

การวิเคราะห์ปัจจัยต้นทุนน้ำมันสำหรับปัญหา  
การจัดเส้นทางการบิน

FUEL COST FACTOR ANALYSIS FOR THE FLIGHT  
ROUTING PROBLEM

จักรกริช สุประการ  
เปมิกา อินสว่าง  
มยุรี ธรรมารักษ์

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)  
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

การวิเคราะห์ปัจจัยต้นทุนน้ำมันสำหรับปัญหา  
การจัดเส้นทางการบิน

FUEL COST FACTOR ANALYSIS FOR THE FLIGHT  
ROUTING PROBLEM



T149421

จักรกริช สุประการ  
เปมิกา อินสว่าง  
มยุรี ธรรมารักษ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....149421  
รับเดือน,ปี..... 8 ส.ค. 2561



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

FUEL COST FACTOR ANALYSIS FOR THE FLIGHT  
ROUTING PROBLEM

JAKKRIT SUPRAKARN  
PEMIKA INSAWANG  
MAYUREE THAMMARAK




A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIRMENTS FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED MATHEMATICS)  
DEPARTMENT OF MATHEMATICS, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

หัวข้อปัญหาพิเศษ การวิเคราะห์ปัจจัยต้นทุนน้ำมันสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการบิน  
 Fuel Cost Factor Analysis for the Flight Routing Problem

ชื่อนักศึกษา นายจักรกริช สุประการ รหัสนักศึกษา 55050026  
 นางสาวเปมิกา อินสว่าง รหัสนักศึกษา 55050093  
 นางสาวมยุรี ธรรมารักษ์ รหัสนักศึกษา 55050120

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)  
 ภาควิชา คณิตศาสตร์  
 ปีการศึกษา 2558  
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ฉัฐไชย สีนาวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
 ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์  
 ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ศุภระวรรณ มะเวชะ ประธานกรรมการ	
ดร.งามเจิด ด้านพัฒนามงคล กรรมการ	
รศ.ดร.ฉัฐไชย สีนาวงศ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การวิเคราะห์ปัจจัยต้นทุนน้ำมันสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการบิน
ชื่อนักศึกษา	นายจักรกริช สุประการ รหัสนักศึกษา 55050026 นางสาวเปมิกา อินสว่าง รหัสนักศึกษา 55050093 นางสาวมยุรี ธรรมารักษ์ รหัสนักศึกษา 55050120
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา	คณิตศาสตร์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ณัฐไชย์ สีนาวงศ์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยผันแปรที่มีผลต่อต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบินในเส้นทางบินไกล เพื่อให้ได้ต้นทุนน้ำมันรวมที่ต่ำที่สุด โดยสามารถเลือกได้จากทั้งเส้นทางการบินตรง และเส้นทางการบินแวะพักจากเมืองต้นทางไปยังเมืองปลายทาง โดยปัจจัยผันแปรที่มีผลต่อต้นทุนน้ำมันที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยเส้นทางการบิน ประเภทของเครื่องบิน ราคาที่จุดเติมน้ำมันต่างๆ และปริมาณการเติมน้ำมัน โดยจะสร้างเป็นแบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Model)

สำหรับกรณีศึกษา : เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA) จะทำการพิจารณาเลือกเส้นทางการบินที่ดีที่สุดจากจำนวน 3 เส้นทาง เลือกเครื่องบินที่เหมาะสมที่สุดจากจำนวน 3 แบบ และเลือกจุดเติมน้ำมัน รวมถึงปริมาณการเติมน้ำมันในแต่ละจุด จากจำนวนทั้งสิ้น 3 จุด ซึ่งมีราคาน้ำมันที่แตกต่างกัน โดยจะทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากโปรแกรม Microsoft Excel Solver เพื่อให้ได้ต้นทุนน้ำมันรวมต่ำที่สุด ทั้งนี้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์นี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือปัญหาการวางแผนวิเคราะห์เส้นทางการบินอื่นได้

คำสำคัญ : การโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุน น้ำมัน เส้นทางการบิน

<b>Title</b>	Fuel Cost Factor Analysis for the Flight Routing Problem	
<b>Student</b>	Mr. Jakkrit Suprakarn	Student ID 55050026
	Miss Pemika Insawang	Student ID 55050093
	Miss Mayuree Thammarak	Student ID 55050120
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Applied Mathematics)	
<b>Department</b>	Mathematics	
<b>Faculty</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2015	
<b>Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Chartchai Leenawong	

## ABSTRACT

The objective of this research is to propose a mathematical model for analyzing variable factors that affect the fuel cost for long-haul flights. The model can choose between non-stop and connecting flights from a departure city to a final destination. Variable fuel cost factors to consider in this research are alternative feasible routes, aircraft models, fuel prices and fuel quantities to fill at each of the departure and connecting cities. These factors are then used in developing a mixed-integer linear programming model so as to minimize the overall fuel cost, given all those fuel cost factors mentioned above.

A case study for the route from Bangkok (BKK) to Frankfurt (FRA) is examined. Three alternative routes, three aircraft models, and three fuel-station cities having different fuel prices are taken into consideration. In order to minimize the total fuel cost, the proposed mathematical model is built onto Microsoft Excel so that Excel Solver can be used to find the optimal route to take, the best aircraft to use, and determine which cities to stop for re-fuel and the associated fuel quantities to fill. The mathematical model proposed here can also be generalized to accommodate similar but more complicated problems.

**Key Word** : mixed-integer programming, flight fuel factors, flight routing

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ รศ.ดร.ฉัฐไชย์ ลีนาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ซึ่งท่านคอยให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย และขอขอบคุณเรืออากาศโท ราเชนทร์ ทองเหม ที่ช่วยอนุเคราะห์ให้ข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้ และให้ความร่วมมือในการตอบข้อสงสัยที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยด้วยความเต็มใจ นอกจากนี้ขอขอบคุณนางสาวหนึ่งฤดี ภูมราเศวต ที่คอยให้คำปรึกษาทางด้านการเขียนโปรแกรม จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จักรกริช สุประการ  
เปมิกา อินสว่าง  
มยุรี ธรรมารักษ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ .....	1
1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการ.....	2
1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>4</b>
2.1 แบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Model) .....	4
2.1.1 กระบวนการในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ .....	4
2.1.2 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) .....	7
2.1.3 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming Model) .....	11
2.1.4 แบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Model).....	13
2.2 Microsoft Excel .....	16
2.2.1 Microsoft Excel Solver.....	16
2.2.2 Visual Basic for Applications .....	17
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับต้นทุนน้ำมันของเที่ยวบินโดยสาร .....	18
2.3.1 เส้นทางการบิน.....	18
2.3.2 ประเภทของเครื่องบิน.....	18
2.3.3 ปริมาณการเติมน้ำมัน.....	18
2.3.4 ราคาน้ำมัน ณ จุดเติมน้ำมัน.....	19

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5 อัตราแลกเปลี่ยน .....	19
2.3.6 จำนวนผู้โดยสารและสัมภาระ.....	19
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	19
<b>บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน.....</b>	<b>21</b>
3.1 ปัจจัยผันแปรที่นำมาศึกษาในงานวิจัย .....	21
3.1.1 เส้นทางการบิน.....	21
3.1.2 ประเภทของเครื่องบิน.....	22
3.1.3 ราคาน้ำมัน ณ จุดเติมน้ำมัน.....	23
3.1.4 ปริมาณการเติมน้ำมัน.....	23
3.2 แนวทางการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ.....	23
3.3 การประมาณปริมาณการใช้น้ำมัน.....	34
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล .....</b>	<b>36</b>
4.1 ผลการวิจัยของแบบจำลองการตัดสินใจ.....	36
4.2 โปรแกรมวิเคราะห์แบบจำลองการตัดสินใจ.....	37
4.2.1 วิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA).....	38
4.2.2 วิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันสำหรับเส้นทางการบินอื่นๆ.....	42
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>49</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
เอกสารอ้างอิง .....	51
ภาคผนวก .....	52
ภาคผนวก ก.....	53
ภาคผนวก ข.....	54

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงช่วงเวลาดำเนินงานของปัญหาพิเศษ.....	3
2.1 ตารางแสดงการทำงานของพนักงาน.....	9
2.2 ต้นทุนคงที่.....	14
2.3 ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยและความต้องการ.....	15
3.1 ระยะทางและเวลาของเส้นทางการบิน.....	21
3.2 ข้อมูลเครื่องบินแต่ละแบบ.....	22
3.3 ข้อมูลการใช้ปริมาณน้ำมันขั้นต่ำ.....	23
3.4 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินแต่ละแบบในระยะทางการบินต่างๆ.....	34

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ .....	5
2.2 ตำแหน่งที่ตั้งของเมืองต่างๆ ภายในโครงข่ายของบริษัทสายการบิน .....	12
2.3 พื้นที่ให้บริการ .....	14
3.1 ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินรุ่น Boeing747-400 .....	34
3.2 ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินรุ่น Boeing777-300ER .....	35
3.3 ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินรุ่น A330-300 .....	35
4.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม .....	37
4.2 หน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA) .....	38
4.3 หน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA) เมื่อกรอกข้อมูลราคาน้ำมันครบ ....	39
4.4 กล่องข้อความ Solver Results .....	39
4.5 การแสดงผลลัพธ์ของหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA) .....	40
4.6 การเลือกเส้นทางการบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA) .....	41
4.7 การเลือกประเภทของเครื่องบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA) .	41
4.8 กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA).....	42
4.9 หน้าจอ Route Information .....	42
4.10 หน้าจอ Route Information เมื่อกรอกข้อมูลครบ .....	44
4.11 หน้าจอ The Flight Routing Problem .....	44
4.12 หน้าจอ The Flight Routing Problem เมื่อกรอกข้อมูลราคาน้ำมันครบ .....	45
4.13 กล่องข้อความ Solver Results .....	46
4.14 การแสดงผลลัพธ์ของหน้าจอ The Flight Routing Problem .....	46
4.15 การเลือกเส้นทางการบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem .....	47
4.16 การเลือกประเภทของเครื่องบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem .....	48
4.17 กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-มิวนิค (BKK-MUC).....	48

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ

การขนส่งทางอากาศ ถือเป็นกิจกรรมคมนาคมขนส่งที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจภายในประเทศ สำหรับการขนส่งทางอากาศการพาณิชย์โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็นการขนส่งสินค้า และการขนส่งผู้โดยสาร ซึ่งการขนส่งผู้โดยสารนั้นนับว่าเป็นส่วนที่มีบทบาทและมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นการเดินทางรูปแบบหนึ่งที่สามารถประหยัดเวลาในการเดินทาง และเพิ่มความความสะดวกสบายกับผู้ใช้บริการเป็นอย่างมาก ทำให้มีผู้เลือกใช้บริการเป็นจำนวนมากในแต่ละปี จึงก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาล ทั้งธุรกิจที่เกี่ยวข้องโดยตรง ได้แก่ ธุรกิจสายการบิน สนามบิน ฯลฯ ตลอดจนส่งผลให้ธุรกิจที่เกี่ยวข้องมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เช่น การท่องเที่ยว การค้า และการบริหาร

ธุรกิจสายการบิน คือกลไกสำคัญในการขนส่งทางอากาศ ถือได้ว่าเป็นธุรกิจที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการบริหารจัดการ ถึงแม้จะเป็นธุรกิจที่มีมูลค่ามหาศาล แต่ต้นทุนในการดำเนินการก็สูงมากเช่นกัน นับตั้งแต่การจัดหาอากาศยาน นักบิน ช่างเครื่องยนต์ ช่างผู้ชำนาญการเกี่ยวกับเครื่องบินแบบนั้นๆ เนื่องจากเครื่องบินแต่ละแบบได้รับการออกแบบมาแตกต่างกัน การบำรุงรักษาเครื่องบินให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน จึงต้องอาศัยความชำนาญเป็นพิเศษ ต้นทุนน้ำมัน ต้นทุนค่าพนักงาน ต้นทุนค่าภาษีสนามบิน และต้นทุนค่าซาก/ค่าเสื่อม เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการบิน เพื่อวางแผนเส้นทางการบินในอนาคต และลดต้นทุนการดำเนินการในส่วนนี้ ซึ่งถือได้ว่าต้นทุนน้ำมันเป็นต้นทุนหลักในการดำเนินการของธุรกิจการบิน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ

- 1) เพื่อนำความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่ศึกษามา ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาธุรกิจอุตสาหกรรม
- 2) เพื่อศึกษา ทำความเข้าใจ และวิเคราะห์การจัดเส้นทางการบิน
- 3) ทำความเข้าใจแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันในการจัดการต่อหนึ่งเที่ยวบิน
- 4) เพื่อคำนวณต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบิน ซึ่งจะนำมาประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำมัน และการเลือกเส้นทางการบิน
- 5) สามารถนำแบบจำลองการตัดสินใจที่ได้จากกรณีศึกษา ไปปรับใช้กับเส้นทางการบินอื่นๆ ได้

### 1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ

- 1) ศึกษาเฉพาะเส้นทางการบินไกล ซึ่งมีทั้งเส้นทางการบินตรง และเส้นทางการบินแวะพัก เช่น โซนยุโรป
- 2) ศึกษาเฉพาะเครื่องบินขนส่งผู้โดยสารเป็นหลัก
- 3) ศึกษาเฉพาะปัจจัยผันแปร (Variable Factors) ที่ส่งผลต่อต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบิน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจ และสามารถวิเคราะห์การจัดเส้นทางการบินได้
- 2) สามารถนำความรู้เรื่องแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันในการจัดการต่อหนึ่งเที่ยวบิน
- 3) สามารถนำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มาใช้ได้จริงในการจัดเส้นทางการบิน
- 4) สามารถคำนวณต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบิน ซึ่งที่จะนำมาประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำมัน และการเลือกเส้นทางการบิน

### 1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการ

- 1) ศึกษาหาข้อมูล และกำหนดหัวข้อโครงการ
- 2) ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางการบิน
- 3) ศึกษาเที่ยวบินขนส่งผู้โดยสาร และเส้นทางการบินไกล
- 4) สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบิน
- 5) ทดลองใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างไว้กับระบบการใช้งานจริง
- 6) สรุปผลการศึกษา และจัดทำรูปเล่มปัญหาพิเศษ
- 7) นำเสนอผลงาน

## 1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงช่วงเวลาดำเนินงานของปัญหาพิเศษ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน							
	ปี 2558				ปี 2559			
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1) ศึกษาหาข้อมูล และกำหนดหัวข้อโครงการ								
2) ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางการบิน								
3) ศึกษาเที่ยวบินขนส่งผู้โดยสาร และเส้นทางการบินไกล								
4) สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบิน								
5) ทดลองใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างไว้กับระบบการใช้งานจริง								
6) สรุปผลการศึกษา และจัดทำรูปเล่มปัญหาพิเศษ								
7) นำเสนอผลงาน								

## บทที่ 2

# ทฤษฎี ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อช่วยวิเคราะห์ ต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบิน สำหรับใช้ประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำมัน และการเลือกเส้นทางการบิน

### 2.1 แบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Model)

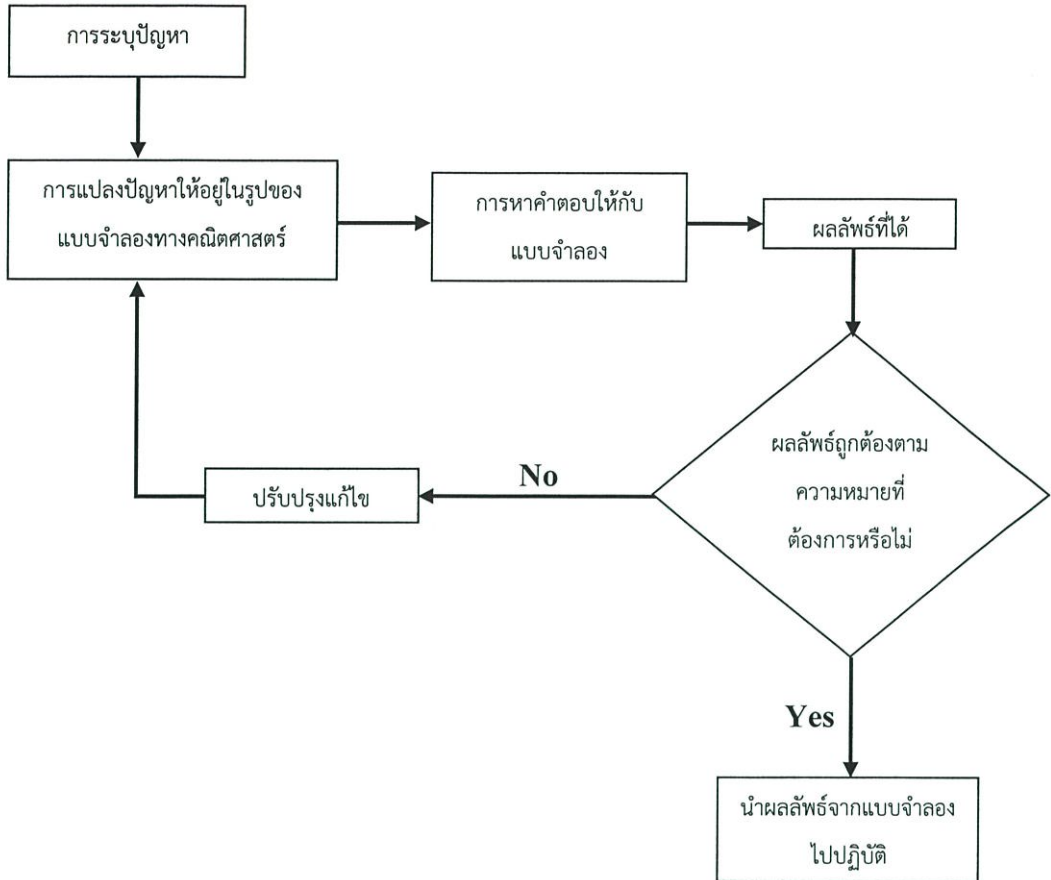
ปัญหาทางด้านธุรกิจอุตสาหกรรมและปัญหาในชีวิตประจำวัน (ณกร อินทร์พยุง, 2548) เราสามารถสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ โดยใช้ตัวแปรที่มีค่าแบบต่อเนื่องได้ แต่ปัญหาด้านธุรกิจอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete decision problem) ซึ่งมีความยากและความซับซ้อนมากในส่วนของ การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองการตัดสินใจพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งมักจะเป็นส่วนประกอบหรือเป็นแบบจำลองการตัดสินใจย่อยในปัญหาต่างๆ ดังนั้นการทำความเข้าใจแนวคิดในการสร้างแบบจำลองพื้นฐานเหล่านี้จะเป็นรากฐานที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ สำหรับปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

#### 2.1.1 กระบวนการในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

กระบวนการตัดสินใจ (นภดล ร่มโพธิ์, 2554) คือการกำหนดขั้นตอนในการตัดสินใจแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นภายในองค์กรอย่างมีหลักเกณฑ์ ด้วยการกำหนดขั้นตอนตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึง ขั้นตอนสุดท้าย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

ในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น จะต้องผ่านกระบวนการ 5 กระบวนการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 กระบวนการการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดปัญหา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากหากไม่สามารถระบุปัญหาได้อย่างถูกต้องแล้ว การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองย่อมทำไม่ได้ หรือหากทำไปก็ไม่มีประโยชน์เพราะจะไม่ทราบคำตอบที่ได้จากแบบจำลองนั้น จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องใด อย่างไร

