK	HN	9290	9400	Regional
202	BKK	KL	120	250	Regional
203	BKK	KL	5880	6010	Regional
204	BKK	KM	230	365	Special
205	BKK	KM	1670	1805	Special
206	BKK	KM	3110	3245	Special
207	BKK	KM	5990	6125	Special
208	BKK	KM	7430	7565	Special
209	BKK	SP	60	195	Regional
210	BKK	SP	1500	1635	Regional
211	BKK	SP	2940	3075	Regional
212	BKK	SP	4380	4515	Regional
213	BKK	SP	5820	5955	Regional
214	BKK	SP	7260	7395	Regional
215	BKK	SP	8700	8835	Regional
216	BKK	CG	3025	3160	Regional

ตารางที่ ก.9 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
217	BKK	SP	255	395	Regional
218	BKK	SP	1695	1835	Regional
219	BKK	SP	3135	3275	Regional
220	BKK	SP	4575	4715	Regional
221	BKK	SP	6015	6155	Regional
222	BKK	SP	7455	7595	Regional
223	BKK	SP	8895	9035	Regional
224	BKK	SP	350	490	Regional
225	BKK	SP	1790	1930	Regional
226	BKK	SP	3230	3370	Regional
227	BKK	SP	4670	4810	Regional
228	BKK	SP	6110	6250	Regional
229	BKK	SP	7550	7690	Regional
230	BKK	SP	8990	9130	Regional
231	BKK	SP	735	875	Regional
232	BKK	SP	2175	2315	Regional
233	BKK	SP	3615	3755	Regional
234	BKK	SP	5055	5195	Regional
235	BKK	SP	6495	6635	Regional
236	BKK	SP	7935	8075	Regional
237	BKK	SP	9375	9515	Regional
238	BKK	DK	210	355	Regional
239	BKK	DK	1650	1795	Regional
240	BKK	DK	3090	3235	Regional
241	BKK	DK	4530	4675	Regional
242	BKK	DK	5970	6115	Regional
243	BKK	DK	7410	7555	Regional

ตารางที่ ก.10 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
244	BKK	DK	8850	8995	Regional
245	BKK	KKT	1000	1150	Regional
246	BKK	KKT	2440	2590	Regional
247	BKK	KKT	3880	4030	Regional
248	BKK	KKT	6760	6910	Regional
249	BKK	KKT	8200	8350	Regional
250	BKK	GZ	505	675	Special
251	BKK	GZ	3385	3555	Special
252	BKK	GZ	4825	4995	Special
253	BKK	GZ	6265	6435	Special
254	BKK	GZ	7705	7875	Special
255	BKK	ML	1935	2130	Regional
256	BKK	ML	3375	3570	Regional
257	BKK	ML	4815	5010	Regional
258	BKK	ML	6255	6450	Regional
259	BKK	ML	9135	9330	Regional
260	BKK	XM	1655	1860	Special
261	BKK	XM	4535	4740	Special
262	BKK	XM	7415	7620	Special
263	BKK	BGL	855	1065	Regional
264	BKK	BGL	3735	3945	Regional
265	BKK	BGL	5175	5385	Regional
266	BKK	BGL	8055	8265	Regional
267	BKK	BGL	2190	2400	Regional
268	BKK	BGL	6510	6720	Regional
269	BKK	BGL	9390	9600	Regional
270	BKK	TP	675	895	Regional

ตารางที่ ก.11 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
271	BKK	TP	2115	2335	Regional
272	BKK	TP	3555	3775	Regional
273	BKK	TP	4995	5215	Regional
274	BKK	TP	6435	6655	Regional
275	BKK	TP	7875	8095	Regional
276	BKK	TP	9315	9535	Regional
277	BKK	DPS	5860	6120	Regional
278	BKK	DPS	8740	9000	Regional
279	BKK	BJ	-385	-105	Special
280	BKK	BJ	2495	2775	Special
281	BKK	BJ	6815	7095	Special
282	BKK	LH	780	1060	Regional
283	BKK	LH	2220	2500	Regional
284	BKK	LH	5100	5380	Regional
285	BKK	LH	6540	6820	Regional
286	BKK	LH	9420	9700	Regional
287	BKK	ILB	3620	3930	Regional
288	BKK	ILB	7940	8250	Regional
289	BKK	FKK	-370	-60	Special
290	BKK	FKK	1070	1380	Special
291	BKK	FKK	2510	2820	Special
292	BKK	FKK	3950	4260	Special
293	BKK	FKK	5390	5700	Special
294	BKK	FKK	6830	7140	Special
295	BKK	FKK	8270	8580	Special
296	BKK	BS	1045	1410	Special
297	BKK	BS	3925	4290	Special

ตารางที่ ก.12 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
298	BKK	BS	6805	7170	Special
299	BKK	BS	8920	9285	Special
300	BGL	BKK	2475	2705	Regional
301	BGL	BKK	6795	7025	Regional
302	BGL	BKK	9675	9905	Regional
303	BGL	BKK	1140	1370	Regional
304	BGL	BKK	4020	4250	Regional
305	BGL	BKK	5460	5690	Regional
306	BGL	BKK	8340	8570	Regional
307	BJ	BKK	65	350	Special
308	BJ	BKK	2945	3230	Special
309	BJ	BKK	7265	7550	Special
310	BS	BKK	1500	1760	Special
311	BS	BKK	4380	4640	Special
312	BS	BKK	7260	7520	Special
313	BS	BKK	9360	9620	Special
314	CM	BKK	0	70	Domestic
315	CM	BKK	7200	7270	Domestic
316	CM	BKK	2880	2950	Domestic
317	CM	BKK	5090	5160	Domestic
318	CM	BKK	9410	9480	Domestic
319	CM	BKK	1530	1600	Domestic
320	CM	BKK	7290	7360	Domestic
321	CM	BKK	195	265	Domestic
322	CM	BKK	1635	1705	Domestic
323	CM	BKK	3075	3145	Domestic
324	CM	BKK	5955	6025	Domestic

ตารางที่ ก.13 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
325	CM	BKK	4410	4480	Domestic
326	CM	BKK	495	565	Domestic
327	CM	BKK	3375	3445	Domestic
328	CM	KM	4765	4860	Special
329	CM	KM	9085	9180	Special
330	CM	PK	255	370	Domestic
331	CM	PK	1695	1810	Domestic
332	CM	PK	3135	3250	Domestic
333	CM	PK	4575	4690	Domestic
334	CM	PK	6015	6130	Domestic
335	CM	PK	7455	7570	Domestic
336	CM	PK	8895	9010	Domestic
337	CR	BKK	1650	1725	Domestic
338	CR	BKK	4530	4605	Domestic
339	CR	BKK	8850	8925	Domestic
340	CR	BKK	805	880	Domestic
341	CR	BKK	2245	2320	Domestic
342	CR	BKK	3685	3760	Domestic
343	CR	BKK	5125	5200	Domestic
344	CR	BKK	6565	6640	Domestic
345	CR	BKK	8005	8080	Domestic
346	CR	BKK	9445	9520	Domestic
347	CR	BKK	530	605	Domestic
348	CR	BKK	1970	2045	Domestic
349	CR	BKK	3410	3485	Domestic
350	CR	BKK	4850	4925	Domestic
351	CR	BKK	6290	6365	Domestic

ตารางที่ ก.14 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
352	CR	BKK	7730	7805	Domestic
353	CR	BKK	9170	9245	Domestic
354	CR	BKK	4655	4730	Domestic
355	CR	BKK	6095	6170	Domestic
356	CR	BKK	8975	9050	Domestic
357	CG	BKK	3215	3355	Regional
358	DPS	BKK	6290	6540	Regional
359	DPS	BKK	9170	9420	Regional
360	DK	BKK	430	570	Regional
361	DK	BKK	1870	2010	Regional
362	DK	BKK	3310	3450	Regional
363	DK	BKK	4750	4890	Regional
364	DK	BKK	6190	6330	Regional
365	DK	BKK	7630	7770	Regional
366	DK	BKK	9070	9210	Regional
367	FKK	BKK	175	495	Special
368	FKK	BKK	1615	1935	Special
369	FKK	BKK	3055	3375	Special
370	FKK	BKK	4495	4815	Special
371	FKK	BKK	5935	6255	Special
372	FKK	BKK	7375	7695	Special
373	FKK	BKK	8815	9135	Special
374	GZ	BKK	745	925	Special
375	GZ	BKK	3625	3805	Special
376	GZ	BKK	5065	5245	Special
377	GZ	BKK	6505	6685	Special
378	GZ	BKK	7945	8125	Special

ตารางที่ ก.15 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
379	HN	BKK	825	935	Regional
380	HN	BKK	2265	2375	Regional
381	HN	BKK	3705	3815	Regional
382	HN	BKK	5145	5255	Regional
383	HN	BKK	6585	6695	Regional
384	HN	BKK	8025	8135	Regional
385	HN	BKK	9465	9575	Regional
386	HN	BKK	255	365	Regional
387	HN	BKK	1695	1805	Regional
388	HN	BKK	3135	3245	Regional
389	HN	BKK	4575	4685	Regional
390	HN	BKK	6015	6125	Regional
391	HN	BKK	7455	7565	Regional
392	HN	BKK	8895	9005	Regional
393	HY	BKK	370	460	Domestic
394	HY	BKK	1810	1900	Domestic
395	HY	BKK	3250	3340	Domestic
396	HY	BKK	4690	4780	Domestic
397	HY	BKK	6130	6220	Domestic
398	HY	BKK	7570	7660	Domestic
399	HY	BKK	9010	9100	Domestic
400	HY	BKK	135	225	Domestic
401	HY	BKK	1575	1665	Domestic
402	HY	BKK	3015	3105	Domestic
403	HY	BKK	4455	4545	Domestic
404	HY	BKK	5895	5985	Domestic
405	HY	BKK	7335	7425	Domestic

ตารางที่ ก.16 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
406	HY	BKK	8775	8865	Domestic
407	HY	BKK	580	670	Domestic
408	HY	BKK	2020	2110	Domestic
409	HY	BKK	3460	3550	Domestic
410	HY	BKK	4900	4990	Domestic
411	HY	BKK	6340	6430	Domestic
412	HY	BKK	7780	7870	Domestic
413	HY	BKK	9220	9310	Domestic
414	HCM	BKK	840	925	Regional
415	HCM	BKK	2280	2365	Regional
416	HCM	BKK	3720	3805	Regional
417	HCM	BKK	5160	5245	Regional
418	HCM	BKK	6600	6685	Regional
419	HCM	BKK	8040	8125	Regional
420	HCM	BKK	9480	9565	Regional
421	HCM	BKK	6460	6545	Regional
422	HCM	BKK	335	420	Regional
423	HCM	BKK	1775	1860	Regional
424	HCM	BKK	3215	3300	Regional
425	HCM	BKK	4655	4740	Regional
426	HCM	BKK	6095	6180	Regional
427	HCM	BKK	7535	7620	Regional
428	HCM	BKK	8975	9060	Regional
429	ILB	BKK	4015	4305	Regional
430	ILB	BKK	8335	8625	Regional
431	KK	BKK	460	515	Domestic
432	KK	BKK	1900	1955	Domestic

ตารางที่ ก.17 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
433	KK	BKK	3340	3395	Domestic
434	KK	BKK	4780	4835	Domestic
435	KK	BKK	6220	6275	Domestic
436	KK	BKK	7660	7715	Domestic
437	KK	BKK	9100	9155	Domestic
438	KK	BKK	810	865	Domestic
439	KK	BKK	2250	2305	Domestic
440	KK	BKK	3690	3745	Domestic
441	KK	BKK	5130	5185	Domestic
442	KK	BKK	6570	6625	Domestic
443	KK	BKK	8010	8065	Domestic
444	KK	BKK	9450	9505	Domestic
445	KKT	BKK	1240	1400	Regional
446	KKT	BKK	2680	2840	Regional
447	KKT	BKK	4120	4280	Regional
448	KKT	BKK	7000	7160	Regional
449	KKT	BKK	8440	8600	Regional
450	KB	BKK	470	550	Domestic
451	KB	BKK	1910	1990	Domestic
452	KB	BKK	3350	3430	Domestic
453	KB	BKK	4790	4870	Domestic
454	KB	BKK	6230	6310	Domestic
455	KB	BKK	7670	7750	Domestic
456	KB	BKK	9110	9190	Domestic
457	KL	BKK	320	450	Regional
458	KL	BKK	6080	6210	Regional
459	KM	CM	4935	5030	Special

ตารางที่ ก.18 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
460	KM	CM	9255	9350	Special
461	KM	BKK	440	570	Special
462	KM	BKK	1880	2010	Special
463	KM	BKK	3320	3450	Special
464	KM	BKK	6200	6330	Special
465	KM	BKK	7640	7770	Special
466	LH	BKK	1130	1400	Regional
467	LH	BKK	2570	2840	Regional
468	LH	BKK	5450	5720	Regional
469	LH	BKK	6890	7160	Regional
470	LH	BKK	9770	10040	Regional
471	ML	BKK	2190	2385	Regional
472	ML	BKK	3630	3825	Regional
473	ML	BKK	5070	5265	Regional
474	ML	BKK	6510	6705	Regional
475	ML	BKK	9390	9585	Regional
476	PN	BKK	20	120	Regional
477	PN	BKK	1460	1560	Regional
478	PN	BKK	2900	3000	Regional
479	PN	BKK	4340	4440	Regional
480	PN	BKK	5780	5880	Regional
481	PN	BKK	7220	7320	Regional
482	PN	BKK	8660	8760	Regional
483	PP	BKK	805	870	Regional
484	PP	BKK	2245	2310	Regional
485	PP	BKK	3685	3750	Regional
486	PP	BKK	5125	5190	Regional

ตารางที่ ก.19 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
487	PP	BKK	6565	6630	Regional
488	PP	BKK	8005	8070	Regional
489	PP	BKK	9445	9510	Regional
490	PK	BKK	75	160	Domestic
491	PK	BKK	1515	1600	Domestic
492	PK	BKK	2955	3040	Domestic
493	PK	BKK	4395	4480	Domestic
494	PK	BKK	5835	5920	Domestic
495	PK	BKK	7275	7360	Domestic
496	PK	BKK	8715	8800	Domestic
497	PK	BKK	415	500	Domestic
498	PK	BKK	1855	1940	Domestic
499	PK	BKK	3295	3380	Domestic
500	PK	BKK	4735	4820	Domestic
501	PK	BKK	6175	6260	Domestic
502	PK	BKK	7615	7700	Domestic
503	PK	BKK	9055	9140	Domestic
504	PK	BKK	565	650	Domestic
505	PK	BKK	2005	2090	Domestic
506	PK	BKK	3445	3530	Domestic
507	PK	BKK	4885	4970	Domestic
508	PK	BKK	6325	6410	Domestic
509	PK	BKK	7765	7850	Domestic
510	PK	BKK	9205	9290	Domestic
511	PK	BKK	715	800	Domestic
512	PK	BKK	2155	2240	Domestic
513	PK	BKK	3595	3680	Domestic

ตารางที่ ก.20 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
514	PK	BKK	5035	5120	Domestic
515	PK	BKK	7915	8000	Domestic
516	PK	BKK	260	345	Domestic
517	PK	BKK	3140	3225	Domestic
518	PK	BKK	7460	7545	Domestic
519	PK	BKK	8900	8985	Domestic
520	PK	BKK	365	450	Domestic
521	PK	BKK	1805	1890	Domestic
522	PK	BKK	3245	3330	Domestic
523	PK	BKK	4685	4770	Domestic
524	PK	BKK	7565	7650	Domestic
525	PK	BKK	650	735	Domestic
526	PK	BKK	2090	2175	Domestic
527	PK	BKK	3530	3615	Domestic
528	PK	BKK	4970	5055	Domestic
529	PK	BKK	6410	6495	Domestic
530	PK	BKK	7850	7935	Domestic
531	PK	BKK	9290	9375	Domestic
532	PK	BKK	875	960	Domestic
533	PK	BKK	2315	2400	Domestic
534	PK	BKK	5195	5280	Domestic
535	PK	BKK	8075	8160	Domestic
536	SP	BKK	15	155	Regional
537	SP	BKK	1455	1595	Regional
538	SP	BKK	2895	3035	Regional
539	SP	BKK	4335	4475	Regional
540	SP	BKK	5775	5915	Regional

ตารางที่ ก.21 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
541	SP	BKK	7215	7355	Regional
542	SP	BKK	8655	8795	Regional
543	SP	BKK	555	695	Regional
544	SP	BKK	1995	2135	Regional
545	SP	BKK	3435	3575	Regional
546	SP	BKK	4875	5015	Regional
547	SP	BKK	6315	6455	Regional
548	SP	BKK	7755	7895	Regional
549	SP	BKK	9195	9335	Regional
550	SP	BKK	465	605	Regional
551	SP	BKK	1905	2045	Regional
552	SP	BKK	3345	3485	Regional
553	SP	BKK	4785	4925	Regional
554	SP	BKK	6225	6365	Regional
555	SP	BKK	7665	7805	Regional
556	SP	BKK	9105	9245	Regional
557	SP	BKK	265	405	Regional
558	SP	BKK	1705	1845	Regional
559	SP	BKK	3145	3285	Regional
560	SP	BKK	4585	4725	Regional
561	SP	BKK	6025	6165	Regional
562	SP	BKK	7465	7605	Regional
563	SP	BKK	8905	9045	Regional
564	TP	BKK	60	280	Regional
565	TP	BKK	1500	1720	Regional
566	TP	BKK	2940	3160	Regional
567	TP	BKK	4380	4600	Regional

ตารางที่ ก.22 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
568	TP	BKK	5820	6040	Regional
569	TP	BKK	7260	7480	Regional
570	TP	BKK	8700	8920	Regional
571	UB	BKK	9235	9300	Domestic
572	UT	BKK	80	140	Domestic
573	UT	BKK	1520	1580	Domestic
574	UT	BKK	2960	3020	Domestic
575	UT	BKK	4400	4460	Domestic
576	UT	BKK	5840	5900	Domestic
577	UT	BKK	7280	7340	Domestic
578	UT	BKK	8720	8780	Domestic
579	UT	BKK	835	895	Domestic
580	UT	BKK	2275	2335	Domestic
581	UT	BKK	3715	3775	Domestic
582	UT	BKK	5155	5215	Domestic
583	UT	BKK	6595	6655	Domestic
584	UT	BKK	8035	8095	Domestic
585	UT	BKK	9475	9535	Domestic
586	VT	BKK	210	275	Regional
587	VT	BKK	1650	1715	Regional
588	VT	BKK	3090	3155	Regional
589	VT	BKK	4530	4595	Regional
590	VT	BKK	5970	6035	Regional
591	VT	BKK	7410	7475	Regional
592	VT	BKK	8850	8915	Regional
593	XM	BKK	1925	2125	Special
594	XM	BKK	4805	5005	Special