### ขั้นตอนที่ 2 การแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากเราต้องการที่จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่จะช่วยในการคิดคำนวณ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแปลงปัญหาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะต้องแบ่งแยกให้ชัดเจนว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามคืออะไร มีความสัมพันธ์กันอย่างไร ซึ่งถ้าหากเราแปลงปัญหาเหล่านี้ได้ผิดพลาด แบบจำลองที่สร้างขึ้นก็จะให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดตามไปด้วย

### ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์แบบจำลอง

เป็นขั้นตอนในการใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อค้นหาคำตอบที่ต้องการ ขั้นตอนนี้บางครั้งอาจจะต้องใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อทำการทดลองหาคำตอบหรืออาจจะต้องหาหนทางในการหาแนวทางที่จะให้คำตอบที่ดีที่สุดในกรณีที่คำตอบมีได้หลายค่า

### ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบผลลัพธ์

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญเช่นกัน แต่หลายครั้งเป็นขั้นตอนที่ผู้ใช้แบบจำลองละเลย เพราะอาจจะคิดว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความถูกต้อง ในบางครั้งเราอาจพบว่าคำตอบที่ได้มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองเป็นคำตอบที่มีความผิดปกติหรือคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น หากเราทำการคำนวณเวลาออกมาแล้วได้ค่าที่ติดลบหรือคำนวณจำนวนคนได้ค่าที่ติดลบ เราก็คงทราบทันทีว่าแบบจำลองนั้นมีความผิดพลาด แต่หลายครั้งคำตอบที่ได้อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ เช่น คำนวณค่าเวลาหรือจำนวนคนออกมาเป็นค่าบวก ในกรณีนี้เราจะทราบได้อย่างไรว่าคำตอบที่ได้นั้นมีความถูกต้อง สิ่งที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการตัดสินใจสมควรที่จะต้องทำก็คือต้องทดสอบระบบที่สร้างขึ้นกับสิ่งที่ทราบคำตอบอยู่แล้ว เช่น หากเราทราบอยู่แล้วว่าคำตอบของปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร เราก็อาจจะนำเอาแบบจำลองนี้ไปทดสอบว่าได้ค่าที่ถูกต้องหรือไม่

ในกรณีที่เราทราบว่าแบบจำลองนั้นมีความผิดพลาด สิ่งที่จะต้องทำคือเราต้องย้อนกลับไปพิจารณากระบวนการก่อนหน้านี้นี้ว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นที่ไหน ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าอาจจะผิดตั้งแต่ขั้นตอนในการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบจำลอง หรือผิดในขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง เมื่อทราบว่าผิดที่ใดแล้วก็ควรจะต้องทำการแก้ไขให้ถูกต้อง และทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองอีกครั้ง จนกระทั่งแน่ใจว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ถูกต้องก่อนที่จะนำไปใช้ต่อไป

### ขั้นตอนที่ 5 นำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองไปช่วยในการตัดสินใจ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกคนคาดหวังคือการนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองไปช่วยในการตัดสินใจ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนั้นเป็นเพียงแค่ส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการตัดสินใจ การตัดสินใจขั้นตอนสุดท้ายยังคงอยู่กับผู้บริหาร เช่น หากเราใช้แบบจำลองคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการทำกำไรของสินค้าใหม่อย่างหนึ่งและพบว่าความน่าจะเป็นที่จะได้กำไรอยู่ที่ 70% ตัวเลข 70% นี้ก็จะมีส่วนที่จะช่วยให้ผู้บริหารมีข้อมูลในการตัดสินใจที่จะทำการลงทุนในสินค้าใหม่นี้หรือยุติโครงการดังกล่าว เป็นต้น

### 2.1.2 แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model)

แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (พัชรภรณ์ เนิยมมณี, 2551) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในอุตสาหกรรม การธนาคาร การศึกษา การขนส่ง การเกษตร การปิโตรเลียม และการวางแผนการจัดสรรทรัพยากร โดยนำปัญหามาเขียนในรูปของแบบจำลองคณิตศาสตร์ จะเรียกว่าแบบจำลองโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) โดยคำว่าแบบจำลองโปรแกรม (Programming) ในที่นี้หมายถึงการวางแผน (Planning) ส่วนคำว่าคณิตศาสตร์ (Mathematical) หมายถึงตัวแบบคณิตศาสตร์ของปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนั้นแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น จึงเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการวางแผน เพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์ที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

โดยทั่วไปแบบจำลองโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) ซึ่งแทนปริมาณของกิจกรรมต่างๆ ที่พิจารณา ข้อจำกัด (Constraint) เป็นเงื่อนไขที่ระบุว่าจะปัญหานี้จะทำอะไรได้บ้างหรือทำกิจกรรมอะไรไม่ได้บ้าง ส่วนใหญ่เป็นข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ (Resource constraint) ซึ่งเขียนในรูปความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ทรัพยากรของแต่ละกิจกรรมและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) แสดงถึงประสิทธิผลของการใช้ทรัพยากรเพื่อทำกิจกรรมเหล่านี้ ในกรณีที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรตัดสินใจในข้อจำกัดและฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นแบบเชิงเส้นตรง จะเรียกแบบจำลองโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์นี้ว่า แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างตัวแบบจำลองเชิงเส้นสำหรับปัญหาต่างๆ และข้อตกลงเบื้องต้นของแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น

#### ❖ ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองของปัญหา

การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในธุรกิจอุตสาหกรรมหรือภาครัฐ นักวิเคราะห์ระบบต้องศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อให้เข้าใจถึงปัญหาอย่างแท้จริง พิจารณาข้อจำกัด สมมติฐาน และวัตถุประสงค์ของการศึกษาปัญหาเสียก่อน แล้วจึงนำรายละเอียดต่างๆ มาสร้างตัวแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของปัญหาสามารถสรุปได้ ดังนี้

- (1) กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Defining decision variables) ตัวแปรตัดสินใจ หมายถึงกิจกรรมที่ผู้ตัดสินใจสนใจ ค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสมคือปริมาณของกิจกรรมที่ควรจะทำ ผู้ตัดสินใจจะนำค่าของตัวแปรนี้เพื่อไปใช้ประกอบการตัดสินใจ ในแต่ละปัญหาตัวแปรตัดสินใจอาจแตกต่างกันไป ตามลักษณะเฉพาะของปัญหา เช่น ปัญหาด้านการลงทุน เราอาจต้องการทราบว่าควรลงทุนในธุรกิจแต่ละประเภทจำนวนเท่าใด ปัญหาด้านการผลิต เราต้องการทราบว่าควรผลิตสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาเป็นเท่าใด เป็นต้น ตัวแปรตัดสินใจอาจจะเป็นตัวแปรมิติเดียวหรือหลายมิติก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา เช่น ปัญหาการลงทุนข้างต้น อาจกำหนดให้  $x_j$  เป็นตัวตัดสินใจ แทนจำนวนเงินลงทุนที่จัดสรรให้กับธุรกิจประเภทที่  $j$  สำหรับปัญหาการวางแผน

แผนการผลิตที่กล่าวข้างต้น อาจกำหนดให้  $x_{ij}$  เป็นตัวแปรตัดสินใจ แทนปริมาณการผลิตสินค้าที่  $i$  ในช่วงเดือนที่  $j$  เป็นต้น

- (2) กำหนดฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Defining objective function) เป็นการกำหนดเป้าหมายของแบบจำลอง เพื่อให้สามารถหาค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้มากที่สุด โดยทั่วไปเราจะต้องระบุถึงทิศทางของฟังก์ชันนี้ เช่น เป้าหมายการหาค่าสูงสุด หรือเป้าหมายการหาค่าต่ำสุด เป็นต้น
- (3) กำหนดข้อจำกัดของปัญหา (Identifying constraint) เป็นการกำหนดข้อจำกัดของปัญหาในเทอมของตัวแปรตัดสินใจ โดยทั่วไปข้อจำกัดพื้นฐานของปัญหาการหาค่าสูงสุด คือปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่ปริมาณสูงสุดที่เป็นไปได้ของตัวแปรตัดสินใจข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (Product specifications) เป็นต้น ข้อจำกัดพื้นฐานสำหรับปัญหาการหาค่าต่ำสุด ได้แก่ ปริมาณต่ำสุดของตัวแปรตัดสินใจ ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่ เป็นต้น
- (4) สร้างตัวแบบ แบบจำลองเชิงเส้น (Developing linear programming models) หลังจากได้กำหนดตัวแปรตัดสินใจและข้อจำกัดต่างๆ แล้ว จะนำเอาฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อให้สามารถหาผลเฉลย (Solution) ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดและทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าดีที่สุด
- (5) ตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการตรวจสอบว่าตัวแบบที่สร้างขึ้นนี้มีความถูกต้องหรือไม่ กล่าวคือ ต้องตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัดต่างๆ และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้นั้นว่าสอดคล้องกับปัญหาที่กำหนดและครบถ้วนหรือไม่ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าความถูกต้องหรือไม่ หากตัวแบบที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น ระบุความสัมพันธ์ไม่ครบถ้วน ความสัมพันธ์ไม่ถูกต้อง ค่าพารามิเตอร์ผิดพลาด เป็นต้น ผลเฉลยที่ได้จากตัวแบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจหรือนำไปใช้วางแผนได้

### ตัวอย่าง

การจัดตารางการทำงานของพนักงานที่ทำงานในลานจอดเครื่องบินของสนามบินแห่งหนึ่ง ตั้งแต่ 06:00 น. – 22:00 น. เพื่อให้เพียงพอกับจำนวนเที่ยวบินในแต่ละวัน จากการสำรวจจำนวนเที่ยวบินในแต่ละวันพบว่า จำนวนพนักงานที่ทำงานในลานจอดเครื่องบินในแต่ละชั่วโมงสามารถแสดงดังตารางที่ 2.1 พนักงานที่ทำงานในลานจอดเครื่องบินแต่ละคนจะเข้างาน 8 ชั่วโมง ทางสนามบินต้องการทราบว่า ในแต่ละช่วงเวลาจะมีพนักงานที่ทำงานในลานจอดเครื่องบินเข้างานจำนวนเท่าใด โดยมีข้อกำหนดว่าไม่มีพนักงานคนใดที่เข้างานหลัง 14:00 น. และจำนวนพนักงานต้องมีเพียงพอับความต้องการ

**ตารางที่ 2.1** ตารางแสดงการทำงานของพนักงาน

ช่วงเวลา	จำนวนพนักงาน (คน)	ช่วงเวลา	จำนวนพนักงาน (คน)
6:00 – 7:00 น.	5	14:00 – 15:00 น.	13
7:00 – 8:00 น.	17	15:00 – 16:00 น.	13
8:00 – 9:00 น.	23	16:00 – 17:00 น.	12
9:00 – 10:00 น.	18	17:00 – 18:00 น.	18
10:00 – 11:00 น.	14	18:00 – 19:00 น.	18
11:00 – 12:00 น.	12	19:00 – 20:00 น.	16
12:00 – 13:00 น.	23	20:00 – 21:00 น.	10
13:00 – 14:00 น.	18	21:00 – 22:00 น.	5

(1) กำหนดตัวแปรตัดสินใจ

$x_1$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 06:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 14:00 น.

$x_2$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 07:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 15:00 น.

$x_3$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 08:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 16:00 น.

$x_4$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 09:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 17:00 น.

$x_5$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 10:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 18:00 น.

$x_6$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 11:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 19:00 น.

$x_7$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 12:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 20:00 น.

$x_8$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 13:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 21:00 น.

$x_9$  แทนจำนวนพนักงานที่เริ่มงานเวลา 14:00 น. ซึ่งจะเลิกงานเวลา 22:00 น.

(2) กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ต้องการให้มีจำนวนพนักงานน้อยที่สุด

$$\text{Min } \sum_{i=1}^9 x_i$$

(3) กำหนดข้อจำกัดของปัญหา

1. จำนวนพนักงานที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลาให้เพียงพอกับความต้องการ

$$\begin{array}{rcl} x_1 & & \geq 5 \\ x_1 + x_2 & & \geq 17 \\ & x_2 + x_3 & \geq 23 \\ x_1 & + x_3 + x_4 & \geq 18 \\ x_1 + x_2 & + x_4 + x_5 & \geq 14 \\ & x_2 + x_3 & + x_5 + x_6 & \geq 12 \\ x_1 & + x_3 + x_4 & + x_6 + x_7 & \geq 23 \\ x_1 + x_2 & + x_4 + x_5 & + x_7 + x_8 & \geq 18 \\ & x_2 + x_3 & + x_5 + x_6 & + x_8 + x_9 & \geq 13 \\ & & x_3 + x_4 & + x_6 + x_7 & + x_9 & \geq 13 \\ & & & x_4 + x_5 & + x_7 + x_8 & \geq 12 \\ & & & & x_5 + x_6 & + x_8 + x_9 & \geq 18 \\ & & & & & x_6 + x_7 & + x_9 & \geq 18 \\ & & & & & & x_7 + x_8 & \geq 16 \\ & & & & & & & x_8 + x_9 & \geq 10 \\ & & & & & & & & x_9 & \geq 5 \end{array}$$

2. จำนวนพนักงานที่ต้องการต้องไม่เป็นค่าติดลบ และเป็นจำนวนเต็ม

$$x_i \geq 0 ; i = 1, 2, 3, \dots, 9$$

จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ผลเฉลย คือ  $x_1 = 6$ ,  $x_2 = 11$ ,  $x_3 = 12$ ,  $x_4 = 0$ ,  $x_5 = 0$ ,  $x_6 = 5$ ,  $x_7 = 8$ ,  $x_8 = 8$  และ  $x_9 = 5$  โดยที่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือจำนวนพนักงานน้อยที่สุดเท่ากับ 55 คน

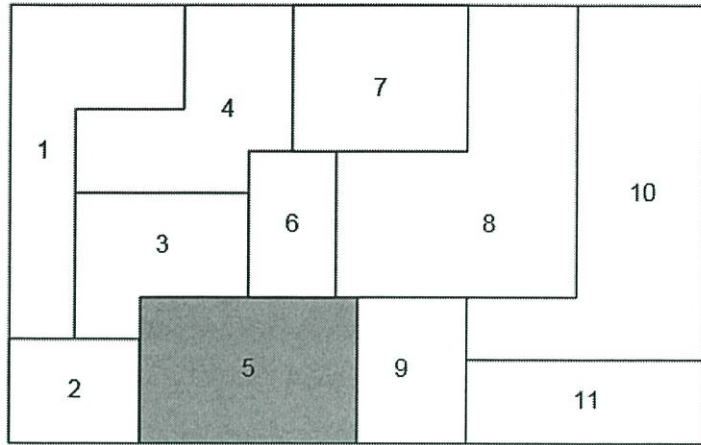
### 2.1.3 แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming Model)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (พัชรภรณ์ เนียมมณี, 2551) เช่นเดียวกับหัวข้อก่อนหน้า เนื่องจากปัญหาการจัดการทรัพยากรที่พบเห็นโดยทั่วไป บางปัญหาต้องกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนเต็ม เช่น ปัญหาการลงทุนซื้ออุปกรณ์หรือเครื่องจักรเข้ามาในการทำงาน เราต้องการทราบจำนวนอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ต้องการซื้อ สำหรับปัญหาการเดินทางของรถขนส่ง จะกำหนดถ้าสินค้าผ่านเส้นทางใดแล้ว จะให้ตัวแปรแทนการขนส่งผ่านเส้นทางนั้นมีค่าเป็น 1 หากไม่ขนส่งผ่านเส้นทางดังกล่าวตัวแปรนี้จะมีค่าเป็น 0 เป็นต้น ปัญหาในลักษณะนี้เราไม่สามารถกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นเศษส่วน หรือจำนวนที่มีทศนิยมได้ แต่จะกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น ลักษณะตัวแบบของแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแตกต่างจากแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในแง่ที่ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น ซึ่งจะเรียกปัญหาแบบจำลองโปรแกรมนี้ว่า แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ปัญหาแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

- (1) แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแท้จริง (Pure Integer Linear Programming) ซึ่งปัญหาประเภทนี้ ตัวแปรตัดสินใจทุกตัวต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น โดยตัวแปรอาจเป็นจำนวนเต็มแบบทวิภาค (Binary Integer) ที่มีค่าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น เช่น 0 หรือ 1 เป็นต้น ซึ่งปัญหาอาจมีทั้งตัวแปรจำนวนเต็มและตัวแปรจำนวนเต็มแบบทวิภาคอยู่ในปัญหาเดียวกันก็ได้
- (2) แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming, MIP) ซึ่งปัญหาประเภทนี้ ตัวแปรตัดสินใจบางตัวเป็นจำนวนเต็ม ขณะที่ตัวแปรที่เหลือไม่เป็นจำนวนเต็ม ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมในหัวข้อต่อไป

### ตัวอย่าง

ปัญหาการหาจำนวนและที่ตั้งของศูนย์กลางการบินของสายการบิน สมมติว่ามีจำนวนเมืองอยู่ 11 แห่ง ภายในโครงข่ายของสายการบินบริษัทหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งที่ตั้งของเมืองต่างๆ ภายในโครงข่ายของบริษัทสายการบิน

บริษัทสายการบินต้องการจะหาที่ตั้งศูนย์กลางการบิน (Airport hub location) ภายในเครือข่ายที่ให้บริการให้มีจำนวนที่ตั้งของศูนย์กลางการบินน้อยที่สุด โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขแบบ Set covering นั่นคือบริษัทจะตั้งศูนย์กลางการบินที่เมืองใดๆ ก็ได้ เมื่อตั้งศูนย์กลางการบินที่เมืองใดเมืองหนึ่งแล้ว ศูนย์กลางการบินแห่งนั้นไม่เพียงพอสามารถรองรับความต้องการที่เมืองนั้นแล้ว แต่ยังสามารถรองรับความต้องการในการเดินทางของเมืองที่อยู่ติดกันกับเมืองที่มีศูนย์กลางการบินด้วย ยกตัวอย่าง เช่น จากรูปที่ 2.1 เมื่อบริษัทเลือกเมืองที่ 5 เป็นตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กลางการบิน บริษัทไม่จำเป็นที่จะต้องตั้งศูนย์กลางการบินที่เมือง 2, 3, 6, 8 และ 9 อีก เพราะเมืองเหล่านี้มีอาณาเขตติดกับเมืองที่ 5

(1) ตัวแปรตัดสินใจ

$$x_i = \begin{cases} 1; & \text{ถ้าเมือง } i \text{ ถูกเลือกเพื่อตั้งศูนย์กลางการบิน} \\ 0; & \text{ถ้าเมือง } i \text{ ไม่ถูกเลือกเพื่อตั้งศูนย์กลางการบิน} \end{cases}$$

(2) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ต้องการให้มีจำนวนของศูนย์กลางการบินให้น้อยที่สุด

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{11} x_i$$

(3) ข้อจำกัดของปัญหา

เลือกเมือง  $i$  เป็นตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กลางการบิน

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \geq 1$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_5 \geq 1$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 1$$

$$x_1 + x_3 + x_4 + x_6 + x_7 \geq 1$$

$$x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_8 + x_9 \geq 1$$

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 1$$

$$x_4 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 1$$

$$x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \geq 1$$

$$x_5 + x_8 + x_9 + x_{10} \geq 1$$

$$x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} \geq 1$$

$$x_9 + x_{10} + x_{11} \geq 1$$

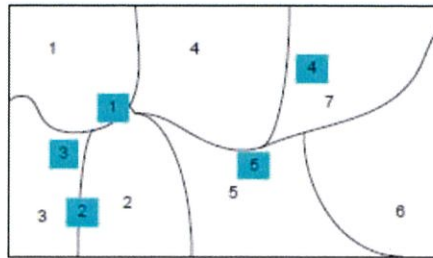
จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ผลเฉลย คือ  $x_3, x_6, x_{10} = 1$  และ  $x_1, x_2, x_4, x_5, x_7, x_8, x_9, x_{11} = 0$  โดยที่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือจำนวนของศูนย์กลางการบินน้อยที่สุดเท่ากับ 3