ตารางที่ ก.23 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 1 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
595	XM	BKK	7685	7885	Special
596	YG	BKK	810	885	Regional
597	YG	BKK	2250	2325	Regional
598	YG	BKK	3690	3765	Regional
599	YG	BKK	5130	5205	Regional
600	YG	BKK	6570	6645	Regional
601	YG	BKK	8010	8085	Regional
602	YG	BKK	9450	9525	Regional
603	YG	BKK	205	280	Regional
604	YG	BKK	1645	1720	Regional
605	YG	BKK	3085	3160	Regional
606	YG	BKK	4525	4600	Regional
607	YG	BKK	5965	6040	Regional
608	YG	BKK	7405	7480	Regional
609	YG	BKK	8845	8920	Regional

ตารางที่ ก.24 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
1	BKK	PT	8690	9095	AUST
2	BKK	PT	2005	2410	AUST
3	BKK	PT	5290	5695	AUST
4	BKK	PT	6730	7135	AUST
5	BKK	HK	210	380	Special
6	BKK	HK	1650	1820	Special
7	BKK	HK	3090	3260	Special
8	BKK	HK	4530	4700	Special
9	BKK	HK	5970	6140	Special
10	BKK	HK	7410	7580	Special
11	BKK	HK	8850	9020	Special
12	BKK	HK	510	685	Special
13	BKK	HK	1950	2125	Special
14	BKK	HK	3390	3565	Special
15	BKK	HK	4830	5005	Special
16	BKK	HK	6270	6445	Special
17	BKK	HK	7710	7885	Special
18	BKK	HK	9150	9325	Special
19	BKK	HK	720	885	Special
20	BKK	HK	2160	2325	Special
21	BKK	HK	3600	3765	Special
22	BKK	HK	5040	5205	Special
23	BKK	HK	6480	6645	Special
24	BKK	HK	7920	8085	Special
25	BKK	HK	9360	9525	Special
26	BKK	ICN	990	1315	Special
27	BKK	ICN	2430	2755	Special

ตารางที่ ก.25 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
28	BKK	ICN	3870	4195	Special
29	BKK	ICN	5310	5635	Special
30	BKK	ICN	6750	7075	Special
31	BKK	ICN	8190	8515	Special
32	BKK	ICN	9630	9955	Special
33	BKK	GZ	215	385	Special
34	BKK	GZ	1655	1825	Special
35	BKK	GZ	3095	3265	Special
36	BKK	GZ	4535	4705	Special
37	BKK	GZ	5975	6145	Special
38	BKK	GZ	7415	7585	Special
39	BKK	GZ	8855	9025	Special
40	BKK	PVG	-315	-60	Special
41	BKK	PVG	1125	1380	Special
42	BKK	PVG	2565	2820	Special
43	BKK	PVG	4005	4260	Special
44	BKK	PVG	5445	5700	Special
45	BKK	PVG	6885	7140	Special
46	BKK	PVG	8325	8580	Special
47	BKK	PVG	240	495	Special
48	BKK	PVG	1680	1935	Special
49	BKK	PVG	3120	3375	Special
50	BKK	PVG	4560	4815	Special
51	BKK	PVG	6000	6255	Special
52	BKK	PVG	7440	7695	Special
53	BKK	PVG	8880	9135	Special
54	BKK	SP	555	695	Regional

ตารางที่ ก.26 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
55	BKK	SP	1995	2135	Regional
56	BKK	SP	3435	3575	Regional
57	BKK	SP	4875	5015	Regional
58	BKK	SP	6315	6455	Regional
59	BKK	SP	7755	7895	Regional
60	BKK	SP	9195	9335	Regional
61	BKK	CGK	55	265	Regional
62	BKK	CGK	1495	1705	Regional
63	BKK	CGK	2935	3145	Regional
64	BKK	CGK	4375	4585	Regional
65	BKK	CGK	5815	6025	Regional
66	BKK	CGK	7255	7465	Regional
67	BKK	CGK	8695	8905	Regional
68	BKK	DPS	100	360	Regional
69	BKK	DPS	1540	1800	Regional
70	BKK	DPS	2980	3240	Regional
71	BKK	DPS	4420	4680	Regional
72	BKK	DPS	7300	7560	Regional
73	BKK	KL	1560	1690	Regional
74	BKK	KL	3000	3130	Regional
75	BKK	KL	4440	4570	Regional
76	BKK	KL	7320	7450	Regional
77	BKK	MB	685	940	Regional
78	BKK	MB	2125	2380	Regional
79	BKK	MB	3565	3820	Regional
80	BKK	MB	5005	5260	Regional
81	BKK	MB	6445	6700	Regional

ตารางที่ ก.27 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
82	BKK	MB	7885	8140	Regional
83	BKK	MB	9325	9580	Regional
84	BKK	CLB	2350	2575	Regional
85	BKK	CLB	3790	4015	Regional
86	BKK	CLB	6670	6895	Regional
87	BKK	CLB	9550	9775	Regional
88	BKK	CN	240	435	Regional
89	BKK	CN	3120	3315	Regional
90	BKK	CN	6000	6195	Regional
91	BKK	CN	8880	9075	Regional
92	BKK	KRC	2070	2370	Regional
93	BKK	KRC	4950	5250	Regional
94	BKK	KRC	9270	9570	Regional
95	BKK	KRC	7935	8235	Regional
96	BKK	DB	2110	2500	Regional
97	BKK	DB	4990	5380	Regional
98	BKK	DB	7870	8260	Regional
99	BKK	DB	9310	9700	Regional
100	BKK	DB	330	720	Regional
101	BKK	DB	3210	3600	Regional
102	BKK	DB	6090	6480	Regional
103	BKK	CM	-30	40	Domestic
104	BKK	CM	2850	2920	Domestic
105	BKK	CM	5730	5800	Domestic
106	BKK	CM	8610	8680	Domestic
107	BKK	CM	4395	4465	Domestic
108	BKK	CM	7275	7345	Domestic

ตารางที่ ก.28 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
109	BKK	CM	8715	8785	Domestic
110	BKK	CM	1815	1885	Domestic
111	BKK	CM	4695	4765	Domestic
112	BKK	CM	7575	7645	Domestic
113	BKK	CM	9015	9085	Domestic
114	BKK	CM	720	790	Domestic
115	BKK	PK	1570	21650	Domestic
116	BKK	PK	4450	4530	Domestic
117	BKK	PK	8865	8945	Domestic
118	BKK	PK	3625	3705	Domestic
119	BKK	PK	6505	6585	Domestic
120	CN	DB	510	750	Regional
121	CN	DB	3390	3630	Regional
122	CN	DB	6270	6510	Regional
123	CN	DB	9150	9390	Regional
124	CN	BKK	-305	-105	Regional
125	CN	BKK	1135	1335	Regional
126	CN	BKK	4015	4215	Regional
127	CN	BKK	6895	7095	Regional
128	CM	BKK	90	160	Domestic
129	CM	BKK	2970	3040	Domestic
130	CM	BKK	5850	5920	Domestic
131	CM	BKK	4515	4585	Domestic
132	CM	BKK	8835	8905	Domestic
133	CM	BKK	7395	7465	Domestic
134	CM	BKK	8730	8800	Domestic
135	CM	BKK	1935	2005	Domestic

ตารางที่ ก.29 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
136	CM	BKK	4815	4885	Domestic
137	CM	BKK	7695	7765	Domestic
138	CM	BKK	9135	9205	Domestic
139	CM	BKK	840	910	Domestic
140	CLB	BKK	-215	-40	Regional
141	CLB	BKK	2665	2840	Regional
142	CLB	BKK	4105	4280	Regional
143	CLB	BKK	6985	7160	Regional
144	DPS	BKK	530	780	Regional
145	DPS	BKK	1970	2220	Regional
146	DPS	BKK	3410	3660	Regional
147	DPS	BKK	4850	5100	Regional
148	DPS	BKK	7730	7980	Regional
149	DB	CN	820	1065	Regional
150	DB	CN	3700	3945	Regional
151	DB	CN	6580	6825	Regional
152	DB	CN	9460	9705	Regional
153	DB	KW	785	885	Regional
154	DB	KW	3665	3765	Regional
155	DB	KW	6545	6645	Regional
156	DB	BKK	2565	2950	Regional
157	DB	BKK	5445	5830	Regional
158	DB	BKK	8325	8710	Regional
159	DB	BKK	2565	2950	Regional
160	DB	BKK	5445	5830	Regional
161	DB	BKK	8325	8710	Regional
162	DB	BKK	9765	10150	Regional

ตารางที่ ก.30 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
163	GZ	BKK	460	640	Special
164	GZ	BKK	1900	2080	Special
165	GZ	BKK	3340	3520	Special
166	GZ	BKK	4780	4960	Special
167	GZ	BKK	6220	6400	Special
168	GZ	BKK	7660	7840	Special
169	GZ	BKK	9100	9280	Special
170	HK	ICN	450	645	Special
171	HK	ICN	1890	2085	Special
172	HK	ICN	3330	3525	Special
173	HK	ICN	4770	4965	Special
174	HK	ICN	6210	6405	Special
175	HK	ICN	7650	7845	Special
176	HK	ICN	9090	9285	Special
177	HK	TP	745	835	Special
178	HK	TP	2185	2275	Special
179	HK	TP	3625	3715	Special
180	HK	TP	5065	5155	Special
181	HK	TP	6505	6595	Special
182	HK	TP	7945	8035	Special
183	HK	TP	9385	9475	Special
184	HK	BKK	0	160	Special
185	HK	BKK	1440	1600	Special
186	HK	BKK	2880	3040	Special
187	HK	BKK	4320	4480	Special
188	HK	BKK	5760	5920	Special
189	HK	BKK	7200	7360	Special

ตารางที่ ก.31 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
190	HK	BKK	8640	8800	Special
191	HK	BKK	200	360	Special
192	HK	BKK	1640	1800	Special
193	HK	BKK	4520	4680	Special
194	HK	BKK	7400	7560	Special
195	HK	PK	3080	3280	Special
196	HK	PK	5960	6160	Special
197	HK	PK	8840	9040	Special
198	HK	BKK	370	530	Special
199	HK	BKK	1810	1970	Special
200	HK	BKK	3250	3410	Special
201	HK	BKK	4690	4850	Special
202	HK	BKK	6130	6290	Special
203	HK	BKK	7570	7730	Special
204	HK	BKK	9010	9170	Special
205	CGK	BKK	345	555	Regional
206	CGK	BKK	1785	1995	Regional
207	CGK	BKK	3225	3435	Regional
208	CGK	BKK	4665	4875	Regional
209	CGK	BKK	6105	6315	Regional
210	CGK	BKK	7545	7755	Regional
211	CGK	BKK	8985	9195	Regional
212	KRC	MC	2430	2530	Regional
213	KRC	MC	5310	5410	Regional
214	KRC	MC	9630	9730	Regional
215	KRC	BKK	8310	8610	Regional
216	KRC	BKK	-125	165	Regional

ตารางที่ ก.32 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
217	KRC	BKK	2755	3045	Regional
218	KRC	BKK	5635	5925	Regional
219	KL	BKK	1760	1890	Regional
220	KL	BKK	3200	3330	Regional
221	KL	BKK	4640	4770	Regional
222	KL	BKK	7520	7650	Regional
223	KW	DB	965	1055	Regional
224	KW	DB	3845	3935	Regional
225	KW	DB	6725	6815	Regional
226	MB	BKK	1050	1310	Regional
227	MB	BKK	2490	2750	Regional
228	MB	BKK	3930	4190	Regional
229	MB	BKK	5370	5630	Regional
230	MB	BKK	6810	7070	Regional
231	MB	BKK	8250	8510	Regional
232	MB	BKK	9690	9950	Regional
233	MC	KRC	2595	2695	Regional
234	MC	KRC	5475	5575	Regional
235	MC	KRC	9795	9895	Regional
236	PT	PK	5805	6180	AUST
237	PT	PK	7245	7620	AUST
238	PT	BKK	2490	2910	AUST
239	PT	BKK	9165	9585	AUST
240	PK	BKK	1700	1785	Domestic
241	PK	BKK	4580	4665	Domestic
242	PK	BKK	9005	9090	Domestic
243	PK	BKK	3340	3425	Domestic

ตารางที่ ก.33 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
244	PK	BKK	6220	6305	Domestic
245	PK	BKK	9100	9185	Domestic
246	PK	BKK	6240	6325	Domestic
247	PK	BKK	7680	7765	Domestic
248	PK	BKK	3755	3840	Domestic
249	PK	BKK	6635	6720	Domestic
250	ICN	HK	80	295	Special
251	ICN	HK	1520	1735	Special
252	ICN	HK	2960	3175	Special
253	ICN	HK	4400	4615	Special
254	ICN	HK	5840	6055	Special
255	ICN	HK	7280	7495	Special
256	ICN	HK	8720	8935	Special
257	ICN	BKK	720	1055	Special
258	ICN	BKK	2160	2495	Special
259	ICN	BKK	3600	3935	Special
260	ICN	BKK	5040	5375	Special
261	ICN	BKK	6480	6815	Special
262	ICN	BKK	7920	8255	Special
263	ICN	BKK	9360	9695	Special
264	PVG	BKK	570	845	Special
265	PVG	BKK	2010	2285	Special
266	PVG	BKK	3450	3725	Special
267	PVG	BKK	4890	5165	Special
268	PVG	BKK	6330	6605	Special
269	PVG	BKK	7770	8045	Special
270	PVG	BKK	9210	9485	Special

ตารางที่ ก.34 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 2 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
271	PVG	BKK	20	295	Special
272	PVG	BKK	1460	1735	Special
273	PVG	BKK	2900	3175	Special
274	PVG	BKK	4340	4615	Special
275	PVG	BKK	5780	6055	Special
276	PVG	BKK	7220	7495	Special
277	PVG	BKK	8660	8935	Special
278	SP	BKK	760	900	Regional
279	SP	BKK	2200	2340	Regional
280	SP	BKK	3640	3780	Regional
281	SP	BKK	5080	5220	Regional
282	SP	BKK	6520	6660	Regional
283	SP	BKK	7960	8100	Regional
284	SP	BKK	9400	9540	Regional
285	TP	HK	30	135	Special
286	TP	HK	1470	1575	Special
287	TP	HK	4350	4455	Special
288	TP	HK	7230	7335	Special
289	TP	HK	2910	3015	Special
290	TP	HK	5790	5895	Special
291	TP	HK	8670	8775	Special

ตารางที่ ก.35 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 3

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
1	BKK	LA	2170	3160	USA
2	BKK	LA	6490	7480	USA
3	BKK	LA	9370	10360	USA
4	BKK	JFK	-380	695	USA
5	BKK	JFK	2500	3575	USA
6	BKK	JFK	3940	5015	USA
7	BKK	JFK	6820	7895	USA
8	BKK	MXP	1060	1820	Europe
9	BKK	MXP	5380	6140	Europe
10	BKK	MXP	8260	9020	Europe
11	BKK	ZR	-390	370	Europe
12	BKK	ZR	1050	1810	Europe
13	BKK	ZR	2490	3250	Europe
14	BKK	ZR	3930	4690	Europe
15	BKK	ZR	5370	6130	Europe
16	BKK	ZR	6810	7570	Europe
17	BKK	ZR	8250	9010	Europe
18	BKK	DME	1645	2290	Europe
19	BKK	DME	4525	5170	Europe
20	BKK	DME	7405	8050	Europe
21	BKK	MLB	-405	125	AUST
22	BKK	MLB	2475	3005	AUST
23	BKK	MLB	5355	5885	AUST
24	BKK	MLB	8235	8765	AUST
25	BKK	AL	630	1290	AUST
26	BKK	AL	2070	2730	AUST
27	BKK	AL	3510	4170	AUST

ตารางที่ ก.36 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 3 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
28	BKK	AL	4950	5610	AUST
29	BKK	AL	6390	7050	AUST
30	BKK	AL	7830	8490	AUST
31	BKK	AL	9270	9930	AUST
32	LA	BKK	3300	4260	USA
33	LA	BKK	7620	8580	USA
34	LA	BKK	10500	11460	USA
35	MLB	BKK	380	940	AUST
36	MLB	BKK	3260	3820	AUST
37	MLB	BKK	6140	6700	AUST
38	MLB	BKK	9020	9580	AUST
39	MXP	BKK	2250	2830	Europe
40	MXP	BKK	6570	7150	Europe
41	MXP	BKK	9450	10030	Europe
42	DME	BKK	2380	2865	Europe
43	DME	BKK	5260	5745	Europe
44	DME	BKK	8140	8625	Europe
45	JFK	BKK	1020	1990	USA
46	JFK	BKK	3900	4870	USA
47	JFK	BKK	5340	6310	USA
48	JFK	BKK	8220	9190	USA
49	ZR	BKK	750	1340	Europe
50	ZR	BKK	2190	2780	Europe
51	ZR	BKK	3630	4220	Europe
52	ZR	BKK	5070	5660	Europe
53	ZR	BKK	6510	7100	Europe
54	ZR	BKK	7950	8540	Europe

ตารางที่ ก.37 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 3 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
55	ZR	BKK	9390	9980	Europe
56	AL	BKK	200	930	AUST
57	AL	BKK	1640	2370	AUST
58	AL	BKK	3080	3810	AUST
59	AL	BKK	4520	5250	AUST
60	AL	BKK	5960	6690	AUST
61	AL	BKK	7400	8130	AUST
62	AL	BKK	8840	9570	AUST

ตารางที่ ก.38 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
1	BKK	CD	3105	3295	Special
2	BKK	CD	5985	6175	Special
3	BKK	CD	8865	9055	Special
4	BKK	PP	75	150	Regional
5	BKK	PP	1515	1590	Regional
6	BKK	PP	2955	3030	Regional
7	BKK	PP	4395	4470	Regional
8	BKK	PP	5835	5910	Regional
9	BKK	PP	7275	7350	Regional
10	BKK	PP	8715	8790	Regional
11	BKK	BSB	1610	1785	Regional
12	BKK	BSB	4490	4665	Regional
13	BKK	BSB	8810	8985	Regional
14	BKK	CG	5905	6040	Regional
15	BKK	CG	8785	8920	Regional
16	BKK	CM	205	275	Domestic
17	BKK	CM	1645	1715	Domestic
18	BKK	CM	4525	4595	Domestic
19	BKK	CM	7405	7475	Domestic
20	BKK	CM	340	410	Domestic
21	BKK	CM	1780	1850	Domestic
22	BKK	CM	3220	3290	Domestic
23	BKK	CM	4660	4730	Domestic
24	BKK	CM	6100	6170	Domestic
25	BKK	CM	7540	7610	Domestic
26	BKK	CM	8980	9050	Domestic
27	BKK	CM	3430	3500	Domestic