#### 2.1.4 แบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Model)

การสร้างแบบจำลองโปรแกรม (พัชรภรณ์ เนียมมณี, 2551) ที่มีตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเป็นได้ทั้งจำนวนเต็มและไม่เป็นจำนวนเต็มก็ได้ และการสร้างแบบจำลองโปรแกรมจำนวนเต็มที่มีตัวแปรตัดสินใจเป็นมีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น อย่างไรก็ตามปัญหาในทางธุรกิจและอุตสาหกรรมหลายปัญหา ที่มีตัวแปรตัดสินใจบางตัวต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็ม หรือมีค่าเป็นจำนวนเต็มทวิภาค ขณะที่ตัวแปรตัดสินใจที่เหลือเป็นตัวแปรที่ไม่เป็นจำนวนเต็มก็ได้ ปัญหาในลักษณะนี้เมื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาผลเฉลยของปัญหา จะเรียกแบบจำลองประเภทนี้ว่า แบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Model)

### ตัวอย่าง

สนามบินแห่งหนึ่งกำลังพิจารณาจัดตั้งจุดเก็บน้ำมันเพื่อให้บริการเติมน้ำมันใน 7 โซน (zone) ของสนามบิน ดังรูปที่ 2.3 โดยวงกลมทั้ง 5 แห่ง แทนตำแหน่งที่สามารถเป็นจุดเก็บน้ำมันได้ โดยการประมาณต้นทุนคงที่ต่อไป และจากการศึกษาต้นทุนในการขนส่งน้ำมันไปยังเครื่องบินในบริเวณต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 นอกจากนี้ ทางสนามบินได้ประมาณความต้องการในแต่ละบริเวณ แสดงในตารางที่ 2.2 เช่นกัน ทางสนามบินต้องการทราบว่าควรตั้งจุดน้ำมันในตำแหน่งใดบ้าง เพื่อให้เพียงพอับความต้องการและมีต้นทุนรวมต่ำที่สุด



รูปที่ 2.3 พื้นที่ให้บริการ

$i$  แทน จุดเก็บน้ำมัน และ  $j$  แทน โซนบริการเติมน้ำมัน

ตารางที่ 2.2 ต้นทุนคงที่

ตำแหน่งจุดเก็บน้ำมัน ( $i$ )	ต้นทุนคงที่ต่อเดือน (บาท)	ความสามารถในการจัดส่ง (หน่วย/เดือน)
1	460,000	2,000
2	300,000	1,500
3	350,000	1,600
4	400,000	1,800
5	400,000	1,800

ตารางที่ 2.3 ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยและความต้องการ

โซน ( $j$ )	ตำแหน่งจุดเก็บน้ำมัน ( $i$ )					ความต้องการ ในแต่ละโซน (หน่วย/เดือน)
	1	2	3	4	5	
1	3	4	6	10	4	500
2	4	2	2	8	9	400
3	5	2	1	5	8	600
4	1	4	8	10	5	400
5	3	9	10	5	2	300
6	5	10	8	4	1	600
7	10	8	3	1	2	500

(1) กำหนดตัวแปรตัดสินใจ

$C_i$  แทน ความสามารถสูงสุดในการจัดส่งของจุดเก็บน้ำมันในตำแหน่งที่  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots, 5$

$D_j$  แทน ปริมาณความต้องการในโซน  $j$ ;  $j = 1, 2, \dots, 7$

$d_{ij}$  แทน ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยจากจุดเก็บน้ำมัน  $i$  ไปยังโซนที่  $j$

$f_i$  แทน ต้นทุนคงที่ต่อเดือน เมื่อมีการตั้งจุดเก็บน้ำมันในตำแหน่งที่  $i$

$x_{ij}$  แทน ปริมาณจัดส่งจากจุดเก็บน้ำมัน  $i$  ไปยังจุดเก็บน้ำมันในโซนที่  $j$

$$y_i = \begin{cases} 1; & \text{เลือกตั้งจุดเก็บน้ำมันที่ตำแหน่ง } i \\ 0; & \text{ไม่เลือกตั้งจุดเก็บน้ำมันที่ตำแหน่ง } i \end{cases}$$

(2) กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ต้องการให้มีจำนวนจุดเก็บน้ำมัน และต้นทุนค่าขนส่งน้อยที่สุด

$$\text{Min } \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^5 d_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^5 f_i y_i$$

## (3) ข้อจำกัด

- จุดเติมน้ำมันในแต่ละโชนได้รับการจัดส่งน้ำมัน 1 จุดเก็บน้ำมัน

$$\sum_{i=1}^5 x_{ij} y_i \geq 1 \quad \forall j$$

- ปริมาณจัดส่งไม่เกินความสามารถสูงสุดของจุดเก็บน้ำมัน

$$\sum_{j=1}^7 x_{ij} \leq C_i y_i \quad \forall i$$

- ปริมาณจัดส่งให้เพียงพอกับความต้องการ

$$\sum_{i=1}^5 x_{ij} \geq D_j \quad \forall j$$

- ข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจ

$$\begin{aligned} x_{ij} &\geq 0 && \forall i, j \\ y_i &\in \{0,1\} && \forall i \end{aligned}$$

จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ผลเฉลยคือ  $y_2 = y_5 = 1$ ,  $x_{21} = 235.32$ ,  $x_{22} = 400$ ,  $x_{23} = 600$ ,  $x_{24} = 264.68$ ,  $x_{51} = 264.68$ ,  $x_{54} = 135.32$ ,  $x_{55} = 300$ ,  $x_{56} = 600$  และ  $x_{57} = 500$  โดยค่าขนส่งต่ำสุดคือ 707,935.32 บาท นั่นคือจะตั้งจุดเก็บน้ำมันในตำแหน่งที่ 2 และ 5 โดยจุดเก็บน้ำมันในตำแหน่งที่ 2 จะจัดส่งน้ำมันให้โชน 1, 2, 3 และ 4 โดยปริมาณขนส่งเท่ากับ 235.32, 400, 600 และ 264.68 หน่วยตามลำดับ ส่วนจุดเก็บน้ำมันตำแหน่งที่ 5 จะจัดส่งน้ำมันให้โชน 1, 4, 5, 6 และ 7 โดยปริมาณขนส่งเท่ากับ 264.68, 135.32, 300, 600 และ 500 หน่วยตามลำดับ

## 2.2 Microsoft Excel

โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการทำงานสูง โดยเฉพาะงานทางด้านกรคำนวณ ประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งทางด้านการเงิน บัญชี การผลิต สถิติ และวิศวกรรม รวมถึงงานด้านการจัดการเอกสารต่างๆ ซึ่งจุดเด่นของ Microsoft Excel คือมีเครื่องมือสำเร็จรูปด้านการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น Filer และ Sort ที่ง่ายต่อการใช้งาน นอกจากนี้ Microsoft Excel ยังมีฟังก์ชันสำเร็จรูปสำหรับการใช้งานในทุกๆด้าน

### 2.2.1 Microsoft Excel Solver

ปัจจุบันปัญหาที่ต้องการการตัดสินใจมีความซับซ้อน (ศักดิ์สิทธิ์ สุขสุเมธ, 2557) ซึ่งการตัดสินใจไม่ว่าจะถูกต้องหรือผิดพลาดย่อมส่งผลกระทบต่อธุรกิจต่อองค์กร ก่อนตัดสินใจในสถานการณ์หนึ่งๆ ผู้ตัดสินใจมักต้องการทราบคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุดหรือที่เหมาะสมที่สุดมาประกอบการพิจารณา เช่น ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด เวล่าน้อยที่สุด ระยะทางสั้นที่สุด กำไรสูงสุด ฯลฯ หากได้คำตอบแล้วจะทราบได้อย่างไรว่าเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด คำตอบของคำถามเหล่านี้อาศัยเทคนิควิธีแบบจำลอง

โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) เป็นเทคนิควิธีในแขนงการศึกษาที่มีชื่อเรียกต่างๆ เช่น การวิจัยดำเนินการ การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ การวิเคราะห์เชิงการปริมาณ การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการตัดสินใจ การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ และชื่อทำนองเดียวกันอื่นๆ

ปัญหาที่ใช้วิธีแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) ในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เป็นวิธีที่ทำได้ยากมากเพราะต้องคำนวณตามวิธีการไปที่ละขั้น กลับไปกลับมา แม้แต่ปัญหาง่ายๆ มีตัวแปรตัดสินใจเพียงสองหรือสามตัว ด้วยเงื่อนไขบังคับเพียงสามหรือสี่เงื่อนไข ต้องใช้เวลานับเป็นชั่วโมงหรือเป็นวันในการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแก้ปัญหาวิธีแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) คำตอบที่ได้นั้นมีความแม่นยำ สะดวก และรวดเร็วขึ้น โปรแกรมที่นิยมนำมาใช้เพื่อช่วยในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งจะมี Solver เป็นโปรแกรมสนับสนุนหรือโปรแกรมย่อย (Add-in) ทำหน้าที่ในการค้นหาคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ยิ่งไปกว่านั้น Solver ยังสามารถใช้แก้ปัญหาแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) ที่ต้องการผลลัพธ์เป็นเลขจำนวนเต็ม ปัญหาที่ต้องการคำตอบประเภทใช่หรือไม่ใช่ ทำหรือไม่ทำ คือผลลัพธ์ที่เป็นจำนวนเต็มแบบทวิภาค (Binary Integer) หรือมีค่าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น เช่น 0 หรือ 1 หรือแม้แต่ปัญหาแบบจำลองโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Non-Linear Programming Model)

Solver เป็นโปรแกรมสนับสนุนหรือโปรแกรมย่อย (Add-in) หนึ่งของโปรแกรม Microsoft Excel มีไว้เพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาประเภทต้องการคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด Solver สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแท้จริงได้ แต่ไม่เสมอไป เพราะบางครั้งอาจให้เพียงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายในขอบเขตหนึ่ง หรือบางครั้งอาจให้เพียงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายในเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติหรือในมุมมองของผู้ตัดสินใจ ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่แท้จริง หรือเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายในขอบเขตหนึ่ง ไม่เป็นประเด็นสำคัญนัก เพียงขอให้ผลลัพธ์ที่ทำให้การดำเนินงานวัดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในขณะนั้นเท่านั้น

## 2.2.2 Visual Basic for Applications

โปรแกรม Microsoft Excel (ดุสิต กอปรรักษาติ, 2556) สามารถเก็บข้อมูลงานประเภทต่างๆ ได้ เช่น การสรุปผลรายงาน สรุปยอดขายของพนักงานขายทุกคนทุกเดือน โดยเก็บข้อมูลการขายในเวิร์กชีต Microsoft Excel การส่งก็อปปี้อข้อมูลการเวิร์กชีตทั้งหมดมาเรียงต่อกันในเวิร์กชีตหลัก หรือการคำนวณต้นทุน การวางแผน การจัดส่งสินค้าโดยมีเงื่อนไขการจัดส่งแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ Microsoft Excel มีฟังก์ชันสำเร็จรูปสำหรับการใช้งานในทุกๆ ด้าน และสามารถเขียนโปรแกรมใน Microsoft Excel ด้วยภาษา Visual Basic for Applications (VBA) ซึ่งทำให้ควบคุมการทำงานของ Microsoft Excel ได้ สามารถสั่งให้ Microsoft Excel ทำงานซ้ำๆ อัตโนมัติ เช่น การจัดฟอร์มแมตข้อมูลในทุกๆ เวิร์กชีตพร้อมกัน หรือเพิ่มข้อมูลลงบนไฟล์ Microsoft

Excel หลายๆ ไฟล์พร้อมกันแบบอัตโนมัติ ทำให้การทำงานใช้เวลาสั้นลง และยังสามารถปรับแต่งเมนูของ Microsoft Excel ให้เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูปได้อีกด้วย

Visual Basic for Applications (VBA) เป็นภาษาที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรแกรม Microsoft Office โครงสร้างของภาษาเหมือนกับภาษา Visual Basic แต่มีส่วนเพิ่มเติมในวิธีการอ้างอิงองค์ประกอบในโปรแกรม Microsoft Office

### 2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับต้นทุนน้ำมันของเที่ยวบินโดยสาร

การดำเนินงานของเที่ยวบินโดยสาร เป็นการดำเนินงานที่ใช้ต้นทุนค่อนข้างสูง โดยประกอบด้วย ต้นทุนน้ำมัน ต้นทุนพนักงาน ต้นทุนค่าเช่า/ค่าเสื่อม และต้นทุนค่าสนามบิน ซึ่งมีต้นทุนน้ำมันเป็นต้นทุนหลัก ดังนั้นการวิเคราะห์ปัจจัยต้นทุนน้ำมัน จึงมีความสำคัญต่อต้นทุนการดำเนินงานของเที่ยวบินโดยสาร

ปัจจัยผันแปร (บางส่วน) ที่มีผลต่อต้นทุนน้ำมัน สามารถแบ่งได้ ดังนี้

- เส้นทางการบิน
- ประเภทของเครื่องบิน
- ปริมาณการเติมน้ำมัน
- ราคาน้ำมัน ณ จุดเติมน้ำมัน
- อัตราแลกเปลี่ยน
- จำนวนผู้โดยสารและสัมภาระ

#### 2.3.1 เส้นทางการบิน

การให้บริการในแต่ละเส้นทางการบินจะมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้ น้ำมันของเครื่องบิน เช่น แรงลมส่งผลต่ออัตราการเร่งของเครื่องบิน อีกทั้งระยะทางใกล้และระยะทางไกล ยังส่งผลต่อปริมาณการใช้ น้ำมัน

#### 2.3.2 ประเภทของเครื่องบิน

ในปัจจุบันมีเครื่องบินอยู่ 2 แบบ คือ Boeing ที่ผลิตในอเมริกา และ Airbus ที่ผลิตในยุโรป โดยแต่ละชนิดจะมีเครื่องบินอยู่หลายรุ่นหลายขนาดแตกต่างกันไป ซึ่งขนาดของเครื่องบินเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ทั้งในเรื่องต้นทุนและระยะทางการบิน การบินในเส้นทางบินไกลจำเป็นต้องใช้เครื่องบินขนาดใหญ่ ที่ส่งผลถึงความปลอดภัย ซึ่งเครื่องบินแต่ละชนิดมีขนาด น้ำหนัก และเครื่องยนต์ที่ต่างกัน ทำให้อัตราการใช้น้ำมันแตกต่างกัน

#### 2.3.3 ปริมาณการเติมน้ำมัน

เนื่องจากการเติมน้ำมันของเครื่องบินโดยสาร จะใช้หน่วยตันในการเติมน้ำมัน ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก จึงส่งผลต่อน้ำหนักเครื่องบิน หากเติมน้ำมันในปริมาณที่มากเกินไปจนความจำเป็น จะส่งผลให้

น้ำหนักเครื่องบินมากเกินไปความเหมาะสม อัตราการใช้ในการเร่งเครื่องก็จะมาก ทำให้อัตราการใช้ น้ำมันมากตามไปด้วย

### 2.3.4 ราคาน้ำมัน ณ จุดเติมน้ำมัน

การจัดซื้อน้ำมันไม่ได้พิจารณาเฉพาะด้านราคาน้ำมันเท่านั้น แต่ยังต้องพิจารณาในเรื่องการจัดส่งน้ำมัน ซึ่งราคาซื้อขายน้ำมันจะกำหนดจากราคาน้ำมันของแต่ละภูมิภาค ขึ้นอยู่กับประเทศที่เติมน้ำมัน

การทำประกันความเสี่ยงราคาน้ำมัน ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินธุรกิจขนส่งทางอากาศ เนื่องจากความผันผวนของราคาน้ำมันที่ขึ้นอยู่กับอุปสงค์และอุปทานของน้ำมันในตลาดโลก การทำประกันความเสี่ยงราคาน้ำมันจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยจะทำการซื้อขายน้ำมันในราคาที่ตกลงกันไว้ในปริมาณที่ต้องการ ดังนั้นการประกันความเสี่ยงราคาน้ำมันเป็นการลดความเสี่ยงราคาน้ำมันที่มีโอกาสเพิ่มขึ้น

การเติมน้ำมัน จะเติมที่สนามบินจุดต่างๆ โดยราคาน้ำมันจะขึ้นอยู่กับราคาน้ำมันของตลาดโลกที่ใช้อ้างอิง ณ จุดเติมน้ำมันนั้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในส่วนนี้ จึงต้องพยายามเลือกเติมน้ำมันจากเมืองที่ราคาถูก และหลีกเลี่ยงหรือเติมน้ำมันเท่าที่จำเป็นในเมืองที่มีราคาน้ำมันแพง หากการปฏิบัติดังกล่าวไม่กระทบต่อความปลอดภัยในด้านการบิน จะช่วยลดค่าใช้จ่ายของน้ำมันได้

### 2.3.5 อัตราแลกเปลี่ยน

ความผันผวนของอัตราแลกเปลี่ยนระหว่างเงินบาทและเงินสกุลต่างประเทศ จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านราคาน้ำมัน เมื่อค่าเงินบาทมีการอ่อนค่า จะทำให้การสั่งซื้อน้ำมันจากต่างประเทศมีราคาที่แพงขึ้น แต่ถ้าค่าเงินบาทแข็งค่า จะทำให้การสั่งซื้อน้ำมันจากต่างประเทศถูกลง

### 2.3.6 จำนวนผู้โดยสารและสัมภาระ

จำนวนผู้โดยสารและสัมภาระส่งผลต่อน้ำหนักรวมของเครื่องบิน หากเที่ยวบินนั้นมีจำนวนผู้โดยสารและสัมภาระมากหรือน้อย จะส่งผลให้น้ำหนักเครื่องบินเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย หากเครื่องบินมีน้ำหนักมาก อัตราการใช้เครื่องก็จะมาก ทำให้อัตราการใช้ น้ำมันมากตามไปด้วย

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวางแผนการบินก่อนปฏิบัติการบิน (ประวิทย์ วงศ์วิวัฒน์, 2557) มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการดำเนินการบินขนส่งผู้โดยสารและสินค้า ซึ่งต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ความประหยัด และความสะดวกสบายของผู้ใช้บริการ โดยเริ่มตั้งแต่สนามบินต้นทาง ระหว่างทาง จนกระทั่งถึงสนามบินปลายทาง โดยพิจารณาถึงข้อกำหนดหรือกฎเกณฑ์ที่มีความถูกต้องในด้านต่างๆ ประกอบด้วย

1. การคำนวณ และพิจารณาจำนวนน้ำมันที่ต้องใช้สำหรับการเดินทางตามเส้นทางบินนั้นๆ
2. การคำนวณ และพิจารณาน้ำหนักบรรทุกทุกขณะนำเครื่องบินวิ่งขึ้น และขณะนำเครื่องบินร่อนลง
3. การควบคุมน้ำหนัก และควบคุมระวางบรรทุกของเครื่องบินขณะทำการวิ่งขึ้น ระหว่างทำการบินในระดับ และขณะทำการร่อนลงอยู่ในลักษณะสมดุลที่ปลอดภัย

กลยุทธ์ป้องกันการขาดทุนจากราคาน้ำมันของเครื่องบิน (Alex Wolf Richard Cobbs, 2004) ความผันผวนของราคาน้ำมัน ส่งผลให้สายการบินต้องรักษาสภาพคล่องทางการเงิน ในขณะที่ค่าใช้จ่ายของราคาน้ำมันนั้นสามารถป้องกันการขาดทุนได้ แต่ไม่มีการป้องกันการขาดทุนได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นสายการบินจะใช้กลยุทธ์ต่างๆ ตั้งแต่ไม่มีการป้องกันการขาดทุนราคาน้ำมัน จนถึงการใช้กลยุทธ์การป้องกันราคาน้ำมันเต็มที่ และการใช้กลยุทธ์ผสม 2 กลยุทธ์

งานวิจัยฉบับนี้ ได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะกำหนดยุทธศาสตร์ในการป้องกันความเสี่ยงจากการขาดทุนของราคาน้ำมัน โดยการทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้า และส่วนที่สองไม่ใช้การป้องกันราคาน้ำมัน จากนั้นได้ประเมินประสิทธิภาพของทั้ง 2 กลยุทธ์ พบว่าสายการบินที่ใช้กลยุทธ์ป้องกันราคาน้ำมันจะสามารถทำนายสภาพคล่องทางการเงินได้ดีกว่า ทำให้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่าย สามารถจัดหารายได้ และลงทุนได้ในระยะที่ราคาน้ำมันอยู่ในระดับที่สูง

ต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานน้ำมันในการกำหนดระดับอัตราค่าโดยสารของสายการบินในประเทศ (Paul M. Hayashi and John M. Trapani, 1983) โดยพิจารณาจากการทำกำไรในเมืองต่างๆที่เป็นจุดศูนย์กลางหลักของสายการบินในแต่ละเมือง ซึ่งวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ 2 ความสัมพันธ์ คือ

1. ความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความต้องการและจำนวนที่นั่ง จากความไม่แน่นอน และความล่าช้าในการชำระเงินค่าตั๋วโดยสาร ส่งผลถึงจำนวนที่นั่งที่มีไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้โดยสารท่านอื่น ซึ่งค่าใช้จ่ายในการชำระเงินค่าตั๋วโดยสารล่าช้า ถือเป็นความสัมพันธ์ส่วนกลับกับจำนวนที่นั่งที่มีของสายการบิน

2. ความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความต้องการและราคาน้ำมัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมัน จะส่งผลให้ความต้องการของผู้ใช้บริการลดลง เนื่องจากอัตราค่าโดยสารที่เพิ่มสูงขึ้น และยังทำให้ความสามารถในการทำกำไรของสายการบินลดลง

จากการวิเคราะห์ข้างต้น จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงราคาพลังงานน้ำมันส่งผลต่อการตัดสินใจในเรื่องอัตราค่าโดยสาร ทั้งในส่วนของความต้องการของผู้ใช้บริการที่มีราคาเพิ่มสูงขึ้น และในส่วนของสายการบินที่เกิดต้นทุนสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการทำกำไรลดลง

## บทที่ 3

### การวิจัยและดำเนินงาน

การดำเนินงานของวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาปัจจัยผันแปรที่มีผลต่อต้นทุนน้ำมันต่อหนึ่งเที่ยวบิน และนำปัจจัยที่ได้จากการศึกษามาสร้างเป็นแบบจำลองการตัดสินใจ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์วางแผน และสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำมัน เพื่อให้เกิดต้นทุนน้ำมันรวมที่ต่ำที่สุดในการจัดการเส้นทางการบิน

#### 3.1 ปัจจัยผันแปรที่นำมาศึกษาในงานวิจัย

ปัจจัยผันแปรที่จะกล่าวในหัวข้อนี้ เป็นสิ่งที่งานวิจัยฉบับนี้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมัน มีดังนี้

##### 3.1.1 เส้นทางการบิน

งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาเส้นทางการบินไกลจากกรุงเทพฯ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–FRA) ซึ่งจะมีทั้งเที่ยวบินตรง และเที่ยวบินแวะพัก โดยจะศึกษา 3 เส้นทาง คือ

1. กรุงเทพฯ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–FRA)
2. กรุงเทพฯ–ดูไบ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–DXB–FRA)
3. กรุงเทพฯ–นิวยอร์ก–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–DEL–FRA)

##### ตารางที่ 3.1 ระยะทางและเวลาของเส้นทางการบิน

เส้นทางการบิน	เมืองต้นทาง – เมือง แวะพัก		เมืองแวะพัก – เมือง ปลายทาง		เมืองต้นทาง – เมือง ปลายทาง	
	ระยะทาง (ไมล์)	เวลา (ชม.)	ระยะทาง (ไมล์)	เวลา (ชม.)	ระยะทาง (ไมล์)	เวลา (ชม.)
BKK–FRA	–	–	–	–	5,598	11.50
BKK–DXB–FRA	3,050	7.49	3,012	7.41	6,062	15.30
BKK–DEL–FRA	1,831	4.45	3,810	8.55	5,641	13.40

### 3.1.2 ประเภทของเครื่องบิน

งานวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาเครื่องบิน 3 แบบ คือ Boeing747-400, Boeing777-300ER และ A330-300 ซึ่งเป็นเครื่องบินสำหรับบินระยะไกล และเครื่องบินแต่ละประเภทมีการใช้ปริมาณน้ำมันที่ต่างกัน

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเครื่องบินแต่ละแบบ

ประเภทเครื่องบิน ข้อมูล	Boeing747-400	Boeing777-300ER	A330-300
เครื่องยนต์	4 General Electric CF6-80C2B1F	2 General Electric GE90-115B	3 Pratt & Whitney PW4168
ความยาวตัวเครื่องบิน (ม.)	70.67	73.9	63.69
ความยาวปีก (ม.)	64.94	64.8	60.3
ความสูง (ม.)	19.58	18.5	16.82
น้ำหนักสูงสุดขณะที่เครื่องบินวิ่งขึ้น (ตัน)	394.63	351.53	230
น้ำหนักสูงสุดขณะที่เครื่องบินร่อนลง (ตัน)	285.76	251.29	185
น้ำหนักรวมสูงสุดที่ไม่รวมปริมาณน้ำมัน (ตัน)	242.67	237.68	173
ความจุน้ำมันสูงสุด (แกลลอน)*	45,714.98	38,428.16	20,608.59
แรงขับ (ปอนด์)	57,800	115,000	68,000
พิสัยบินไกลที่สุด เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (ไมล์ทะเล)	5,500	5,700	4,750
ความเร็วปกติ (กม./ชม.)	594	576	577.8
ความสูงสูงสุดที่เครื่องบินสามารถทำการบินได้ (ฟุต)	45,000	43,100	41,450

หมายเหตุ : แกลลอน\* คือ หน่วยแกลลอนสหรัฐอเมริกา

### 3.1.3 ราคาน้ำมัน ณ จุดเติมน้ำมัน

เนื่องจากการวิจัยฉบับนี้ ได้ศึกษา 3 เส้นทางการบิน จึงสนใจจุดเติมน้ำมันที่ประเทศไทย กรุงเทพฯ ประเทศสหรัฐอเมริกาสำหรับเอมิเรตส์ เมืองดูไบ และประเทศอินเดีย เมืองนิวเดลี ซึ่งจุดเติมน้ำมันในแต่ละที่จะมีราคาที่แตกต่างกัน

### 3.1.4 ปริมาณการเติมน้ำมัน

การใช้น้ำมันของเครื่องบินแต่ละประเภทใน 3 เส้นทางการบิน มีปริมาณการใช้น้ำมันขั้นต่ำ ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการใช้น้ำมันขั้นต่ำ

เส้นทางการบิน	ประเภทของเครื่องบิน	ปริมาณน้ำมันขั้นต่ำ (แกลลอน)
BKK-FRA	Boeing747-400	35,854.4
	Boeing777-300ER	28,890.58
	A330-300	26,612.44
BKK-DXB	Boeing747-400	24,149.52
	Boeing777-300ER	19,203.98
	A330-300	14,229.58
DXB-FRA	Boeing777-300ER	23,990.66
	A330-300	19,078.5
	A330-300	14,095.98
BKK-DEL	Boeing747-400	15,255.85
	Boeing777-300ER	12,190.84
	A330-300	9,023.62
DEL-FRA	Boeing747-400	28,510.53
	Boeing777-300ER	22,675.78
	A330-300	18,921.97

### 3.2 แนวทางการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ

การวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันในงานวิจัยนี้จะนำไปจัดจำแนกแปรที่มีผลต่อต้นทุนน้ำมันมาสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ คือ เส้นทางการบิน ประเภทของเครื่องบิน แหล่งซื้อน้ำมัน และปริมาณการเติมน้ำมัน ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองการตัดสินใจได้ 2 แบบ คือ แบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น และแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น

❖ แบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น

การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้นมี 3 ขั้นตอน คือ

1. กำหนดตัวแปรตัดสินใจ และพารามิเตอร์
2. สร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์
3. สร้างข้อจำกัด

● ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$R_i$  แทน เส้นทางการบิน

$R_1$  แทน เส้นทางการบินกรุงเทพฯ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–FRA)

$R_2$  แทน เส้นทางการบินกรุงเทพฯ–ดูไบ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–DXB–FRA)

$R_3$  แทน เส้นทางการบินกรุงเทพฯ–นิวยอร์ก–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–DEL–FRA)

$$R_i = \begin{cases} 1; & \text{เลือกเส้นทางการบิน } i \\ 0; & \text{ไม่เลือกเส้นทางการบิน } i \end{cases}$$

เมื่อ  $i = 1, 2, 3$

$C_j$  แทน เครื่องบิน

$C_1$  แทน เครื่องบินรุ่น Boeing747–400

$C_2$  แทน เครื่องบินรุ่น Boeing777–300ER

$C_3$  แทน เครื่องบินรุ่น A330-300

$$C_j = \begin{cases} 1; & \text{เลือกเครื่องบินรุ่น } j \\ 0; & \text{ไม่เลือกเครื่องบินรุ่น } j \end{cases}$$

เมื่อ  $j = 1, 2, 3$

$P_k$  แทน จุดเติมน้ำมัน

$P_1$  แทน จุดเติมน้ำมันที่กรุงเทพฯ

$P_2$  แทน จุดเติมน้ำมันที่ดูไบ

$P_3$  แทน จุดเติมน้ำมันที่นิวยอร์ก

$$P_k = \begin{cases} 1; & \text{เลือกจุดเติมน้ำมันที่ } k \\ 0; & \text{ไม่เลือกจุดเติมน้ำมันที่ } k \end{cases}$$

เมื่อ  $k = 1, 2, 3$

$F_{ijk}$  แทน ปริมาณน้ำมัน (แกลลอน)

$F_{111}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_1$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{121}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_1$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{131}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_1$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

- $F_{211}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$   
 $F_{212}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_2$   
 $F_{221}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$   
 $F_{222}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_2$   
 $F_{231}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$   
 $F_{232}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_2$   
 $F_{311}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$   
 $F_{313}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_3$   
 $F_{321}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$   
 $F_{323}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_3$   
 $F_{331}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$   
 $F_{333}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_3$   
 $F_{ijk} \geq 0$   
 เมื่อ  $i, j, k = 1, 2, 3$

- พารามิเตอร์

ราคาน้ำมัน (ดอลลาร์/แกลลอน)

$\alpha$  แทน ราคาน้ำมันที่กรุงเทพฯ

$\beta$  แทน ราคาน้ำมันที่ดูไบ

$\gamma$  แทน ราคาน้ำมันที่นิวยอร์ก

$\alpha, \beta, \gamma > 0$

- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ต้องการต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด

$$\begin{aligned} \text{Min } & \alpha F_{111} + \alpha F_{121} + \alpha F_{131} + \alpha F_{211} + \beta F_{212} + \alpha F_{221} + \beta F_{222} + \\ & \alpha F_{231} + \beta F_{232} + \alpha F_{311} + \gamma F_{313} + \alpha F_{321} + \gamma F_{323} + \alpha F_{331} + \\ & \gamma F_{333} \end{aligned} \quad (1.1)$$

- ข้อจำกัด แบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

1. เส้นทางการบิน

$$R_1 + R_2 + R_3 = 1 \quad (1.2)$$

2. เครื่องบิน

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \quad (1.3)$$

## 3. จุดเติมน้ำมัน

$$P_1 = 1 \quad (1.4)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 \leq 2 \quad (1.5)$$

$$R_1 + P_2 + P_3 \leq 1 \quad (1.6)$$

$$P_2 \leq R_2 \quad (1.7)$$

$$P_3 \leq R_3 \quad (1.8)$$

## 4. การเลือกเส้นทางการบิน เครื่องบิน และปริมาณน้ำมันขั้นต่ำและสูงสุด

$$35,854.4R_1C_1P_1 \leq F_{111} \leq 45,714.98R_1C_1P_1 \quad (1.9)$$

$$28,890.58R_1C_2P_1 \leq F_{121} \leq 38,428.16R_1C_2P_1 \quad (1.10)$$

$$26,612.44R_1C_3P_1 \leq F_{131} \leq 20,608.59R_1C_3P_1 \quad (1.11)$$

$$24,149.52R_2C_1P_1 \leq F_{211} \leq 45,714.98R_2C_1P_1 \quad (1.12)$$

$$R_2C_1P_2 \leq F_{212} \leq 45,714.98R_2C_1P_2 \quad (1.13)$$

$$19,203.98R_2C_2P_1 \leq F_{221} \leq 38,428.16R_2C_2P_1 \quad (1.14)$$

$$R_2C_2P_2 \leq F_{222} \leq 38,428.16 R_2C_2P_2 \quad (1.15)$$

$$14,229.58R_2C_3P_1 \leq F_{231} \leq 20,608.59R_2C_3P_1 \quad (1.16)$$

$$R_2C_3P_2 \leq F_{232} \leq 20,608.59R_2C_3P_2 \quad (1.17)$$

$$15,255.85R_3C_1P_1 \leq F_{311} \leq 45,714.98R_3C_1P_1 \quad (1.18)$$

$$R_3C_1P_3 \leq F_{313} \leq 45,714.98R_3C_1P_3 \quad (1.19)$$

$$12,190.84R_3C_2P_1 \leq F_{321} \leq 38,428.16R_3C_2P_1 \quad (1.20)$$

$$R_3C_2P_3 \leq F_{323} \leq 38,428.16R_3C_2P_3 \quad (1.21)$$

$$9,023.62R_3C_3P_1 \leq F_{331} \leq 20,608.59R_3C_3P_1 \quad (1.22)$$

$$R_3C_3P_3 \leq F_{333} \leq 20,608.59R_3C_3P_3 \quad (1.23)$$

## 5. ด้านปริมาณน้ำมันขั้นต่ำสำหรับเส้นทางการบินแวะพัก

$$48,140.18R_2C_1 \leq F_{211} + F_{212} \quad (1.24)$$

$$38,282.48R_2C_2 \leq F_{221} + F_{222} \quad (1.25)$$

$$28,325.56R_2C_3 \leq F_{231} + F_{232} \quad (1.26)$$

$$43,766.38R_3C_1 \leq F_{311} + F_{313} \quad (1.27)$$

$$34,866.62R_3C_2 \leq F_{321} + F_{323} \quad (1.28)$$

$$27,945.59R_3C_3 \leq F_{331} + F_{333} \quad (1.29)$$

6. ด้านความจุถังน้ำมัน เมื่อเลือกเส้นทางการบินแวะพัก

$$F_{211} - 24,149.52 + F_{212} \leq 45,714.98 \quad (1.30)$$

$$F_{221} - 19,203.98 + F_{222} \leq 38,428.16 \quad (1.31)$$

$$F_{231} - 14,229.58 + F_{232} \leq 20,608.59 \quad (1.32)$$

$$F_{311} - 15,255.85 + F_{313} \leq 45,714.98 \quad (1.33)$$

$$F_{321} - 12,190.84 + F_{323} \leq 38,428.16 \quad (1.34)$$

$$F_{331} - 9,023.62 + F_{333} \leq 20,608.59 \quad (1.35)$$

7. ด้านตัวแปรตัดสินใจ

$$F_{ijk} \geq 0 \quad (1.36)$$

$$R_i, C_j, P_k = 0 \text{ หรือ } 1 \quad (1.37)$$

จากแบบจำลองการตัดสินใจที่สร้างขึ้นนั้น ยังมีข้อจำกัดบางกลุ่มที่เป็นรูปแบบไม่เชิงเส้น และสามารถปรับข้อจำกัดดังกล่าว ให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น โดยมีการกำหนดตัวแปรช่วยเพิ่มขึ้นมา ซึ่งแสดงได้ ดังนี้

#### ❖ แบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น

การสร้างแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้นมี 3 ขั้นตอน คือ

1. กำหนดตัวแปรตัดสินใจ ตัวแปรช่วย และพารามิเตอร์
2. สร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์
3. สร้างข้อจำกัด

#### ● ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$R_i$  แทน เส้นทางการบิน

$R_1$  แทน เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA)

$R_2$  แทน เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-ดูไบ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-DXB-FRA)

$R_3$  แทน เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-นิวยอร์ก-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-DEL-FRA)

$$R_i = \begin{cases} 1; & \text{เลือกเส้นทางการบิน } i \\ 0; & \text{ไม่เลือกเส้นทางการบิน } i \end{cases}$$

เมื่อ  $i = 1, 2, 3$

$C_j$  แทน เครื่องบิน

$C_1$  แทน เครื่องบินรุ่น Boeing747-400

$C_2$  แทน เครื่องบินรุ่น Boeing777–300ER

$C_3$  แทน เครื่องบินรุ่น A330-300

$$C_j = \begin{cases} 1; & \text{เลือกเครื่องบินรุ่น } j \\ 0; & \text{ไม่เลือกเครื่องบินรุ่น } j \end{cases}$$

เมื่อ  $j = 1, 2, 3$

$P_k$  แทน จุดเติมน้ำมัน

$P_1$  แทน จุดเติมน้ำมันที่กรุงเทพฯ

$P_2$  แทน จุดเติมน้ำมันที่ดูไบ

$P_3$  แทน จุดเติมน้ำมันที่นิวยอร์ก

$$P_k = \begin{cases} 1; & \text{เลือกจุดเติมน้ำมันที่ } k \\ 0; & \text{ไม่เลือกจุดเติมน้ำมันที่ } k \end{cases}$$

เมื่อ  $k = 1, 2, 3$

$F_{ijk}$  แทน ปริมาณน้ำมัน (แกลลอน)

$F_{111}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_1$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{121}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_1$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{131}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_1$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{211}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{212}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_2$

$F_{221}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{222}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_2$

$F_{231}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{232}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_2$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_2$

$F_{311}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{313}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_1$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_3$

$F_{321}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{323}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_2$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_3$

$F_{331}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$F_{333}$  แทน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในเส้นทางการบิน  $R_3$  ของเครื่องบินรุ่น  $C_3$  ที่จุดเติมน้ำมัน  $P_3$

$$F_{ijk} \geq 0$$

เมื่อ  $i, j, k = 1, 2, 3$

- ตัวแปรช่วย (Auxiliary Variables)

เพื่อใช้สำหรับการเลือกเติมน้ำมัน

$H_{111}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_1$  เครื่องบินรุ่น  $C_1$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{121}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_1$  เครื่องบินรุ่น  $C_2$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{131}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_1$  เครื่องบินรุ่น  $C_3$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{211}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  เครื่องบินรุ่น  $C_1$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{212}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  เครื่องบินรุ่น  $C_1$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_2$

$H_{221}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  เครื่องบินรุ่น  $C_2$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{222}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  เครื่องบินรุ่น  $C_2$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_2$