ตารางที่ ก.39 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
28	BKK	CM	6310	6380	Domestic
29	BKK	CM	9190	9260	Domestic
30	BKK	CM	915	985	Domestic
31	BKK	CM	3795	3865	Domestic
32	BKK	CM	5235	5305	Domestic
33	BKK	CM	8115	8185	Domestic
34	BKK	CR	85	165	Domestic
35	BKK	CR	2965	3045	Domestic
36	BKK	CR	5845	5925	Domestic
37	BKK	CR	7285	7365	Domestic
38	BKK	CR	210	290	Domestic
39	BKK	CR	1650	1730	Domestic
40	BKK	CR	3090	3170	Domestic
41	BKK	CR	7410	7490	Domestic
42	BKK	PSL	-30	25	Domestic
43	BKK	PSL	1410	1465	Domestic
44	BKK	PSL	2850	2905	Domestic
45	BKK	PSL	4290	4345	Domestic
46	BKK	PSL	5730	5785	Domestic
47	BKK	PSL	7170	7225	Domestic
48	BKK	PSL	8610	8665	Domestic
49	BKK	PSL	4655	4710	Domestic
50	BKK	PSL	6095	6150	Domestic
51	BKK	PSL	8975	9030	Domestic
52	BKK	PSL	695	750	Domestic
53	BKK	PSL	2135	2190	Domestic
54	BKK	PSL	3575	3630	Domestic

ตารางที่ ก.40 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
55	BKK	PSL	5015	5070	Domestic
56	BKK	PSL	6455	6510	Domestic
57	BKK	PSL	7895	7950	Domestic
58	BKK	PSL	9335	9390	Domestic
59	BKK	KK	-15	40	Domestic
60	BKK	KK	1425	1480	Domestic
61	BKK	KK	2865	2920	Domestic
62	BKK	KK	4305	4360	Domestic
63	BKK	KK	5745	5800	Domestic
64	BKK	KK	7185	7240	Domestic
65	BKK	KK	8625	8680	Domestic
66	BKK	UB	-30	35	Domestic
67	BKK	UB	1410	1475	Domestic
68	BKK	UB	2850	2915	Domestic
69	BKK	UB	4290	4355	Domestic
70	BKK	UB	5730	5795	Domestic
71	BKK	UB	7170	7235	Domestic
72	BKK	UB	8610	8675	Domestic
73	BKK	UB	455	520	Domestic
74	BKK	UB	1895	1960	Domestic
75	BKK	UB	3335	3400	Domestic
76	BKK	UB	4775	4840	Domestic
77	BKK	UB	6215	6280	Domestic
78	BKK	UB	7655	7720	Domestic
79	BKK	UB	695	760	Domestic
80	BKK	UB	2135	2200	Domestic
81	BKK	UB	3575	3640	Domestic

ตารางที่ ก.41 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
82	BKK	UB	5015	5080	Domestic
83	BKK	UB	6455	6520	Domestic
84	BKK	UB	7895	7960	Domestic
85	BKK	UB	9335	9400	Domestic
86	BKK	UT	355	420	Domestic
87	BKK	UT	1795	1860	Domestic
88	BKK	UT	3235	3300	Domestic
89	BKK	UT	4675	4740	Domestic
90	BKK	UT	6115	6180	Domestic
91	BKK	UT	7555	7620	Domestic
92	BKK	UT	8995	9060	Domestic
93	BKK	HY	645	735	Domestic
94	BKK	HY	2085	2175	Domestic
95	BKK	HY	3525	3615	Domestic
96	BKK	HY	4965	5055	Domestic
97	BKK	HY	6405	6495	Domestic
98	BKK	HY	7845	7935	Domestic
99	BKK	HY	9285	9375	Domestic
100	BKK	ST	220	295	Domestic
101	BKK	ST	1660	1735	Domestic
102	BKK	ST	3100	3175	Domestic
103	BKK	ST	4540	4615	Domestic
104	BKK	ST	5980	6055	Domestic
105	BKK	ST	7420	7495	Domestic
106	BKK	ST	8860	8935	Domestic
107	BKK	ST	615	690	Domestic
108	BKK	ST	2055	2130	Domestic

ตารางที่ ก.42 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
109	BKK	ST	3495	3570	Domestic
110	BKK	ST	4935	5010	Domestic
111	BKK	ST	6375	6450	Domestic
112	BKK	ST	7815	7890	Domestic
113	BKK	ST	9255	9330	Domestic
114	BKK	KB	65	145	Domestic
115	BKK	KB	1505	1585	Domestic
116	BKK	KB	2945	3025	Domestic
117	BKK	KB	4385	4465	Domestic
118	BKK	KB	5825	5905	Domestic
119	BKK	KB	7265	7345	Domestic
120	BKK	KB	8705	8785	Domestic
121	BKK	KB	470	550	Domestic
122	BKK	KB	1910	1990	Domestic
123	BKK	KB	3350	3430	Domestic
124	BKK	KB	4790	4870	Domestic
125	BKK	KB	6230	6310	Domestic
126	BKK	KB	7670	7750	Domestic
127	BKK	KB	9110	9190	Domestic
128	BKK	KB	730	810	Domestic
129	BKK	KB	2170	2250	Domestic
130	BKK	KB	3610	3690	Domestic
131	BKK	KB	5050	5130	Domestic
132	BKK	KB	6490	6570	Domestic
133	BKK	KB	7930	8010	Domestic
134	BKK	KB	9370	9450	Domestic
135	BSB	BKK	1850	2015	Regional

ตารางที่ ก.43 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
136	BSB	BKK	4730	4895	Regional
137	BSB	BKK	9050	9215	Regional
138	CD	BKK	3360	3545	Special
139	CD	BKK	6240	6425	Special
140	CD	BKK	9120	9305	Special
141	CM	BKK	1440	1510	Domestic
142	CM	BKK	4320	4390	Domestic
143	CM	BKK	5760	5830	Domestic
144	CM	BKK	8640	8710	Domestic
145	CM	BKK	325	395	Domestic
146	CM	BKK	1765	1835	Domestic
147	CM	BKK	4645	4715	Domestic
148	CM	BKK	7525	7595	Domestic
149	CM	BKK	460	530	Domestic
150	CM	BKK	1900	1970	Domestic
151	CM	BKK	3340	3410	Domestic
152	CM	BKK	4780	4850	Domestic
153	CM	BKK	6220	6290	Domestic
154	CM	BKK	7660	7730	Domestic
155	CM	BKK	9100	9170	Domestic
156	CM	BKK	3550	3620	Domestic
157	CM	BKK	6430	6500	Domestic
158	CM	BKK	9310	9380	Domestic
159	CR	BKK	335	410	Domestic
160	CR	BKK	1775	1850	Domestic
161	CR	BKK	3215	3290	Domestic
162	CR	BKK	7535	7610	Domestic

ตารางที่ ก.44 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
163	CR	BKK	210	285	Domestic
164	CR	BKK	3090	3165	Domestic
165	CR	BKK	5970	6045	Domestic
166	CR	BKK	7410	7485	Domestic
167	CG	BKK	6095	6235	Regional
168	CG	BKK	8975	9115	Regional
169	HY	BKK	780	870	Domestic
170	HY	BKK	2220	2310	Domestic
171	HY	BKK	3660	3750	Domestic
172	HY	BKK	5100	5190	Domestic
173	HY	BKK	6540	6630	Domestic
174	HY	BKK	7980	8070	Domestic
175	HY	BKK	9420	9510	Domestic
176	KK	BKK	85	140	Domestic
177	KK	BKK	1525	1580	Domestic
178	KK	BKK	2965	3020	Domestic
179	KK	BKK	4405	4460	Domestic
180	KK	BKK	5845	5900	Domestic
181	KK	BKK	7285	7340	Domestic
182	KK	BKK	8725	8780	Domestic
183	KB	BKK	860	940	Domestic
184	KB	BKK	2300	2380	Domestic
185	KB	BKK	3740	3820	Domestic
186	KB	BKK	5180	5260	Domestic
187	KB	BKK	6620	6700	Domestic
188	KB	BKK	8060	8140	Domestic
189	KB	BKK	9500	9580	Domestic

ตารางที่ ก.45 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
190	KB	BKK	590	670	Domestic
191	KB	BKK	2030	2110	Domestic
192	KB	BKK	3470	3550	Domestic
193	KB	BKK	4910	4990	Domestic
194	KB	BKK	6350	6430	Domestic
195	KB	BKK	7790	7870	Domestic
196	KB	BKK	9230	9310	Domestic
197	KB	BKK	200	280	Domestic
198	KB	BKK	1640	1720	Domestic
199	KB	BKK	3080	3160	Domestic
200	KB	BKK	4520	4600	Domestic
201	KB	BKK	5960	6040	Domestic
202	KB	BKK	7400	7480	Domestic
203	KB	BKK	8840	8920	Domestic
204	PSL	BKK	790	835	Domestic
205	PSL	BKK	2230	2275	Domestic
206	PSL	BKK	3670	3715	Domestic
207	PSL	BKK	5110	5155	Domestic
208	PSL	BKK	6550	6595	Domestic
209	PSL	BKK	7990	8035	Domestic
210	PSL	BKK	9430	9475	Domestic
211	PSL	BKK	4750	4795	Domestic
212	PSL	BKK	6190	6235	Domestic
213	PSL	BKK	9070	9115	Domestic
214	PSL	BKK	65	110	Domestic
215	PSL	BKK	1505	1550	Domestic
216	PSL	BKK	2945	2990	Domestic