$H_{231}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  เครื่องบินรุ่น  $C_3$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{232}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  เครื่องบินรุ่น  $C_3$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_2$

$H_{311}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  เครื่องบินรุ่น  $C_1$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{313}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  เครื่องบินรุ่น  $C_1$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_3$

$H_{321}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  เครื่องบินรุ่น  $C_2$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{323}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  เครื่องบินรุ่น  $C_2$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_3$

$H_{331}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  เครื่องบินรุ่น  $C_3$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_1$

$H_{333}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  เครื่องบินรุ่น  $C_3$  และจุดเติมน้ำมัน  $P_3$

$$H_{ijk} = \begin{cases} 1; \text{เลือกเส้นทางการบิน } i \text{ เครื่องบินรุ่น } j \text{ และจุดเติมน้ำมัน } k \\ 0; \text{ไม่เลือกเส้นทางการบิน } i \text{ เครื่องบินรุ่น } j \text{ และจุดเติมน้ำมัน } k \end{cases}$$

เมื่อ  $i, j, k = 1, 2, 3$

เพื่อใช้สำหรับเส้นทางการบินแวะพัก

$G_{21}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  และเครื่องบินรุ่น  $C_1$

$G_{22}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  และเครื่องบินรุ่น  $C_2$

$G_{23}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  และเครื่องบินรุ่น  $C_3$

$G_{31}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  และเครื่องบินรุ่น  $C_1$

$G_{32}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  และเครื่องบินรุ่น  $C_2$

$G_{33}$  แทน การเลือกเส้นทางการบิน  $R_3$  และเครื่องบินรุ่น  $C$

$$G_{ij} = \begin{cases} 1; \text{เลือกเส้นทางการบิน } i \text{ และเครื่องบินรุ่น } j \\ 0; \text{ไม่เลือกเส้นทางการบิน } i \text{ และเครื่องบินรุ่น } j \end{cases}$$

เมื่อ  $i = 2, 3$  และ  $j = 1, 2, 3$

- พารามิเตอร์  
 ราคาน้ำมัน (ดอลลาร์/แกลลอน)  
 $\alpha$  แทน ราคาน้ำมันที่กรุงเทพฯ  
 $\beta$  แทน ราคาน้ำมันที่ดูไบ  
 $\gamma$  แทน ราคาน้ำมันที่นิวเดลี  
 $\alpha, \beta, \gamma > 0$

- ฟังก์ชันวัตถุประสงค์  
 ต้องการต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด

$$\begin{aligned} \text{Min } & \alpha F_{111} + \alpha F_{121} + \alpha F_{131} + \alpha F_{211} + \beta F_{212} + \alpha F_{221} + \beta F_{222} + \\ & \alpha F_{231} + \beta F_{232} + \alpha F_{311} + \gamma F_{313} + \alpha F_{321} + \gamma F_{323} + \alpha F_{331} + \\ & \gamma F_{333} \end{aligned} \quad (2.1)$$

- ข้อจำกัด แบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

1. เส้นทางการบิน

$$R_1 + R_2 + R_3 = 1 \quad (2.2)$$

2. เครื่องบิน

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \quad (2.3)$$

3. จุดเติมน้ำมัน

$$P_1 = 1 \quad (2.4)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 \leq 2 \quad (2.5)$$

$$R_1 + P_2 + P_3 \leq 1 \quad (2.6)$$

$$P_2 \leq R_2 \quad (2.7)$$

$$P_3 \leq R_3 \quad (2.8)$$

4. การเลือกเส้นทางการบิน เครื่องบิน และปริมาณน้ำมันขั้นต่ำและสูงสุด

$$R_1 + C_1 + P_1 - 2 \leq 3H_{111} \leq R_1 + C_1 + P_1 \quad (2.9)$$

$$35,854.4H_{111} \leq F_{111} \leq 45,714.98H_{111} \quad (2.10)$$

$$R_1 + C_2 + P_1 - 2 \leq 3H_{121} \leq R_1 + C_2 + P_1 \quad (2.11)$$

$$28,890.58H_{121} \leq F_{121} \leq 38,428.16H_{121} \quad (2.12)$$

$$R_1 + C_3 + P_1 - 2 \leq 3H_{131} \leq R_1 + C_3 + P_1 \quad (2.13)$$

$$26,612.44H_{131} \leq F_{131} \leq 20,608.59H_{131} \quad (2.14)$$

$$R_2 + C_1 + P_1 - 2 \leq 3H_{211} \leq R_2 + C_1 + P_1 \quad (2.15)$$

$$24,149.52H_{211} \leq F_{211} \leq 45,714.98H_{211} \quad (2.16)$$

$$R_2 + C_1 + P_2 - 2 \leq 3H_{212} \leq R_2 + C_1 + P_2 \quad (2.17)$$

$$H_{212} \leq F_{212} \leq 45,714.98H_{212} \quad (2.18)$$

$$R_2 + C_2 + P_1 - 2 \leq 3H_{221} \leq R_2 + C_2 + P_1 \quad (2.19)$$

$$19,203.98H_{221} \leq F_{221} \leq 38,428.16H_{221} \quad (2.20)$$

$$R_2 + C_2 + P_2 - 2 \leq 3H_{222} \leq R_2 + C_2 + P_2 \quad (2.21)$$

$$H_{222} \leq F_{222} \leq 38,428.16H_{222} \quad (2.22)$$

$$R_2 + C_3 + P_1 - 2 \leq 3H_{231} \leq R_2 + C_3 + P_1 \quad (2.23)$$

$$14,229.58H_{231} \leq F_{231} \leq 20,608.59H_{231} \quad (2.24)$$

$$R_2 + C_3 + P_2 - 2 \leq 3H_{232} \leq R_2 + C_3 + P_2 \quad (2.25)$$

$$H_{232} \leq F_{232} \leq 20,608.59H_{232} \quad (2.26)$$

$$R_3 + C_1 + P_1 - 2 \leq 3H_{311} \leq R_3 + C_1 + P_1 \quad (2.27)$$

$$15,255.85H_{311} \leq F_{311} \leq 45,714.98H_{311} \quad (2.28)$$

$$R_3 + C_1 + P_3 - 2 \leq 3H_{313} \leq R_3 + C_1 + P_3 \quad (2.29)$$

$$H_{313} \leq F_{313} \leq 45,714.98H_{313} \quad (2.30)$$

$$R_3 + C_2 + P_1 - 2 \leq 3H_{321} \leq R_3 + C_2 + P_1 \quad (2.31)$$

$$12,190.84H_{321} \leq F_{321} \leq 38,428.16H_{321} \quad (2.32)$$

$$R_3 + C_2 + P_3 - 2 \leq 3H_{323} \leq R_3 + C_2 + P_3 \quad (2.33)$$

$$H_{323} \leq F_{323} \leq 38,428.16H_{323} \quad (2.34)$$

$$R_3 + C_3 + P_1 - 2 \leq 3H_{331} \leq R_3 + C_3 + P_1 \quad (2.35)$$

$$9,023.62H_{331} \leq F_{331} \leq 20,608.59H_{331} \quad (2.36)$$

$$R_3 + C_3 + P_3 - 2 \leq 3H_{333} \leq R_3 + C_3 + P_3 \quad (2.37)$$

$$H_{333} \leq F_{333} \leq 20,608.59H_{333} \quad (2.38)$$

5. ด้านปริมาณน้ำมันชั้นต่ำสำหรับเส้นทางการบินแวะพัก

$$R_2 + C_1 - 1 \leq 2G_{21} \leq R_2 + C_1 \quad (2.39)$$

$$48,140.18G_{21} \leq F_{211} + F_{212} \quad (2.40)$$

$$R_2 + C_2 - 1 \leq 2G_{22} \leq R_2 + C_2 \quad (2.41)$$

$$38,282.48G_{22} \leq F_{221} + F_{222} \quad (2.42)$$

$$R_2 + C_3 - 1 \leq 2G_{23} \leq R_2 + C_3 \quad (2.43)$$

$$28,325.56G_{23} \leq F_{231} + F_{232} \quad (2.44)$$

$$R_3 + C_1 - 1 \leq 2G_{31} \leq R_3 + C_1 \quad (2.45)$$

$$43,766.38G_{31} \leq F_{311} + F_{313} \quad (2.46)$$

$$R_3 + C_2 - 1 \leq 2G_{32} \leq R_3 + C_2 \quad (2.47)$$

$$34,866.62G_{32} \leq F_{321} + F_{323} \quad (2.48)$$

$$R_3 + C_3 - 1 \leq 2G_{33} \leq R_3 + C_3 \quad (2.49)$$

$$27,945.59G_{33} \leq F_{331} + F_{333} \quad (2.50)$$

6. ด้านความจุถังน้ำมัน เมื่อเลือกเส้นทางการบินแวะพัก

$$F_{211} - 24,149.52 + F_{212} \leq 45,714.98 \quad (2.51)$$

$$F_{221} - 19,203.98 + F_{222} \leq 38,428.16 \quad (2.52)$$

$$F_{231} - 14,229.58 + F_{232} \leq 20,608.59 \quad (2.53)$$

$$F_{311} - 15,255.85 + F_{313} \leq 45,714.98 \quad (2.54)$$

$$F_{321} - 12,190.84 + F_{323} \leq 38,428.16 \quad (2.55)$$

$$F_{331} - 9,023.62 + F_{333} \leq 20,608.59 \quad (2.56)$$

7. ด้านตัวแปรตัดสินใจ และตัวแปรช่วย

$$F_{ijk} \geq 0 \quad (2.57)$$

$$R_i, C_j, P_k, H_{ijk}, G_{ij} = 0 \text{ หรือ } 1 \quad (2.58)$$

แบบจำลองการตัดสินใจที่ได้กล่าวข้างต้น เป็นการสร้างแบบจำลองที่เกิดจากข้อจำกัดต่างๆ ที่มีอยู่ ดังนี้

1. เส้นทางการบินมีให้เลือกอยู่ 3 เส้นทาง แต่จะสามารถเลือกบินได้เพียงหนึ่งเส้นทางการบินเท่านั้น ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.2) และ (2.2)
2. มีประเภทของเครื่องบินให้เลือกใช้งานอยู่ 3 แบบ ซึ่งจะสามารถเลือกใช้งานได้เพียงหนึ่งรุ่นเท่านั้น ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.3) และ (2.3)
3. เนื่องจาก BKK เป็นเมืองต้นทาง จึงต้องเลือกเติมน้ำมันที่  $P_1$  เสมอ ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.4) และ (2.4) สำหรับเส้นทางการบินที่มีเมืองแวะพัก จะสามารถเลือกเติมน้ำมันหรือไม่เติมน้ำมันที่

เมืองแฉะพักก็ได้ ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.5) และ (2.5) เส้นทางการบิน  $R_1$  เป็นเส้นทางการบินตรง จึงเติมน้ำมันได้ที่เมืองต้นทางเพียงจุดเดียวเท่านั้น ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.6) และ (2.6) เส้นทางการบิน  $R_2$  และ  $R_3$  เป็นเส้นทางการบินที่มีเมืองแฉะพัก จึงสามารถเลือกหรือไม่เติมน้ำมันที่เมืองแฉะพักก็ได้ ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.7) – (1.8) และ (2.7) – (2.8)

4. ในการเลือกเส้นทางการบิน ประเภทของเครื่องบิน และจุดเติมน้ำมันได้แล้ว จากนั้นจะเป็นการเติมน้ำมันในปริมาณที่เหมาะสมกับเส้นทางการบิน และประเภทของเครื่องบิน ซึ่งจะต้องไม่เกินความจุถังน้ำมันของเครื่องบินแต่ละรุ่น ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.9) – (1.23) และ (2.9) – (2.38)
5. ในการเลือกเส้นทางการบิน  $R_2$  และ  $R_3$  จะต้องเติมน้ำมันที่เมืองต้นทางรวมกับเมืองแฉะพักในปริมาณน้ำมันที่เหมาะสมกับระยะทางการบินของเครื่องบินแต่ละแบบ ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.24) – (1.29) และ (2.39) – (2.50)
6. เส้นทางการบิน  $R_2$  หรือ  $R_3$  เป็นเส้นทางการบินที่มีเมืองแฉะพัก ปริมาณการเติมน้ำมันที่เมืองต้นทาง เมื่อถูกใช้ไปในระยะทางการบิน รวมกับปริมาณการเติมน้ำมันที่เมืองแฉะพักต้องไม่เกินความจุถังน้ำมันของเครื่องบินแต่ละรุ่น ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.30) – (1.35) และ (2.51) – (2.56)
7. ตัวแปรตัดสินใจ  $F_{ijk}$  แทนปริมาณน้ำมัน ซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์ และตัวแปรอื่นๆ แทนการตัดสินใจ เลือก หรือไม่เลือก จึงมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ได้แก่ข้อจำกัดที่ (1.36) – (1.37) และ (2.57) – (2.58)

จากการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจจากกรณีศึกษา : เส้นทางการบินกรุงเทพฯ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–FRA) ซึ่งมีทั้งเส้นทางการบินตรง และเส้นทางการบินแฉะพัก ทำให้ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าแบบจำลองการตัดสินใจที่สร้างขึ้นนั้น สามารถนำไปใช้กับเส้นทางการบินอื่นๆ ได้ แต่จะมีข้อจำกัดการใช้กับเส้นทางการบินอื่นๆ คือ ต้องเป็นเครื่องบิน 3 แบบ ได้แก่ Boeing747–400, Boeing777–300ER และ A330–300 ต้องมี 3 เส้นทางการบิน ประกอบด้วย 1 เส้นทางการบินตรง และ 2 เส้นทางการบินแฉะพัก ซึ่งจะทำให้ระยะทางมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเส้นทางบินนั้นๆ จึงส่งผลต่อปริมาณการใช้้ำมันของเครื่องบินในแต่ละเส้นทางการบิน

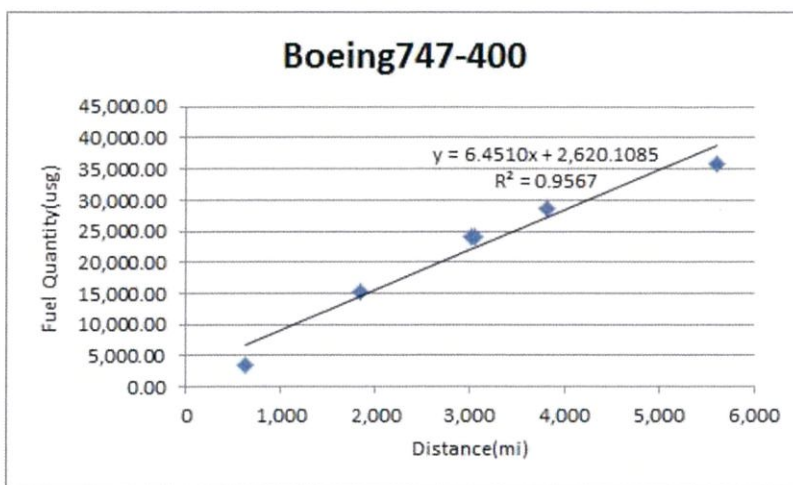
### 3.3 การประมาณปริมาณการใช้น้ำมัน

ในการนำแบบจำลองการตัดสินใจจากกรณีศึกษา : เส้นทางการบินกรุงเทพฯ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–FRA) ไปประยุกต์ใช้กับเส้นทางการบินอื่นๆ ซึ่งแต่ละเส้นทางการบินจะมีระยะทางที่ต่างกัน จึงส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำมันที่ต่างกัน จากข้อมูลปริมาณการใช้้ำมันของเครื่องบินแต่ละแบบในแต่ละเส้นทางการบิน แสดงดังนี้

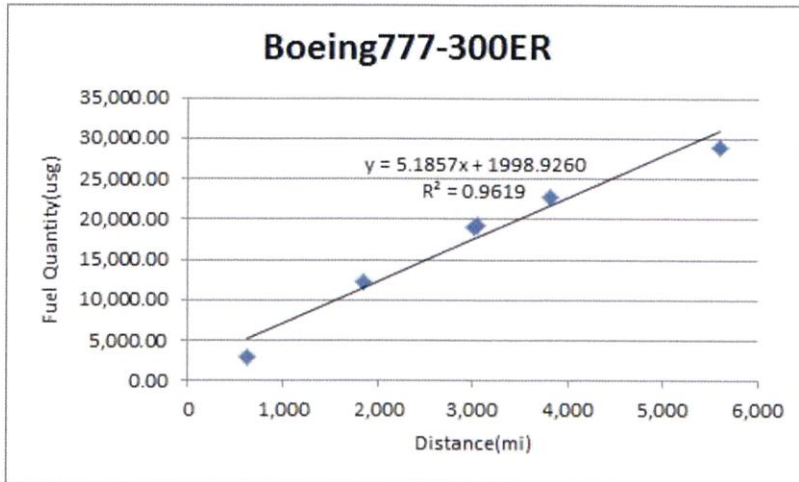
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินแต่ละแบบในระยะทางการบินต่างๆ

ประเภทของเครื่องบิน	ระยะทางการบิน (ไมล์)	ปริมาณการใช้น้ำมัน (แกลลอน)
Boeing747-400	621	3,573.69
	1,831	15,255.85
	3,012	23,990.66
	3,050	24,149.52
	3,810	28,510.53
	5,598	35,854.4
Boeing777-300ER	621	2,891.75
	1,831	12,190.84
	3,012	19,078.5
	3,050	19,203.98
	3,810	22,675.78
	5,598	28,890.58
A330-300	621	2,805.92
	1,831	9,023.62
	3,012	14,095.98
	3,050	14,229.58
	3,810	18,921.97
	5,598	26,612.44

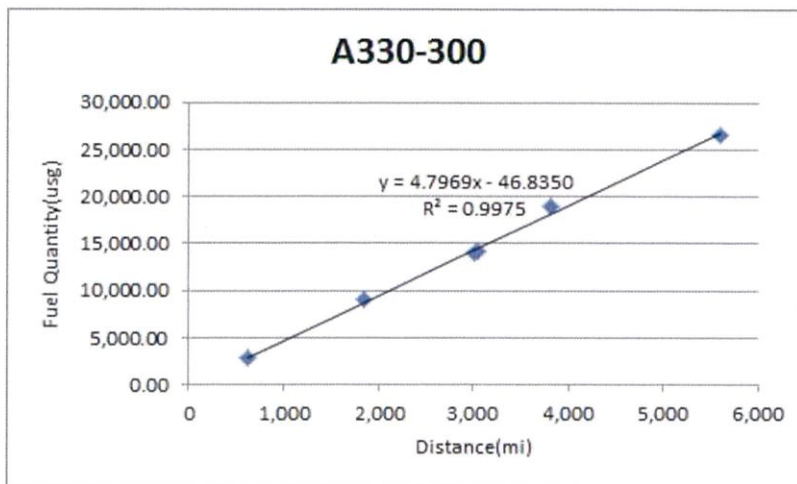
สามารถประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำมันจาก Microsoft Excel สำหรับระยะทางของเส้นทางการบินอื่นๆ ได้ดังรูปที่ 3.1 – 3.3



รูปที่ 3.1 ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินรุ่น Boeing747-400



รูปที่ 3.2 ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินรุ่น Boeing777-300ER



รูปที่ 3.3 ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินรุ่น A330-300

จากรูปที่ 3.1 – 3.3 สามารถแสดงการประมาณค่าการใช้ปริมาณน้ำมันของเครื่องบินแต่ละแบบต่อระยะทาง ได้ดังนี้

Boeing747-400 :  $y_1 = 6.45x + 2,620.11$

Boeing777-300ER :  $y_2 = 5.19x + 1,998.93$

A330-300 :  $y_3 = 4.8x - 46.83$

โดยที่  $x$  แทน ระยะทาง (ไมล์)

$y_i$  แทน ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องบินแต่ละแบบ (แกลลอน) เมื่อ  $i = 1, 2, 3$

สำหรับแบบจำลองการตัดสินใจที่ใช้กับเส้นทางการบินอื่นๆ จะนำเสนอในรูปแบบของโปรแกรมในบทถัดไป

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะทำการคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น และแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น อีกทั้งจะนำเสนอโปรแกรม The Flight Routing Problem ที่ใช้วิเคราะห์แบบจำลองการตัดสินใจสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA) และเส้นทางการบินอื่นๆ เพื่อให้ได้ต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด

#### 4.1 ผลการวิจัยของแบบจำลองการตัดสินใจ

จากการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ สามารถสร้างแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น และแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลองการตัดสินใจทั้ง 2 แบบ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver ในการคำนวณหาผลลัพธ์

##### ❖ แบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น

ในการคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้นในโปรแกรม Microsoft Excel Solver ในส่วนของ Select a Solving Method จะต้องเลือก GRG Nonlinear หรือ Evolutionary

จากแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้นที่ได้สร้างขึ้น สมมติให้ราคาน้ำมันที่กรุงเทพฯ 1.2 ดอลลาร์ ดูไบ 1.1 ดอลลาร์ และ นิวเดลี 1.3 ดอลลาร์ จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver และในส่วนของ Select a Solving Method ได้เลือก GRG Nonlinear และ Evolutionary ซึ่งได้ผลลัพธ์ คือ เลือกเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-นิวเดลี-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-DEL-FRA) โดยใช้เครื่องบินรุ่น A330-300 เติมน้ำมันที่เมืองต้นทาง (BKK) ในปริมาณ 20,608.59 แกลลอน และเติมที่เมืองแวะพัก (DEL) ในปริมาณ 7,337 แกลลอน ทำให้เกิดต้นทุนน้ำมัน คือ 34,368.41 ดอลลาร์

##### ❖ แบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น

ในการคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้นในโปรแกรม Microsoft Excel Solver ในส่วนของ Select a Solving Method จะต้องเลือก Simplex LP

จากแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้นที่ได้สร้างขึ้น สมมติให้ราคาน้ำมันที่กรุงเทพฯ 1.2 ดอลลาร์ ดูไบ 1.1 ดอลลาร์ และ นิวเดลี 1.3 ดอลลาร์ จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver ซึ่งได้ผลลัพธ์ คือ เลือกเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-ดูไบ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-DXB-FRA) โดยใช้เครื่องบินรุ่น A330-300 เติมน้ำมันที่เมืองต้นทาง (BKK) ในปริมาณ 14,229.58 แกลลอน และเติมที่เมืองแวะพัก (DXB) ในปริมาณ 14,095.98 แกลลอน ทำให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด คือ 32,581.07 ดอลลาร์

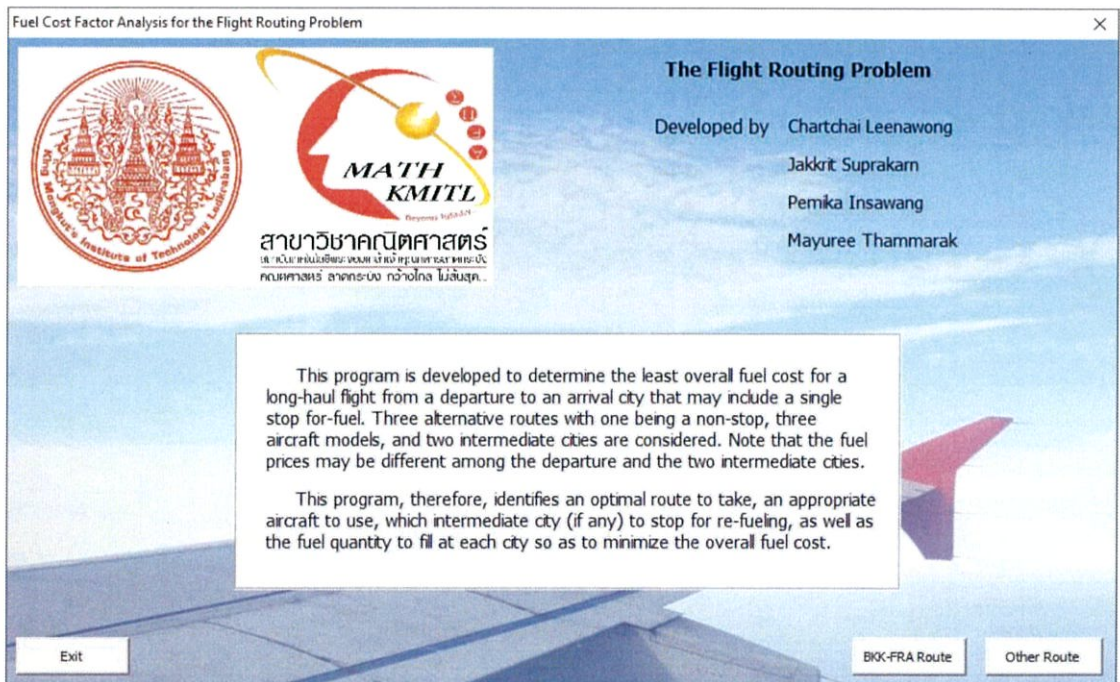
จากการคำนวณหาผลลัพธ์ของแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น และแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver จะเห็นได้ว่าเมื่อสมมติให้ราคาน้ำมันที่กรุงเทพฯ 1.2 ดอลลาร์ คูโบ 1.1 ดอลลาร์ และ นิวเดลี 1.3 ดอลลาร์ แต่ผลลัพธ์ที่ได้แบบจำลองการตัดสินใจทั้ง 2 แบบ ทำให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่างกัน ซึ่งแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น จะทำให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่ำกว่า

เนื่องจากแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น (ดุสิต กอปรรักษาติ, 2556) ในการคำนวณของโปรแกรม Microsoft Excel Solver อาจให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายในขอบเขตหนึ่ง ขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นที่ใช้ และยากที่ทราบได้ว่าควรใช้ค่าเริ่มต้นที่จุดใด

จากการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจทั้ง 2 แบบ จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น ทำให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด ผู้วิจัยจึงได้เลือกแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้นมาใช้ในการคำนวณสำหรับการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งจะนำเสนอให้หัวข้อถัดไป

## 4.2 โปรแกรมวิเคราะห์แบบจำลองการตัดสินใจ

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะพบกับหน้าจอหลักของโปรแกรม



รูปที่ 4.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม

ในหน้าจอหลักของโปรแกรม ประกอบด้วย

- วัตถุประสงค์ของโปรแกรม The Flight Routing Problem
- ผู้พัฒนาโปรแกรม
- ปุ่ม BKK–FRA Route เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ–แฟรงก์เฟิร์ต (BKK–FRA)

- ปุ่ม Other Route เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันสำหรับเส้นทางการบินอื่นๆ
- ปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

#### 4.2.1 วิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA) เมื่อคลิกปุ่ม BKK-FRA Route จะแสดงหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA)

รูปที่ 4.2 หน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA)

ในหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA) ประกอบด้วย

- Result Summary จะแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ
- Route เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกเส้นทางการบินได้
- Aircraft เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกแบบของเครื่องบินได้
- ช่องกรอกข้อมูลราคาน้ำมันที่กรุงเทพฯ (BKK)
- ช่องกรอกข้อมูลราคาน้ำมันที่เมืองดูไบ (DXB)
- ช่องกรอกข้อมูลราคาน้ำมันที่เมืองนิวยอร์ก (DEL)
- ปุ่ม aeroportos.weebly.com เพื่อเข้าสู่เว็บไซต์สำหรับตรวจสอบราคาน้ำมัน
- ปุ่ม Clear เพื่อเริ่มต้นการใช้งานในหน้าใหม่
- ปุ่ม Home เพื่อกลับไปยังหน้าจอหลัก
- ปุ่ม Solve เพื่อคำนวณหาต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด

เมื่อกรอกข้อมูลราคาน้ำมันครบทั้ง 3 จุด ซึ่งเป็นราคาน้ำมัน ณ วันที่ 19 เมษายน 2559 จากนั้นให้คลิกปุ่ม Solve

รูปที่ 4.3 หน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA)

เมื่อกรอกข้อมูลราคาน้ำมันครบ

เมื่อคลิกปุ่ม Solve แล้ว หน้าจอจะแสดงกล่องข้อความ Solver Results ให้คลิกปุ่ม OK

รูปที่ 4.4 กล่องข้อความ Solver Results

เมื่อคลิกปุ่ม **OK** จะแสดงผลลัพธ์ในส่วนของ Result Summary

The Flight Routing Problem (BKK-FRA)

Choose your preferred route and/or aircraft (Optional).

Route  Aircraft

Input the fuel price (usd/usg) at each city (Required).

BKK

DXB

DEL

[aeroporos.weebly.com](http://aeroporos.weebly.com)

Clear

Home

Solve

**Result Summary**

The optimal solutions are the following.

Optimal Route: BKK-DXB-FRA

Appropriate Aircraft: A330-300

Fuel City: BKK for 14,229.58 usg and DXB for 14,095.98 usg

The least overall fuel cost is \$31,872.27

รูปที่ 4.5 การแสดงผลลัพธ์ของหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK– FRA)

สรุปได้ว่า จากราคาน้ำมัน ณ วันที่ 19 เมษายน 2559 จะเลือกเส้นทางการบินที่ดีที่สุด คือ เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-ดูไบ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-DXB-FRA) แบบเครื่องบินที่เหมาะสมที่สุด คือ เครื่องบินรุ่น A330-300 ซึ่งจะเลือกน้ำมันที่เมืองต้นทาง (BKK) ในปริมาณ 14,229.58 แกลลอน และเลือกเติมน้ำมันที่เมืองแวะพัก (DXB) ในปริมาณ 14,095.98 แกลลอน ทำให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด คือ 31,872.27 ดอลลาร์

นอกจากนั้น ผู้ใช้ยังสามารถเลือกเส้นทางการบิน หรือประเภทของเครื่องบิน ได้ตามที่ต้องการ ดังนี้

The Flight Routing Problem (BKK-FRA) ×

Choose your preferred route and/or aircraft (Optional).

Route  Aircraft


BKK-FRA  
 BKK-DXB-FRA  
 BKK-DEL-FRA

Input the fuel price (usd/usg) at each city (Required).

BKK

DXB

DEL



[aeroporotos.weebly.com](http://aeroporotos.weebly.com)

Result Summary

รูปที่ 4.6 การเลือกเส้นทางการบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA)

The Flight Routing Problem (BKK-FRA) ×

Choose your preferred route and/or aircraft (Optional).

Route  Aircraft


Boeing747-400  
 Boeing777-300ER  
 A330-300

Input the fuel price (usd/usg) at each city (Required).

BKK

DXB

DEL

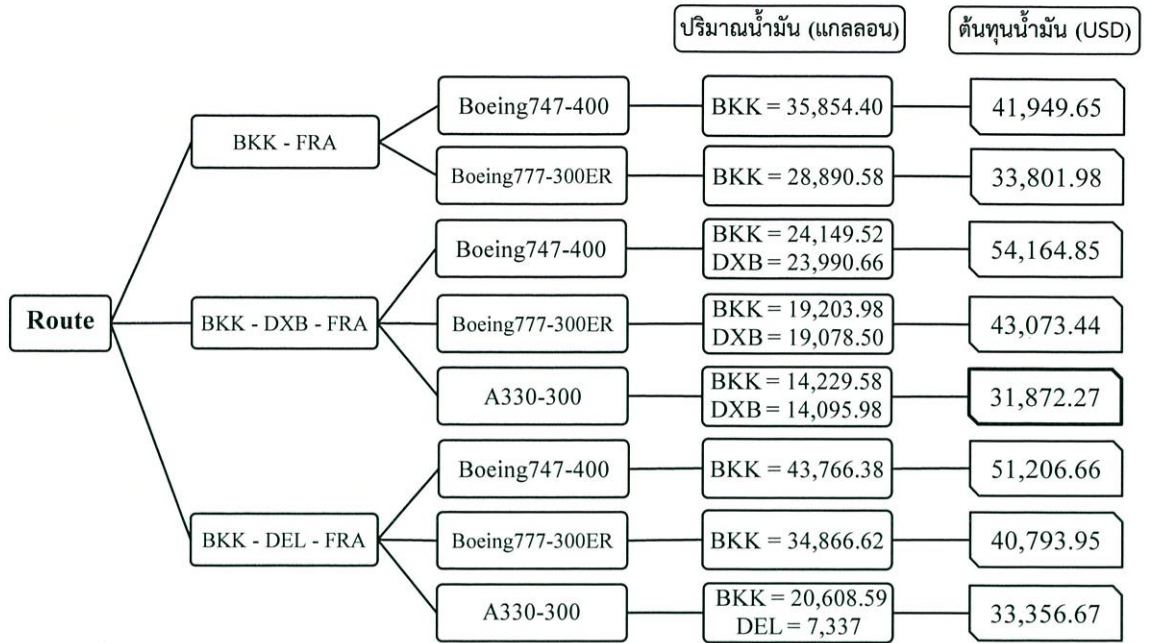


[aeroporotos.weebly.com](http://aeroporotos.weebly.com)

Result Summary

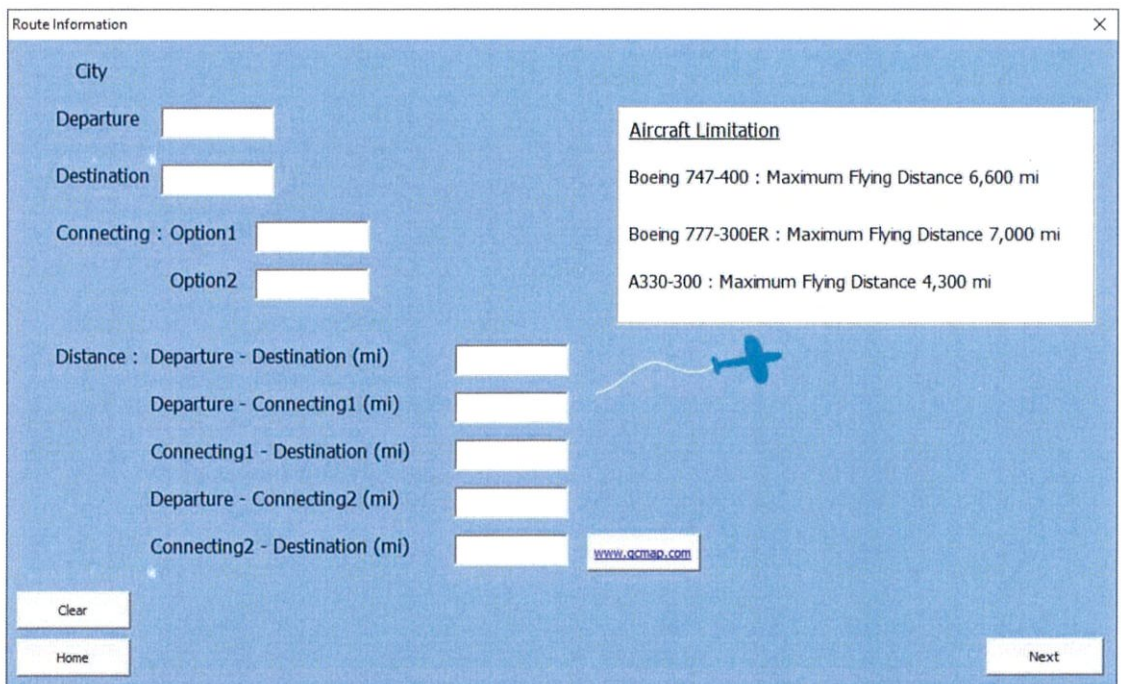
รูปที่ 4.7 การเลือกประเภทของเครื่องบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem (BKK-FRA)

กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด แสดงดังนี้



รูปที่ 4.8 กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA)

4.2.2 วิเคราะห์ต้นทุนน้ำมันสำหรับเส้นทางการบินอื่นๆ เมื่อคลิกปุ่ม General Route จะแสดงหน้าจอ Route Information



รูปที่ 4.9 หน้าจอ Route Information

ในหน้าจอ Route Information ประกอบด้วย

- Aircraft Limitation ข้อจำกัดการบินของเครื่องบินแต่ละแบบ
- Departure เพื่อให้ผู้ใช้กรอกชื่อเมืองต้นทาง
- Destination เพื่อให้ผู้ใช้กรอกชื่อเมืองปลายทาง
- Connecting : Option 1 เพื่อให้ผู้ใช้กรอกชื่อเมืองแวะพักที่ 1  
Option 2 เพื่อให้ผู้ใช้กรอกชื่อเมืองแวะพักที่ 2
- Distance : Departure – Destination (Km.) เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลระยะทางจากเมืองต้นทาง – เมืองปลายทาง  
Departure – Connecting 1 (Km.) เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลระยะทางจากเมืองต้นทาง – เมืองแวะพักที่ 1  
Connecting 1 – Destination (Km.) เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลระยะทางจากเมืองแวะพักที่ 1 – เมืองปลายทาง  
Departure – Connecting 2 (Km.) เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลระยะทางจากเมืองต้นทาง – เมืองแวะพักที่ 2  
Connecting 2 – Destination (Km.) เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลระยะทางจากเมืองแวะพักที่ 2 – เมืองปลายทาง
- ปุ่ม [www.gcmap.com](http://www.gcmap.com) เพื่อเข้าสู่เว็บไซต์สำหรับตรวจสอบระยะทางการบิน
- ปุ่ม [Clear](#) เพื่อเริ่มต้นการใช้งานในหน้านี้ใหม่
- ปุ่ม [Home](#) เพื่อกลับไปยังหน้าจอหลัก
- ปุ่ม [Solve](#) เพื่อคำนวณหาต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด

เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้ว จากนั้นให้คลิกปุ่ม [Next](#)

Route Information

City

Departure

Destination

Connecting : Option1

Option2

Distance : Departure - Destination (mi)

Departure - Connecting1 (mi)

Connecting1 - Destination (mi)

Departure - Connecting2 (mi)

Connecting2 - Destination (mi)

[www.gcmap.com](http://www.gcmap.com)

Clear

Home

Next

**Aircraft Limitation**

Boeing 747-400 : Maximum Flying Distance 6,600 mi

Boeing 777-300ER : Maximum Flying Distance 7,000 mi

A330-300 : Maximum Flying Distance 4,300 mi

รูปที่ 4.10 หน้าจอ Route Information เมื่อกรอกข้อมูลครบ

เมื่อคลิกปุ่ม Next จะแสดงหน้าจอ The Flight Routing Problem

The Flight Routing Problem

Choose your preferred route and/or aircraft (Optional).

Route

Aircraft

Input the fuel price (usd/usg) at each city (Required).