ตารางที่ ก.46 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
217	PSL	BKK	4385	4430	Domestic
218	PSL	BKK	5825	5870	Domestic
219	PSL	BKK	7265	7310	Domestic
220	PSL	BKK	8705	8750	Domestic
221	PP	BKK	210	275	Regional
222	PP	BKK	1650	1715	Regional
223	PP	BKK	3090	3155	Regional
224	PP	BKK	4530	4595	Regional
225	PP	BKK	5970	6035	Regional
226	PP	BKK	7410	7475	Regional
227	PP	BKK	8850	8915	Regional
228	ST	BKK	735	805	Domestic
229	ST	BKK	2175	2245	Domestic
230	ST	BKK	3615	3685	Domestic
231	ST	BKK	5055	5125	Domestic
232	ST	BKK	6495	6565	Domestic
233	ST	BKK	7935	8005	Domestic
234	ST	BKK	9375	9445	Domestic
235	ST	BKK	340	410	Domestic
236	ST	BKK	1780	1850	Domestic
237	ST	BKK	3220	3290	Domestic
238	ST	BKK	4660	4730	Domestic
239	ST	BKK	6100	6170	Domestic
240	ST	BKK	7540	7610	Domestic
241	ST	BKK	8980	9050	Domestic
242	UB	BKK	80	145	Domestic
243	UB	BKK	1520	1585	Domestic

ตารางที่ ก.47 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 4 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
244	UB	BKK	2960	3025	Domestic
245	UB	BKK	4400	4465	Domestic
246	UB	BKK	5840	5905	Domestic
247	UB	BKK	7280	7345	Domestic
248	UB	BKK	8720	8785	Domestic
249	UB	BKK	570	635	Domestic
250	UB	BKK	2010	2075	Domestic
251	UB	BKK	3450	3515	Domestic
252	UB	BKK	4890	4955	Domestic
253	UB	BKK	6330	6395	Domestic
254	UB	BKK	7770	7835	Domestic
255	UB	BKK	805	870	Domestic
256	UB	BKK	2245	2310	Domestic
257	UB	BKK	3685	3750	Domestic
258	UB	BKK	5125	5190	Domestic
259	UB	BKK	6565	6630	Domestic
260	UB	BKK	8005	8070	Domestic
261	UB	BKK	9445	9510	Domestic
262	UT	BKK	460	520	Domestic
263	UT	BKK	1900	1960	Domestic
264	UT	BKK	3340	3400	Domestic
265	UT	BKK	4780	4840	Domestic
266	UT	BKK	6220	6280	Domestic
267	UT	BKK	7660	7720	Domestic
268	UT	BKK	9100	9160	Domestic

ตารางที่ ก.48 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
1	BKK	HK	60	225	Special
2	BKK	HK	1500	1665	Special
3	BKK	HK	2940	3105	Special
4	BKK	HK	4380	4545	Special
5	BKK	HK	5820	5985	Special
6	BKK	HK	7260	7425	Special
7	BKK	HK	8700	8865	Special
8	BKK	BJ	210	490	Special
9	BKK	BJ	1650	1930	Special
10	BKK	BJ	3090	3370	Special
11	BKK	BJ	4530	4810	Special
12	BKK	BJ	5970	6250	Special
13	BKK	BJ	7410	7690	Special
14	BKK	BJ	8850	9130	Special
15	BKK	HK	540	705	Special
16	BKK	HK	1980	2145	Special
17	BKK	HK	3420	3585	Special
18	BKK	HK	4860	5025	Special
19	BKK	HK	6300	6465	Special
20	BKK	HK	7740	7905	Special
21	BKK	HK	9180	9345	Special
22	BKK	CM	6135	6205	Domestic
23	BKK	PK	60	140	Domestic
24	BKK	PK	1500	1580	Domestic
25	BKK	PK	2940	3020	Domestic
26	BKK	PK	4380	4460	Domestic
27	BKK	PK	5820	5900	Domestic

ตารางที่ ก.49 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
28	BKK	PK	7260	7340	Domestic
29	BKK	PK	8700	8780	Domestic
30	BKK	PK	5985	6065	Domestic
31	BKK	PK	680	760	Domestic
32	BKK	PK	2120	2200	Domestic
33	BKK	PK	3560	3640	Domestic
34	BKK	PK	5000	5080	Domestic
35	BKK	PK	6440	6520	Domestic
36	BKK	PK	7880	7960	Domestic
37	BKK	PK	9320	9400	Domestic
38	BKK	NRT	30	400	Special
39	BKK	NRT	1470	1840	Special
40	BKK	NRT	2910	3280	Special
41	BKK	NRT	4350	4720	Special
42	BKK	NRT	5790	6160	Special
43	BKK	NRT	7230	7600	Special
44	BKK	NRT	8670	9040	Special
45	BKK	FCO	2480	3230	Europe
46	BKK	FCO	5360	6110	Europe
47	BKK	FCO	8240	8990	Europe
48	BKK	CPG	-340	385	Europe
49	BKK	CPG	1100	1825	Europe
50	BKK	CPG	2540	3265	Europe
51	BKK	CPG	3980	4705	Europe
52	BKK	CPG	5420	6145	Europe
53	BKK	CPG	6860	7585	Europe
54	BKK	CPG	8300	9025	Europe

ตารางที่ ก.50 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
55	BKK	ARN	1090	1790	Europe
56	BKK	ARN	2530	3230	Europe
57	BKK	ARN	3970	4670	Europe
58	BKK	ARN	5410	6110	Europe
59	BKK	ARN	6850	7550	Europe
60	BKK	ARN	8290	8990	Europe
61	BKK	FCO	-415	335	Europe
62	BKK	FCO	3905	4655	Europe
63	BKK	FCO	6785	7535	Europe
64	BKK	MDD	8225	9060	Europe
65	BKK	SDN	70	610	AUST
66	BKK	SDN	1510	2050	AUST
67	BKK	SDN	2950	3490	AUST
68	BKK	SDN	4390	4930	AUST
69	BKK	SDN	5830	6370	AUST
70	BKK	SDN	7270	7810	AUST
71	BKK	SDN	8710	9250	AUST
72	BKK	SDN	1015	1555	AUST
73	BKK	SDN	2455	2995	AUST
74	BKK	SDN	3895	4435	AUST
75	BKK	SDN	5335	5875	AUST
76	BKK	SDN	6775	7315	AUST
77	BKK	SDN	8215	8755	AUST
78	BKK	SDN	9655	10195	AUST
79	BKK	LHR	-350	435	Europe
80	BKK	LHR	1090	1875	Europe
81	BKK	LHR	2530	3315	Europe

ตารางที่ ก.51 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
82	BKK	LHR	3970	4755	Europe
83	BKK	LHR	5410	6195	Europe
84	BKK	LHR	6850	7635	Europe
85	BKK	LHR	8290	9075	Europe
86	BKK	LHR	325	1110	Europe
87	BKK	LHR	1765	2550	Europe
88	BKK	LHR	3205	3990	Europe
89	BKK	LHR	4645	5430	Europe
90	BKK	LHR	6085	6870	Europe
91	BKK	LHR	7525	8310	Europe
92	BKK	LHR	8965	9750	Europe
93	BKK	CDG	-415	365	Europe
94	BKK	CDG	1025	1805	Europe
95	BKK	CDG	2465	3245	Europe
96	BKK	CDG	3905	4685	Europe
97	BKK	CDG	5345	6125	Europe
98	BKK	CDG	6785	7565	Europe
99	BKK	CDG	8225	9005	Europe
100	BKK	MNH	340	1080	Europe
101	BKK	MNH	1780	2520	Europe
102	BKK	MNH	4660	5400	Europe
103	BKK	MNH	6100	6840	Europe
104	BKK	MNH	8980	9720	Europe
105	BKK	FFT	4585	5320	Europe
106	BKK	FFT	8905	9640	Europe
107	BKK	FFT	345	1080	Europe
108	BKK	FFT	1785	2520	Europe

ตารางที่ ก.52 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
109	BKK	FFT	3225	3960	Europe
110	BKK	FFT	6105	6840	Europe
111	BKK	FFT	7545	8280	Europe
112	BKK	FFT	1005	1740	Europe
113	BKK	FFT	2445	3180	Europe
114	BKK	FFT	3885	4620	Europe
115	BKK	FFT	5325	6060	Europe
116	BKK	FFT	6765	7500	Europe
117	BKK	FFT	8205	8940	Europe
118	BKK	FFT	9645	10380	Europe
119	BJ	BKK	565	850	Special
120	BJ	BKK	2005	2290	Special
121	BJ	BKK	3445	3730	Special
122	BJ	BKK	4885	5170	Special
123	BJ	BKK	6325	6610	Special
124	BJ	BKK	7765	8050	Special
125	BJ	BKK	9205	9490	Special
126	CM	BKK	6255	6325	Domestic
127	CPG	BKK	815	1380	Europe
128	CPG	BKK	2255	2820	Europe
129	CPG	BKK	3695	4260	Europe
130	CPG	BKK	5135	5700	Europe
131	CPG	BKK	6575	7140	Europe
132	CPG	BKK	8015	8580	Europe
133	CPG	BKK	9455	10020	Europe
134	FFT	BKK	845	1425	Europe
135	FFT	BKK	2285	2865	Europe