BKK

THR

ATH

[aeroporos.weebly.com](http://aeroporos.weebly.com)

Clear

Home

Back

Solve

**Result Summary**

รูปที่ 4.11 หน้าจอ The Flight Routing Problem

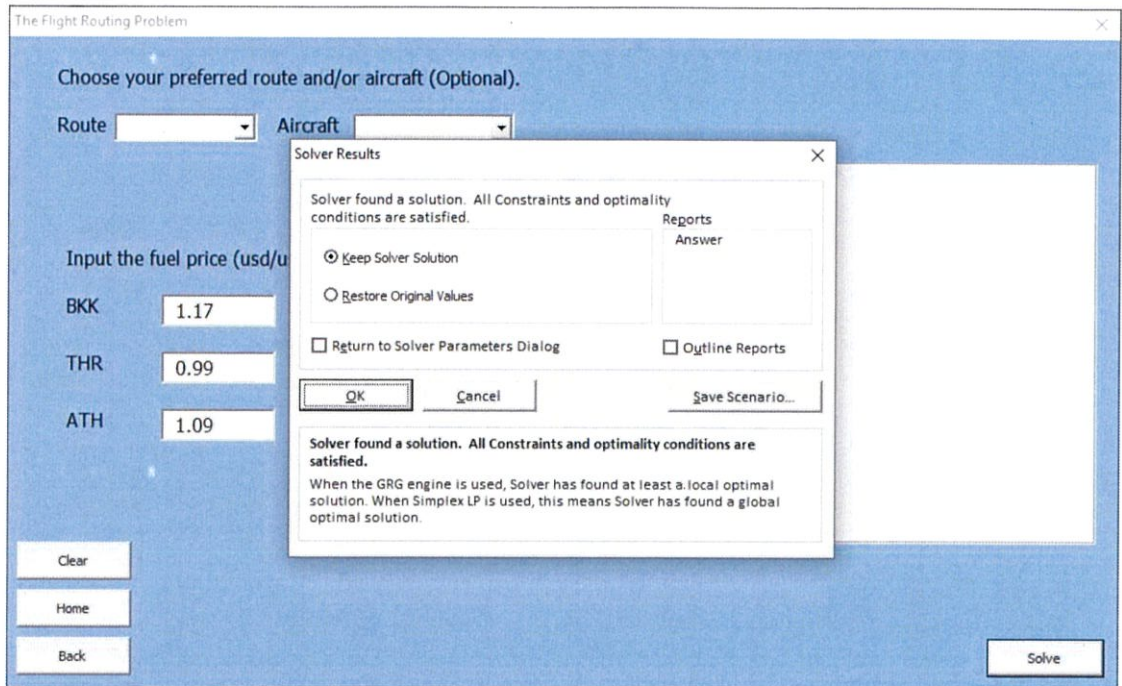
หน้าจอ The Flight Routing Problem ประกอบด้วย

- Result Summary จะแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ
- Route เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกเส้นทางการบินได้
- Aircraft เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกแบบเครื่องบินได้
- ช่องกรอกข้อมูลราคาน้ำมันที่เมืองต้นทาง
- ช่องกรอกข้อมูลราคาน้ำมันที่เมืองแวะพักที่ 1
- ช่องกรอกข้อมูลราคาน้ำมันที่เมืองแวะพักที่ 2
- ปุ่ม Clear เพื่อเริ่มต้นการใช้งานในหน้าใหม่
- ปุ่ม Home เพื่อกลับไปหน้าหลัก
- ปุ่ม Back เพื่อกลับไปหน้า Route Information
- ปุ่ม Solve เพื่อคำนวณหาต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด

เมื่อกรอกข้อมูลราคาน้ำมันครบทั้ง 3 จุด ซึ่งเป็นราคาน้ำมัน ณ วันที่ 19 เมษายน 2559 จากนั้นให้คลิกปุ่ม Solve

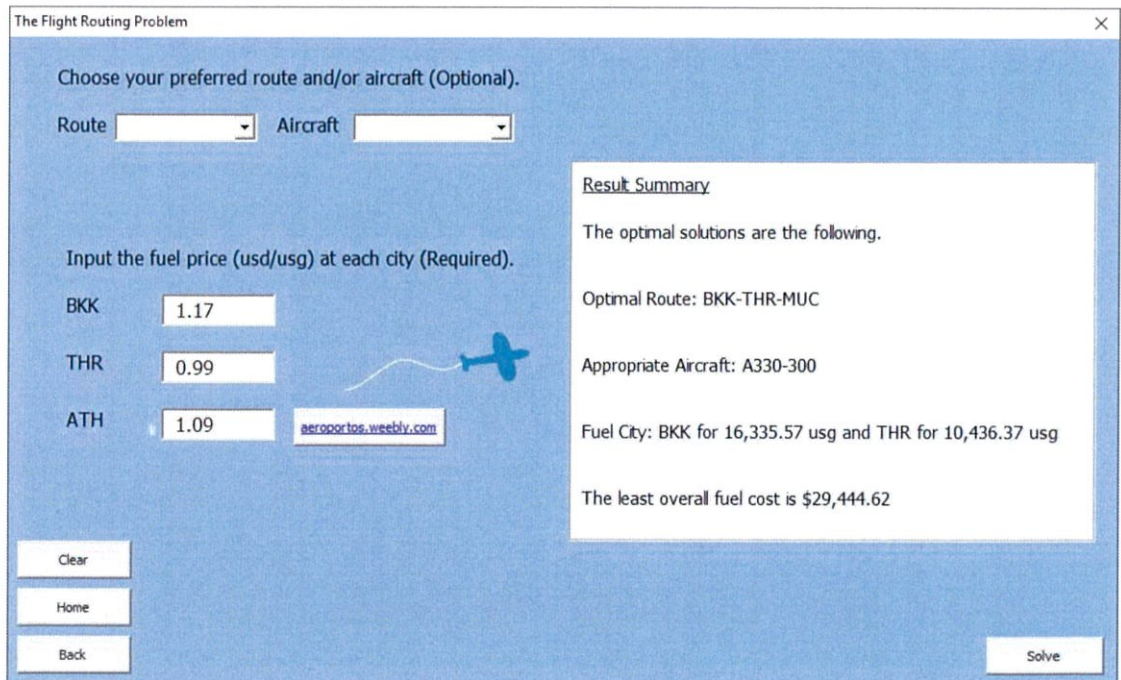
รูปที่ 4.12 หน้าจอ The Flight Routing Problem เมื่อกรอกข้อมูลราคาน้ำมันครบ

เมื่อคลิกปุ่ม Solve แล้ว หน้าจอจะแสดงกล่องข้อความ Solver Results ให้คลิกปุ่ม OK



รูปที่ 4.13 กล่องข้อความ Solver Results

เมื่อคลิกปุ่ม OK จะแสดงผลลัพธ์ในส่วนของ Result Summary

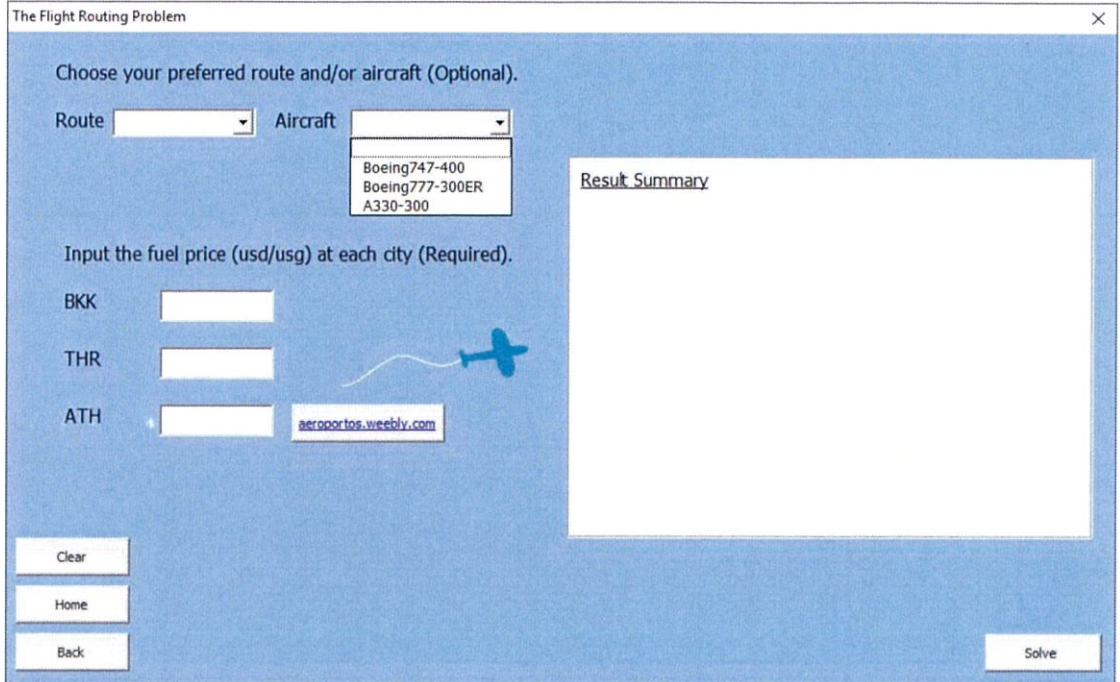


รูปที่ 4.14 การแสดงผลลัพธ์ของหน้าจอ The Flight Routing Problem

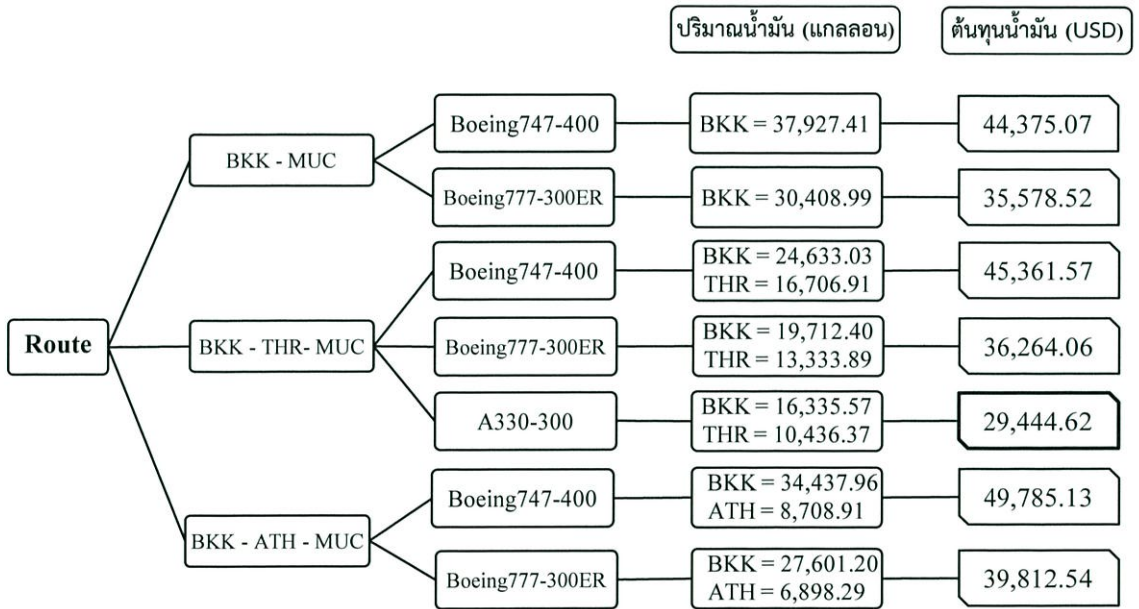
สรุปได้ว่า จากราคาน้ำมัน ณ วันที่ 19 เมษายน 2559 จะเลือกเส้นทางการบินที่ดีที่สุด คือ เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-เตหะราน-มิวนิค (BKK-THR-MUC) แบบเครื่องบินที่เหมาะสมที่สุด คือ เครื่องบินรุ่น A330-300 ซึ่งจะเลือกน้ำมันที่เมืองต้นทาง (BKK) ในปริมาณ 16,335.57 แกลลอน และเลือกเติมน้ำมันที่เมืองแะพัก (THR) ในปริมาณ 10,436.37 แกลลอน ทำให้เกิด ต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด คือ 29,444.62 ดอลลาร์

นอกจากนั้น ผู้ใช้ยังสามารถเลือกเส้นทางการบิน หรือประเภทของเครื่องบิน ได้ตามที่ต้องการ ดังนี้

รูปที่ 4.15 การเลือกเส้นทางการบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem



รูปที่ 4.16 การเลือกประเภทของเครื่องบินในหน้าจอ The Flight Routing Problem  
กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด แสดงดังนี้



รูปที่ 4.17 กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับเส้นทางการบินกรุงเทพฯ-มิวนิค (BKK-MUC)

จากผลการวิจัยจะเห็นว่า ราคา น้ำมัน ณ จุดเติมน้ำมันต่างๆ และระยะทางของเส้นทางการบิน จะส่งผลต่อการเลือกเส้นทางการบิน รุ่นเครื่องบิน ปริมาณการเติมน้ำมัน ณ จุดเติมต่างๆ และต้นทุนน้ำมันรวม ซึ่งจะทำให้การสรุปผลการวิจัยในบทความต่อไป

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Model) ที่มีทั้งแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น และแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น เพื่อวิเคราะห์หาต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุดสำหรับเส้นทางบินไกล ซึ่งมีทั้งเส้นทางการบินตรง และเส้นทางการบินแวะพัก แต่เนื่องจากแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายในขอบเขตหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นที่ใช้ และเป็นเรื่องยากที่จะทราบได้ว่าควรใช้ค่าเริ่มต้นที่จุดใด ผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้นมาใช้ในการคำนวณ เพื่อวิเคราะห์หาต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด

จากการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น โดยนำปัจจัยผันแปรที่เกี่ยวข้องบางส่วนมาในการคำนวณหาต้นทุนน้ำมัน ได้แก่ เส้นทางการบิน ประเภทของเครื่องบิน ราคาน้ำมัน ณ จุดเติมน้ำมันต่างๆ และปริมาณการเติมน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วย ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) 24 ตัว ตัวแปรช่วย (Auxiliary Variables) เพื่อใช้สำหรับสำหรับการเลือกเติมน้ำมัน และใช้สำหรับเส้นทางการบินแวะพัก 21 ตัว พารามิเตอร์ 3 ตัว และมีข้อจำกัด แบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม จากนั้นจะทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากโปรแกรม Microsoft Excel Solver

โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้นกับกรณีศึกษา : เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-FRA) ในการคำนวณหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver จากราคาน้ำมัน ณ วันที่ 19 เมษายน 2559 จะได้เส้นทางการบินที่ทำให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุดคือ เส้นทางการบินกรุงเทพฯ-ดูไบ-แฟรงก์เฟิร์ต (BKK-DXB-FRA) โดยใช้เครื่องบินรุ่น A330-300 เติมน้ำมันที่เมืองต้นทาง (BKK) ในปริมาณ 14,229.58 แกลลอน และเติมที่เมืองแวะพัก (DXB) ในปริมาณ 14,229.58 แกลลอน ทำให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด คือ 31,872.27 ดอลลาร์

ซึ่งตัวแบบจำลองการตัดสินใจที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำมาสร้างเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น และโปรแกรมสำเร็จรูปนี้ ยังอยู่ในรูปแบบทั่วไปสามารถใช้ได้ทุกเส้นทางการบิน แต่จะมีข้อจำกัดการใช้งานสำหรับเส้นทางการบินตรง และเส้นทางการบินแวะพักที่มีจุดแวะพักเพียง 1 จุดเท่านั้น

นอกจากนั้นยังสามารถนำแบบจำลองการตัดสินใจที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ และปรับใช้กับสถานการณ์จริงสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยการสร้างข้อจำกัดให้ครอบคลุมกับปัญหานั้นๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบในส่วนของต้นทุนน้ำมัน ทำให้สามารถเลือกเส้นทางการบิน และประเภทของเครื่องบินที่เหมาะสม ณ จุดเติมน้ำมันจากแหล่งที่ดีที่สุด ในปริมาณการเติมน้ำมันที่

พอเหมาะ เพื่อให้เกิดต้นทุนน้ำมันที่ต่ำที่สุด และยังสามารถช่วยในการวางแผนสำหรับเลือกเปิดเส้นทางการบินใหม่ที่เหมาะสมกับต้นทุนน้ำมันอีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้ ในส่วนของการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจไม่เชิงเส้น การสร้างตัวแปรตัดสินใจ และข้อจำกัดทำได้ง่าย และมีจำนวนน้อย แต่ผลลัพธ์ที่ได้อาจเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายในขอบเขตหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าจะให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จะต้องทำการสร้างอัลกอริทึมเข้ามาช่วย เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แต่สำหรับการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจเชิงเส้น การสร้างตัวแปรตัดสินใจ และข้อจำกัดจะค่อนข้างซับซ้อน จึงต้องสร้างตัวแปรช่วยเพิ่ม ทำให้ตัวแปรมีจำนวนมากขึ้น แต่จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และการสร้างแบบจำลองโปรแกรมจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Model) ของงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้กับเส้นทางการบินอื่นๆ ได้ แต่จะมีข้อจำกัดการใช้กับเส้นทางการบินอื่นๆ คือ ต้องเป็นเครื่องบิน 3 แบบ ได้แก่ Boeing747-400, Boeing777-300ER และ A330-300 และในส่วนของ การนำปัจจัยผันแปรมาสร้างเป็นข้อจำกัดในการคำนวณหาต้นทุนน้ำมันเป็นเพียงข้อจำกัดบางส่วนเท่านั้น ซึ่งยังไม่ครอบคลุมกับปัจจัยส่วนอื่นๆ ที่มีผลต่อต้นทุนน้ำมันได้ทั้งหมด เช่น ความเร็วที่ใช้ขณะทำการบิน น้ำหนักของลูกเรือ ผู้โดยสารและสัมภาระ

ดังนั้นสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อ ควรปรับแบบจำลองการตัดสินใจนี้ให้อยู่ในรูปแบบทั่วไป เพื่อสามารถนำไปใช้ได้ในทุกเส้นทางการบิน และครอบคลุมกับเครื่องบินทุกแบบ และควรที่จะศึกษาพัฒนาในส่วนของปัจจัยผันแปรให้ครอบคลุมกับปัจจัยส่วนอื่นๆ ที่ส่งผลต่อต้นทุนการใช้ น้ำมัน นอกจากนั้นยังสามารถนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อในเรื่องของการลดต้นทุนการดำเนินการในส่วนอื่นๆ เช่น ต้นทุนค่าพนักงาน ต้นทุนค่าซาก/ค่าเสื่อม ฯลฯ เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดสำหรับเส้นทางการบินไกล

## เอกสารอ้างอิง

- ณกร อินทร์พุง. 2548. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น บจก.
- ดุสิต กอปรรักษาติ. 2556. **Advanced Excel ฉบับเขียนโปรแกรมด้วย Macro & VBA.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น บจก.
- นภดล ร่มโพธิ์. 2554. “การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจทางธุรกิจ.” *บริหารธุรกิจ*. 34(130) : 10–13
- ประวิทย์ วงศ์วิวัฒน์. 2557. “การวางแผนการบินก่อนปฏิบัติการบิน.” *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 8(1) : 1–9
- พัชราภรณ์ เนียมมณี. 2551. *ตัวแบบการจัดสรรทรัพยากร*. กรุงเทพฯ : สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- ราคาน้ำมัน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://aeroportos.weebly.com/fuel-prices.html#.Vmfi7riLSM9>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 9 ธันวาคม 2558)
- ราเชนทร์ ทองเหม ให้สัมภาษณ์, 12 พฤศจิกายน 2558. เปมิกา อินสว่าง ผู้สัมภาษณ์. *ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องบิน และปัจจัยผันแปรที่ส่งผลต่อเที่ยวบินโดยสาร*. บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน).
- ศักดิ์สิทธิ์ สุขสุเมฆ. 2557. *สร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ Optimization Modeling ด้วย Excel (Solver)*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น บจก.
- อัตราแลกเปลี่ยน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.msn.com/th-th/money/currencyconverter>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 9 ธันวาคม 2558)
- เส้นทางการบิน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.jetradar.co.th/flights/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 19 กันยายน 2558)
- Paul M. Hayashi and John M. Trapani. 1983. “The impact of energy costs on domestic airline passenger travel.”
- Richard Cobbs, Alex Wolf. 2004. “Jet Fuel Hedging Strategies: Options Available for Airlines and a Survey of Industry Practices.”