ตารางที่ ก.53 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
136	FFT	BKK	3725	4305	Europe
137	FFT	BKK	5165	5745	Europe
138	FFT	BKK	6605	7185	Europe
139	FFT	BKK	8045	8625	Europe
140	FFT	BKK	9485	10065	Europe
141	FFT	BKK	1215	1795	Europe
142	FFT	BKK	2655	3235	Europe
143	FFT	BKK	4095	4675	Europe
144	FFT	BKK	6975	7555	Europe
145	FFT	BKK	8415	8995	Europe
146	FFT	BKK	5475	6055	Europe
147	FFT	BKK	9795	10375	Europe
148	HK	BKK	285	445	Special
149	HK	BKK	1725	1885	Special
150	HK	BKK	3165	3325	Special
151	HK	BKK	4605	4765	Special
152	HK	BKK	6045	6205	Special
153	HK	BKK	7485	7645	Special
154	HK	BKK	8925	9085	Special
155	HK	BKK	765	925	Special
156	HK	BKK	2205	2365	Special
157	HK	BKK	3645	3805	Special
158	HK	BKK	5085	5245	Special
159	HK	BKK	6525	6685	Special
160	HK	BKK	7965	8125	Special
161	HK	BKK	9405	9565	Special
162	LHR	BKK	690	1385	Europe

ตารางที่ ก.54 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
163	LHR	BKK	2130	2825	Europe
164	LHR	BKK	3570	4265	Europe
165	LHR	BKK	5010	5705	Europe
166	LHR	BKK	6450	7145	Europe
167	LHR	BKK	7890	8585	Europe
168	LHR	BKK	9330	10025	Europe
169	LHR	BKK	1230	1925	Europe
170	LHR	BKK	2670	3365	Europe
171	LHR	BKK	4110	4805	Europe
172	LHR	BKK	5550	6245	Europe
173	LHR	BKK	6990	7685	Europe
174	LHR	BKK	8430	9125	Europe
175	LHR	BKK	9870	10565	Europe
176	MDD	FCO	645	785	Europe
177	MDD	FCO	4965	5105	Europe
178	MDD	FCO	7845	7985	Europe
179	MDD	BKK	9410	10050	Europe
180	MLB	BKK	-585	-25	AUST
181	MLB	BKK	855	1415	AUST
182	MLB	BKK	2295	2855	AUST
183	MLB	BKK	3735	4295	AUST
184	MLB	BKK	5175	5735	AUST
185	MLB	BKK	6615	7175	AUST
186	MLB	BKK	8055	8615	AUST
187	MNH	BKK	1210	1780	Europe
188	MNH	BKK	2650	3220	Europe
189	MNH	BKK	5530	6100	Europe

ตารางที่ ก.55 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
190	MNH	BKK	6970	7540	Europe
191	MNH	BKK	9850	10420	Europe
192	CDG	BKK	770	1385	Europe
193	CDG	BKK	2210	2825	Europe
194	CDG	BKK	3650	4265	Europe
195	CDG	BKK	5090	5705	Europe
196	CDG	BKK	6530	7145	Europe
197	CDG	BKK	7970	8585	Europe
198	CDG	BKK	9410	10025	Europe
199	PK	BKK	190	275	Domestic
200	PK	BKK	1630	1715	Domestic
201	PK	BKK	3070	3155	Domestic
202	PK	BKK	4510	4595	Domestic
203	PK	BKK	5950	6035	Domestic
204	PK	BKK	7390	7475	Domestic
205	PK	BKK	8830	8915	Domestic
206	PK	BKK	6125	6210	Domestic
207	PK	BKK	820	905	Domestic
208	PK	BKK	2260	2345	Domestic
209	PK	BKK	3700	3785	Domestic
210	PK	BKK	5140	5225	Domestic
211	PK	BKK	6580	6665	Domestic
212	PK	BKK	8020	8105	Domestic
213	PK	BKK	9460	9545	Domestic
214	FCO	MDD	410	550	Europe
215	FCO	MDD	4730	4870	Europe
216	FCO	MDD	7610	7750	Europe

ตารางที่ ก.56 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
217	FCO	BKK	3740	4305	Europe
218	FCO	BKK	6620	7185	Europe
219	FCO	BKK	9500	10065	Europe
220	FCO	BKK	860	1425	Europe
221	FCO	BKK	5180	5745	Europe
222	FCO	BKK	8060	8625	Europe
223	ARN	BKK	2255	2810	Europe
224	ARN	BKK	3695	4250	Europe
225	ARN	BKK	5135	5690	Europe
226	ARN	BKK	6575	7130	Europe
227	ARN	BKK	8015	8570	Europe
228	ARN	BKK	9455	10010	Europe
229	SDN	MLB	680	775	AUST
230	SDN	MLB	2120	2215	AUST
231	SDN	MLB	3560	3655	AUST
232	SDN	MLB	5000	5095	AUST
233	SDN	MLB	6440	6535	AUST
234	SDN	MLB	7880	7975	AUST
235	SDN	MLB	9320	9415	AUST
236	SDN	BKK	390	955	AUST
237	SDN	BKK	1830	2395	AUST
238	SDN	BKK	3270	3835	AUST
239	SDN	BKK	4710	5275	AUST
240	SDN	BKK	6150	6715	AUST
241	SDN	BKK	7590	8155	AUST
242	SDN	BKK	9030	9595	AUST
243	NRT	BKK	475	865	Special

ตารางที่ ก.57 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 5 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
244	NRT	BKK	1915	2305	Special
245	NRT	BKK	3355	3745	Special
246	NRT	BKK	4795	5185	Special
247	NRT	BKK	6235	6625	Special
248	NRT	BKK	7675	8065	Special
249	NRT	BKK	9115	9505	Special

ตารางที่ ก.58 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
1	BKK	ML	250	445	Regional
2	BKK	ML	1690	1885	Regional
3	BKK	ML	3130	3325	Regional
4	BKK	ML	4570	4765	Regional
5	BKK	ML	6010	6205	Regional
6	BKK	ML	7450	7645	Regional
7	BKK	ML	8890	9085	Regional
8	BKK	KL	540	670	Regional
9	BKK	KL	1980	2110	Regional
10	BKK	KL	3420	3550	Regional
11	BKK	KL	4860	4990	Regional
12	BKK	KL	6300	6430	Regional
13	BKK	KL	7740	7870	Regional
14	BKK	KL	9180	9310	Regional
15	BKK	KL	740	870	Regional
16	BKK	KL	2180	2310	Regional
17	BKK	KL	3620	3750	Regional
18	BKK	KL	5060	5190	Regional
19	BKK	KL	6500	6630	Regional
20	BKK	KL	7940	8070	Regional
21	BKK	KL	9380	9510	Regional
22	BKK	PK	0	80	Domestic
23	BKK	PK	1440	1520	Domestic
24	BKK	PK	2880	2960	Domestic
25	BKK	PK	4320	4400	Domestic
26	BKK	PK	5760	5840	Domestic
27	BKK	PK	7200	7280	Domestic

ตารางที่ ก.59 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
28	BKK	PK	8640	8720	Domestic
29	BKK	PK	6345	6425	Domestic
30	BKK	PK	9225	9305	Domestic
31	BKK	TP	5	225	Regional
32	BKK	TP	1445	1665	Regional
33	BKK	TP	2885	3105	Regional
34	BKK	TP	4325	4545	Regional
35	BKK	TP	5765	5985	Regional
36	BKK	TP	7205	7425	Regional
37	BKK	TP	8645	8865	Regional
38	BKK	KL	8760	8890	Regional
39	BKK	DLH	830	1075	Regional
40	BKK	DLH	2270	2515	Regional
41	BKK	DLH	3710	3955	Regional
42	BKK	DLH	5150	5395	Regional
43	BKK	DLH	6590	6835	Regional
44	BKK	DLH	8030	8275	Regional
45	BKK	DLH	9470	9715	Regional
46	BKK	CM	505	575	Domestic
47	BKK	CM	6265	6335	Domestic
48	BKK	CM	1945	2015	Domestic
49	BKK	CM	3385	3455	Domestic
50	BKK	CM	4825	4895	Domestic
51	BKK	CM	7705	7775	Domestic
52	BKK	CM	9145	9215	Domestic
53	BKK	CM	615	685	Domestic
54	BKK	CM	2055	2125	Domestic

ตารางที่ ก.60 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
55	BKK	CM	3495	3565	Domestic
56	BKK	CM	4935	5005	Domestic
57	BKK	CM	6375	6445	Domestic
58	BKK	CM	7815	7885	Domestic
59	BKK	CM	9255	9325	Domestic
60	BKK	CM	2160	2230	Domestic
61	BKK	CM	3600	3670	Domestic
62	BKK	CM	5040	5110	Domestic
63	BKK	CM	6480	6550	Domestic
64	BKK	CM	7920	7990	Domestic
65	BKK	CM	9360	9430	Domestic
66	BKK	PK	5890	5970	Domestic
67	BKK	PK	9385	9465	Domestic
68	BKK	KMD	210	410	Regional
69	BKK	KMD	1650	1850	Regional
70	BKK	KMD	3090	3290	Regional
71	BKK	KMD	4530	4730	Regional
72	BKK	KMD	5970	6170	Regional
73	BKK	KMD	7410	7610	Regional
74	BKK	KMD	8850	9050	Regional
75	BKK	NRT	970	1350	Special
76	BKK	NRT	2410	2790	Special
77	BKK	NRT	3850	4230	Special
78	BKK	NRT	5290	5670	Special
79	BKK	NRT	6730	7110	Special
80	BKK	NRT	8170	8550	Special
81	BKK	NRT	9610	9990	Special

ตารางที่ ก.61 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
82	BKK	NGO	-410	-70	Special
83	BKK	NGO	1030	1370	Special
84	BKK	NGO	2470	2810	Special
85	BKK	NGO	3910	4250	Special
86	BKK	NGO	5350	5690	Special
87	BKK	NGO	6790	7130	Special
88	BKK	NGO	8230	8570	Special
89	BKK	KIX	360	690	Special
90	BKK	KIX	1800	2130	Special
91	BKK	KIX	3240	3570	Special
92	BKK	KIX	4680	5010	Special
93	BKK	KIX	6120	6450	Special
94	BKK	KIX	7560	7890	Special
95	BKK	KIX	9000	9330	Special
96	BKK	NRT	260	630	Special
97	BKK	NRT	1700	2070	Special
98	BKK	NRT	3140	3510	Special
99	BKK	NRT	4580	4950	Special
100	BKK	NRT	6020	6390	Special
101	BKK	NRT	7460	7830	Special
102	BKK	NRT	8900	9270	Special
103	BKK	KIX	1019	1350	Special
104	BKK	KIX	2459	2790	Special
105	BKK	KIX	3899	4230	Special
106	BKK	KIX	5339	5670	Special
107	BKK	KIX	6779	7110	Special
108	BKK	KIX	8219	8550	Special

ตารางที่ ก.62 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
109	BKK	KIX	9659	9990	Special
110	BKK	ICN	1010	1335	Special
111	BKK	ICN	2450	2775	Special
112	BKK	ICN	3890	4215	Special
113	BKK	ICN	5330	5655	Special
114	BKK	ICN	6770	7095	Special
115	BKK	ICN	8210	8535	Special
116	BKK	ICN	9650	9975	Special
117	BKK	ATH	-385	305	Europe
118	BKK	ATH	3935	4625	Europe
119	BKK	ATH	6815	7505	Europe
120	BKK	BBN	2440	2980	AUST
121	BKK	BBN	5320	5860	AUST
122	BKK	BBN	9640	10180	AUST
123	ATH	BKK	855	1385	Europe
124	ATH	BKK	5175	5705	Europe
125	ATH	BKK	8055	8585	Europe
126	BBN	BKK	320	880	AUST
127	BBN	BKK	3200	3760	AUST
128	BBN	BKK	6080	6640	AUST
129	CM	BKK	625	695	Domestic
130	CM	BKK	2065	2135	Domestic
131	CM	BKK	3505	3575	Domestic
132	CM	BKK	4945	5015	Domestic
133	CM	BKK	6385	6455	Domestic
134	CM	BKK	7825	7895	Domestic
135	CM	BKK	9265	9335	Domestic

ตารางที่ ก.63 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
136	CM	BKK	735	805	Domestic
137	CM	BKK	2175	2245	Domestic
138	CM	BKK	3615	3685	Domestic
139	CM	BKK	5055	5125	Domestic
140	CM	BKK	6495	6565	Domestic
141	CM	BKK	7935	8005	Domestic
142	CM	BKK	9375	9445	Domestic
143	CM	BKK	2280	2350	Domestic
144	CM	BKK	3720	3790	Domestic
145	CM	BKK	5160	5230	Domestic
146	CM	BKK	6600	6670	Domestic
147	CM	BKK	8040	8110	Domestic
148	CM	BKK	9480	9550	Domestic
149	DLH	BKK	-265	-20	Regional
150	DLH	BKK	1175	1420	Regional
151	DLH	BKK	2615	2860	Regional
152	DLH	BKK	4055	4300	Regional
153	DLH	BKK	5495	5740	Regional
154	DLH	BKK	6935	7180	Regional
155	DLH	BKK	8375	8620	Regional
156	KMD	BKK	475	670	Regional
157	KMD	BKK	1915	2110	Regional
158	KMD	BKK	3355	3550	Regional
159	KMD	BKK	4795	4990	Regional
160	KMD	BKK	6235	6430	Regional
161	KMD	BKK	7675	7870	Regional
162	KMD	BKK	9115	9310	Regional

ตารางที่ ก.64 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

มายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
163	KL	BKK	25	155	Regional
164	KL	BKK	1465	1595	Regional
165	KL	BKK	2905	3035	Regional
166	KL	BKK	4345	4475	Regional
167	KL	BKK	5785	5915	Regional
168	KL	BKK	7225	7355	Regional
169	KL	BKK	8665	8795	Regional
170	KL	BKK	735	865	Regional
171	KL	BKK	2175	2305	Regional
172	KL	BKK	3615	3745	Regional
173	KL	BKK	5055	5185	Regional
174	KL	BKK	6495	6625	Regional
175	KL	BKK	7935	8065	Regional
176	KL	BKK	9375	9505	Regional
177	KL	BKK	8960	9090	Regional
178	ML	KIX	510	740	Special
179	ML	KIX	1950	2180	Special
180	ML	KIX	3390	3620	Special
181	ML	KIX	4830	5060	Special
182	ML	KIX	6270	6500	Special
183	ML	KIX	7710	7940	Special
184	ML	KIX	9150	9380	Special
185	ML	BKK	400	585	Regional
186	ML	BKK	1840	2025	Regional
187	ML	BKK	3280	3465	Regional
188	ML	BKK	4720	4905	Regional
189	ML	BKK	6160	6345	Regional

ตารางที่ ก.65 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
190	ML	BKK	7600	7785	Regional
191	ML	BKK	9040	9225	Regional
192	NGO	BKK	90	450	Special
193	NGO	BKK	1530	1890	Special
194	NGO	BKK	2970	3330	Special
195	NGO	BKK	4410	4770	Special
196	NGO	BKK	5850	6210	Special
197	NGO	BKK	7290	7650	Special
198	NGO	BKK	8730	9090	Special
199	KIX	ML	105	335	Special
200	KIX	ML	1545	1775	Special
201	KIX	ML	2985	3215	Special
202	KIX	ML	4425	4655	Special
203	KIX	ML	5865	6095	Special
204	KIX	ML	7305	7535	Special
205	KIX	ML	8745	8975	Special
206	KIX	BKK	-455	-105	Special
207	KIX	BKK	985	1335	Special
208	KIX	BKK	2425	2775	Special
209	KIX	BKK	3865	4215	Special
210	KIX	BKK	5305	5655	Special
211	KIX	BKK	6745	7095	Special
212	KIX	BKK	8185	8535	Special
213	KIX	BKK	165	515	Special
214	KIX	BKK	1605	1955	Special
215	KIX	BKK	3045	3395	Special
216	KIX	BKK	4485	4835	Special

ตารางที่ ก.66 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
217	KIX	BKK	5925	6275	Special
218	KIX	BKK	7365	7715	Special
219	KIX	BKK	8805	9155	Special
220	PK	BKK	130	215	Domestic
221	PK	BKK	1570	1655	Domestic
222	PK	BKK	3010	3095	Domestic
223	PK	BKK	4450	4535	Domestic
224	PK	BKK	5890	5975	Domestic
225	PK	BKK	7330	7415	Domestic
226	PK	BKK	8770	8855	Domestic
227	PK	BKK	6475	6560	Domestic
228	PK	BKK	9355	9440	Domestic
229	PK	BKK	6020	6105	Domestic
230	PK	BKK	9515	9600	Domestic
231	ICN	TP	510	660	Special
232	ICN	TP	1950	2100	Special
233	ICN	TP	3390	3540	Special
234	ICN	TP	4830	4980	Special
235	ICN	TP	6270	6420	Special
236	ICN	TP	7710	7860	Special
237	ICN	TP	9150	9300	Special
238	ICN	BKK	75	410	Special
239	ICN	BKK	1515	1850	Special
240	ICN	BKK	2955	3290	Special
241	ICN	BKK	4395	4730	Special
242	ICN	BKK	5835	6170	Special
243	ICN	BKK	7275	7610	Special

ตารางที่ ก.67 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
244	ICN	BKK	8715	9050	Special
245	TP	ICN	290	435	Special
246	TP	ICN	1730	1875	Special
247	TP	ICN	3170	3315	Special
248	TP	ICN	4610	4755	Special
249	TP	ICN	6050	6195	Special
250	TP	ICN	7490	7635	Special
251	TP	ICN	8930	9075	Special
252	TP	BKK	730	955	Regional
253	TP	BKK	2170	2395	Regional
254	TP	BKK	3610	3835	Regional
255	TP	BKK	5050	5275	Regional
256	TP	BKK	6490	6715	Regional
257	TP	BKK	7930	8155	Regional
258	TP	BKK	9370	9595	Regional
259	NRT	BKK	60	450	Special
260	NRT	BKK	1500	1890	Special
261	NRT	BKK	2940	3330	Special
262	NRT	BKK	4380	4770	Special
263	NRT	BKK	7260	7650	Special
264	NRT	BKK	8700	9090	Special
265	NRT	BKK	5815	6205	Special
266	NRT	BKK	120	510	Special
267	NRT	BKK	1560	1950	Special
268	NRT	BKK	3000	3390	Special
269	NRT	BKK	4440	4830	Special
270	NRT	BKK	5880	6270	Special

ตารางที่ ก.68 รายละเอียดของเที่ยวบินกลุ่มที่ 6 (ต่อ)

หมายเลขเที่ยวบิน	จุดเริ่มต้น	จุดปลายทาง	เวลาออกเดินทาง	เวลาถึงปลายทาง	พื้นที่หรือเขต
271	NRT	BKK	7320	7710	Special
272	NRT	BKK	8760	9150	Special

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจุฑามาศ เมธีสุวกุล เกิดเมื่อวันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2526 ที่โรงพยาบาลรามาธิบดี จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) เมื่อปีการศึกษา 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2547 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2548