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
แผนที่เส้นทางการบิน



เส้นทางการบินกรุงเทพฯ – แฟรงก์เฟิร์ต (BKK – FRA)



เส้นทางการบินกรุงเทพฯ – มุมไบ – แฟรงก์เฟิร์ต (BKK – DXB – FRA)



เส้นทางการบินกรุงเทพฯ – นิวเดลี – แฟรงก์เฟิร์ต (BKK – DEL – FRA)

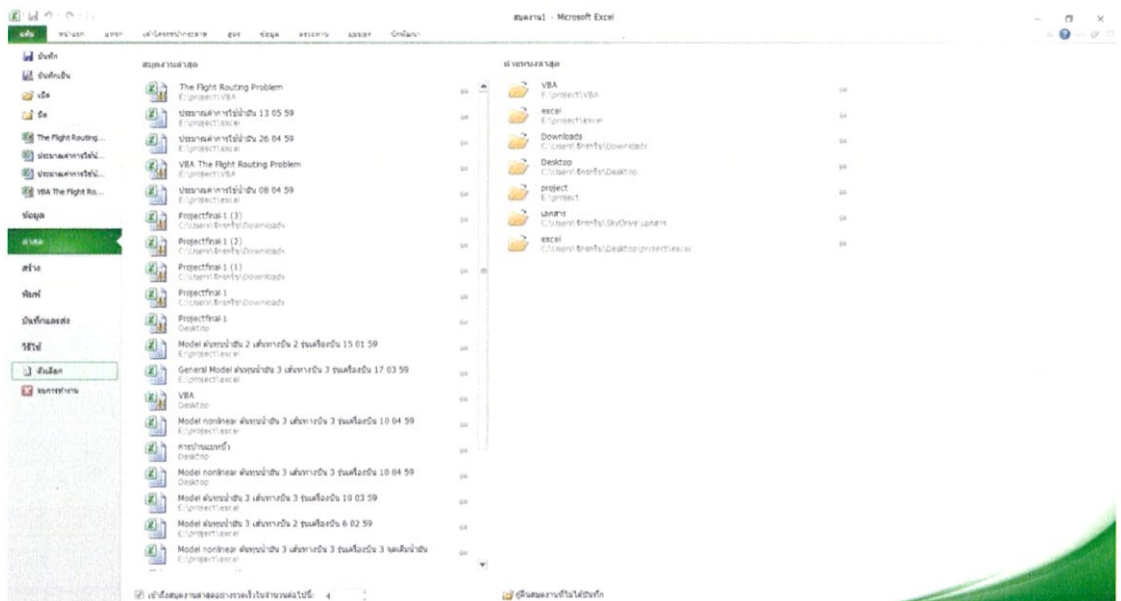
## ภาคผนวก ข

### โปรแกรม The Flight Routing Problem

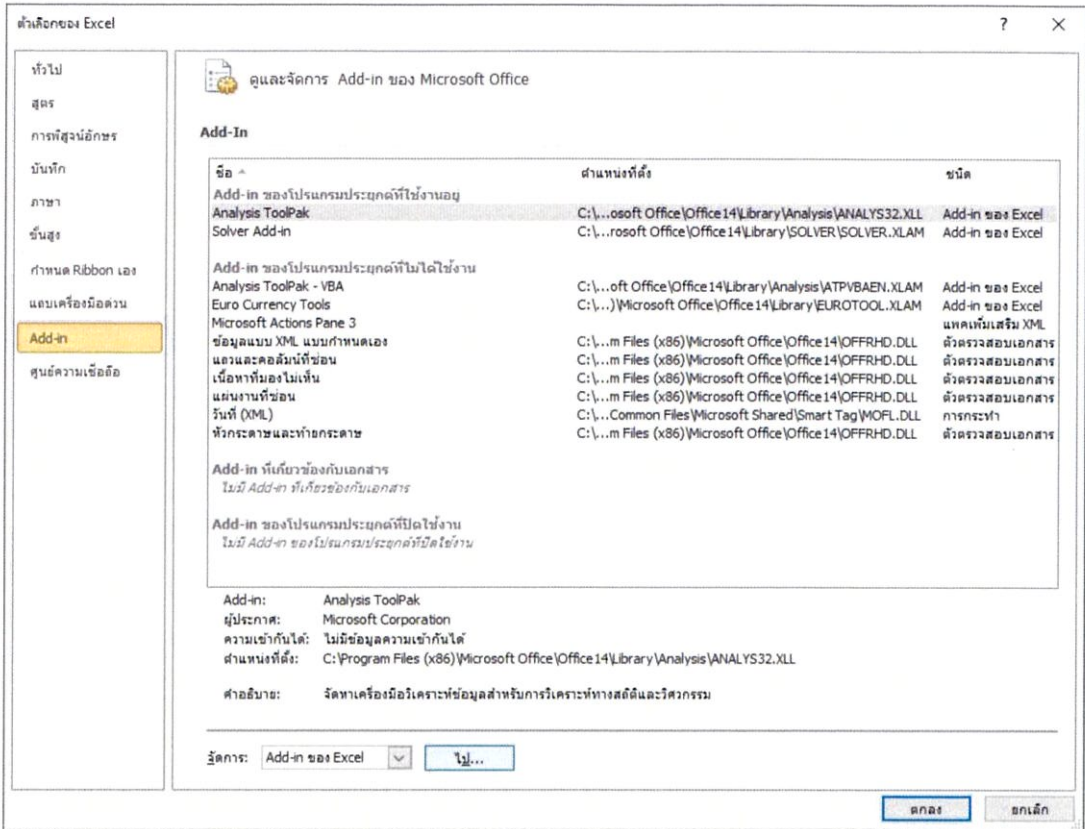
เนื่องจากโปรแกรม The Flight Routing Problem เป็นการเขียนโปรแกรมจาก Visual Basic for Application (VBA) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม Microsoft Excel ในการใช้โปรแกรม The Flight Routing Problem ครั้งแรก จะต้องมีการตั้งค่าโปรแกรม Microsoft Excel ตามขั้นตอนดังนี้

สำหรับโปรแกรมสนับสนุนหรือโปรแกรมย่อย Solver

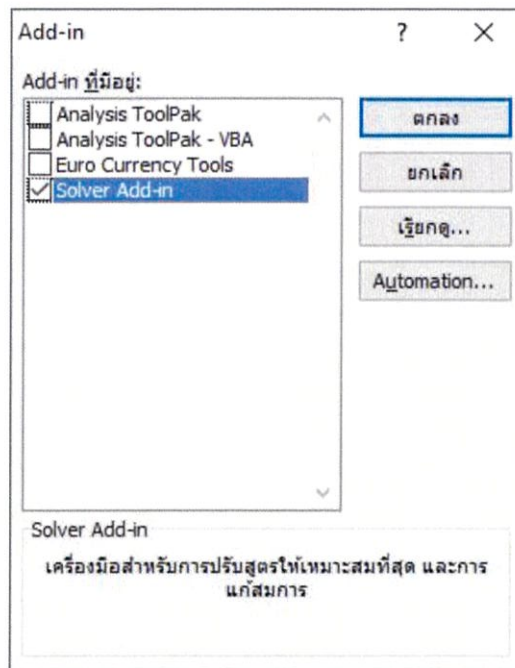
1. เรียกโปรแกรม Microsoft Excel
2. คลิกปุ่ม เพิ่ม
3. คลิกปุ่ม ตัวเลือก



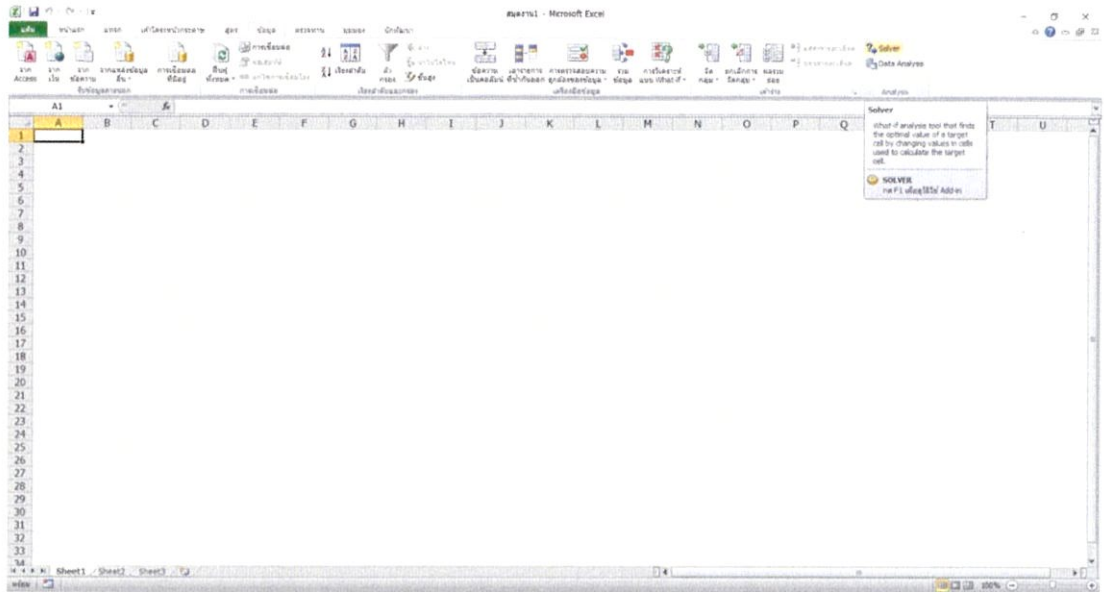
4. คลิกปุ่ม Add-in
5. เลือกช่อง จัดการ ให้เป็น Add-in ของ Excel และกดปุ่ม ไป



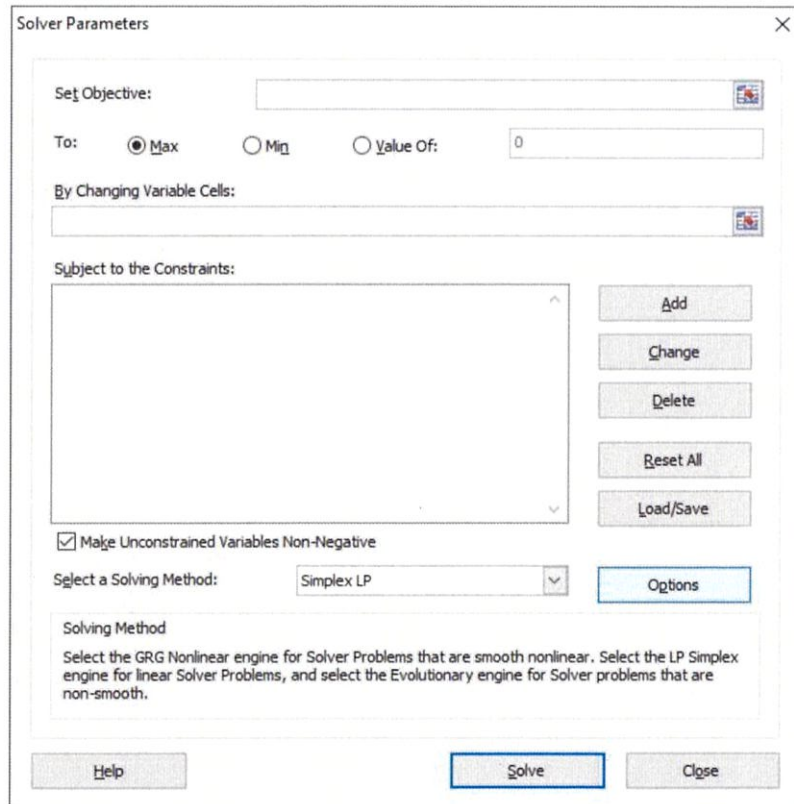
## 6. เลือก Solver Add-in และคลิกปุ่ม ตกลง



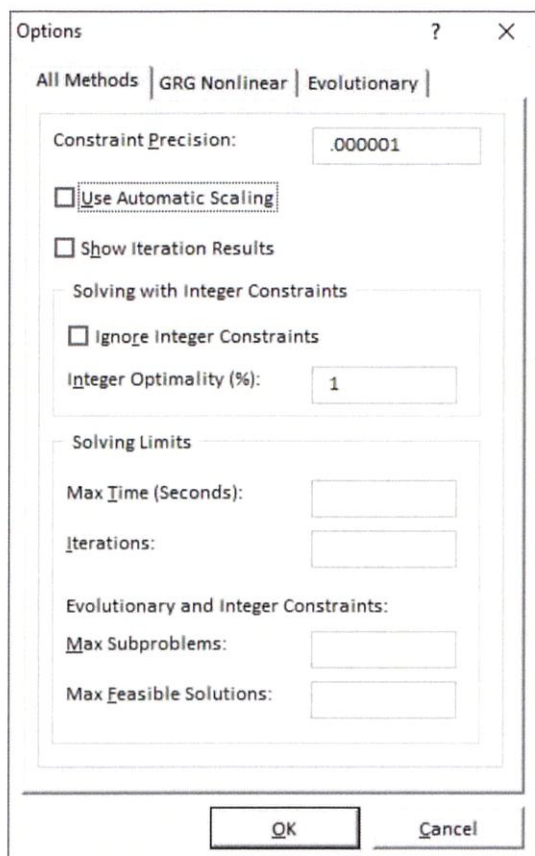
7. คลิกปุ่ม ข้อมูล
8. คลิกปุ่ม Solver



9. คลิกปุ่ม Options

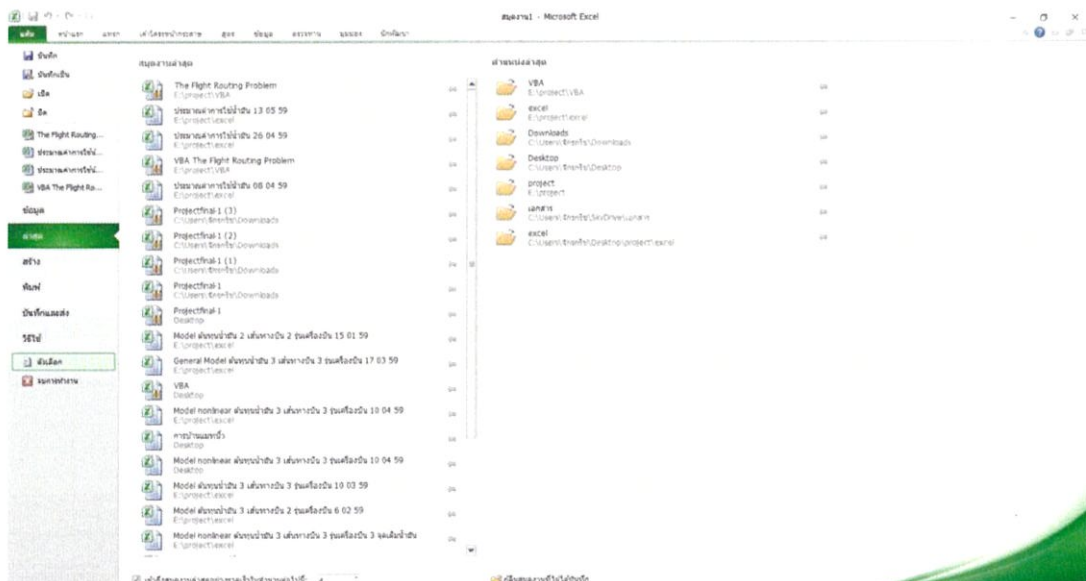


10. ในส่วนของช่อง Use Automatic Scaling ให้กดเครื่องหมาย ✓ ออก จากนั้นคลิกปุ่ม OK

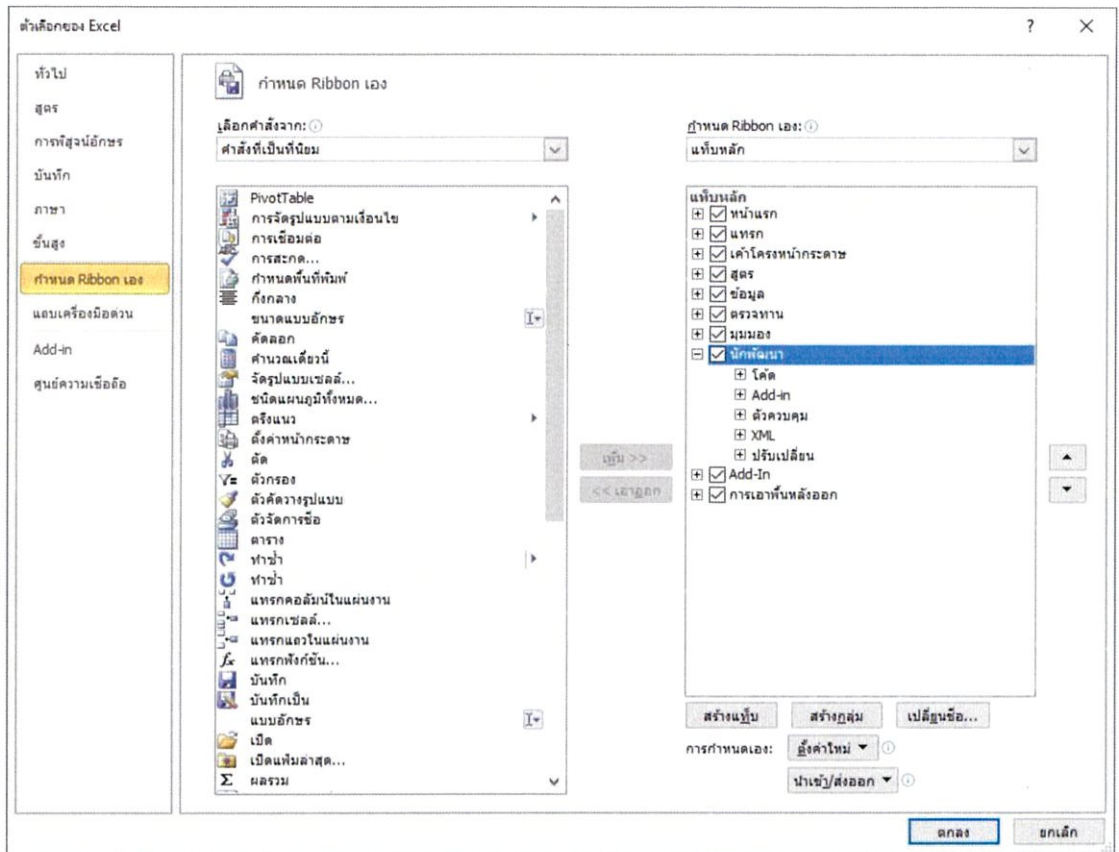


สำหรับ Developer

1. เรียกโปรแกรม Microsoft Excel
2. คลิกปุ่ม เพิ่ม
3. คลิกปุ่ม ตัวเลือก



4. คลิกปุ่ม กำหนด Ribbon เอง
5. เลือกช่อง นักพัฒนา จากนั้นคลิกปุ่ม ตกลง



6. ออกจากโปรแกรม Microsoft Excel

สามารถดาวน์โหลดโปรแกรม The Flight Routing Problem จาก

[https://drive.google.com/folderview?id=0B9aPrs4kpF\\_3NzE2UVhXbl9ldGc&usp=sharing](https://drive.google.com/folderview?id=0B9aPrs4kpF_3NzE2UVhXbl9ldGc&usp=sharing)