



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ

วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ปัญหาการจัดเส้นทางเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง

The Traveling Salesman Problem with Refueling Constraint

นามผู้วิจัย นางสาวปณนุช ชัยเจริญธาดา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์ชัชพันธ์จำญาติ, D.Eng. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญาธิระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปัญหาการจัดเส้นทางเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง

The Traveling Salesman Problem with Refueling Constraint

โดย

นางสาวปณนุช ชัยเจริญธาดา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุญนุษ ชัยเจริญธาดา 2555: ปัญหาการจัดเส้นทางเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์  
อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D. 72 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งโดย  
ทั่วไปปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจะมีข้อสมมติฐานที่ว่าไม่มีข้อจำกัดด้านปริมาณความจุ  
เชื้อเพลิงของยานพาหนะ แต่ในสถานการณ์จริงนั้น การเดินทางของยานพาหนะจะถูกจำกัดด้วย  
ปริมาณความจุเชื้อเพลิง เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิง CNG สำหรับยานพาหนะ นอกจากนี้สถานี CNG ยัง  
มีจำนวนจำกัดด้วย ดังนั้นการวางแผนก่อนที่จะเดินทางในแต่ละครั้งจึงมีความสำคัญมาก ในกรณี  
นี้ไม่เพียงเกี่ยวข้องกับการวางแผนลำดับของลูกค้าที่จะต้องเดินทางไปถึงแต่ยังมีสถานี CNG ที่  
ต้องหยุดเพื่อเติมเชื้อเพลิง เพื่อให้ใช้ระยะเวลาการเดินทางทั้งหมดน้อยที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้  
นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และแนวคิด 6 แนวคิด ที่ได้รับการพัฒนา ในการจัดการกับ  
สถานการณ์ดังกล่าว และตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการเหล่านี้อีกด้วย

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Punyanuch Chaijaroenthada 2012: The Traveling Salesman Problem with Refueling Constraint. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Mungwattana, Ph.D. 72 pages.

This purpose of this research is to develop methods for solving the well-known traveling salesman problem. Typically, the traveling salesman problems assume that there is no limit on the fuel capacity of the vehicle. However, in real life, when CNG fuel is used for the vehicle, the distance which the vehicle can travel will be limited due to the fuel capacity. In addition, the number of CNG stations is also limited. Therefore, planning before each trip will be very crucial. In this case, planning involves not only the sequence of customers the salesmen has to visit, but also the CNG stations he has to stop to fill up the fuel such that the total travel time is minimized. In this research, a mathematical model and six methods for dealing with such situation are developed. The effectiveness of these methods is also examined.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ชัชพันธ์ จำญาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.ชรินี มณีศรี ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและ ดร.คณศ พลอยคนัย ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอขอบคุณครอบครัว พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งความรู้ทางเทคนิคทางปฏิบัติและให้กำลังใจส่งผลให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ได้สำเร็จลุล่วง

และความดีหรือประโยชน์อันใดที่เกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดามารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ปทุมณฑุ ชัยเจริญธาดา  
มีนาคม 2555

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	9
อุปกรณ์	9
วิธีการ	9
ผลและวิจารณ์	29
ผล	29
วิจารณ์	32
สรุปและข้อเสนอแนะ	34
สรุป	34
ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	37
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก การสร้างชุดข้อมูล	40
ภาคผนวก ข การเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง	45
ภาคผนวก ค ผลการประมวลผลข้อมูล	58
ภาคผนวก ง การทดสอบประสิทธิภาพ	69
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	72

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างข้อมูล	11
2	ตัวอย่างเส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิง	13
3	การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	18
4	ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1	19
5	ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2	20
6	ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3	21
7	ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4	23
8	ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5	24
9	ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6	26
10	ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทาง โดยวิธีการสร้างแบบจำลอง ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร	29
11	ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางทั้ง 8 แนวคิด ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร	29
12	ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทาง โดยวิธีการสร้างแบบจำลอง ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร	30
13	ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางทั้ง 8 แนวคิด ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร	30
14	จำนวนจุดเติมเชื้อเพลิงที่หยุดเติมเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย	31
15	เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพ	31
16	ระยะเวลาเฉลี่ยในการเดินทางของการทดสอบประสิทธิภาพ	32
17	จำนวนจุดเติมเชื้อเพลิงเฉลี่ยในการเดินทางของการทดสอบประสิทธิภาพ	32

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	41
ก2	ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากจุดเติมเชื้อเพลิงต่างๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	41
ก3	ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปจุดเติมเชื้อเพลิงต่างๆ ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	42
ก4	ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	42
ก5	ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปจุดเติมเชื้อเพลิงต่างๆ ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	43
ก6	ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากจุดเติมเชื้อเพลิงต่างๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	44
ข1	ตัวอย่างเส้นทางหลักในการเดินทางของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	46
ข2	การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงวิธีการสร้างแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	46
ข3	การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1 ของข้อมูล ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	47
ข4	การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2 ของข้อมูล ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	48
ข5	การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3 ของข้อมูล ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	49
ข6	การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4 ของข้อมูล ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	49
ข7	การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5 ของข้อมูล ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	50

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข8	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6 ของข้อมูล ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร	51
ข9	ตัวอย่างเส้นทางหลักในการเดินทางของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	52
ข10	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงวิธีการสร้างแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	52
ข11	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1 ของข้อมูล ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	53
ข12	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2 ของข้อมูล ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	54
ข13	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3 ของข้อมูล ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	55
ข14	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4 ของข้อมูล ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	55
ข15	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5 ของข้อมูล ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	56
ข16	การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6 ของข้อมูล ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร	57
ค1	ผลการประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร	59
ค2	ผลการประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร	60
ค3	ระยะทางรวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร	61
ค4	ระยะเวลารวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร	62
ค5	ระยะทางรวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร	63
ค6	ระยะเวลารวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร	64

## สารบัญตาราง (ต่อ)

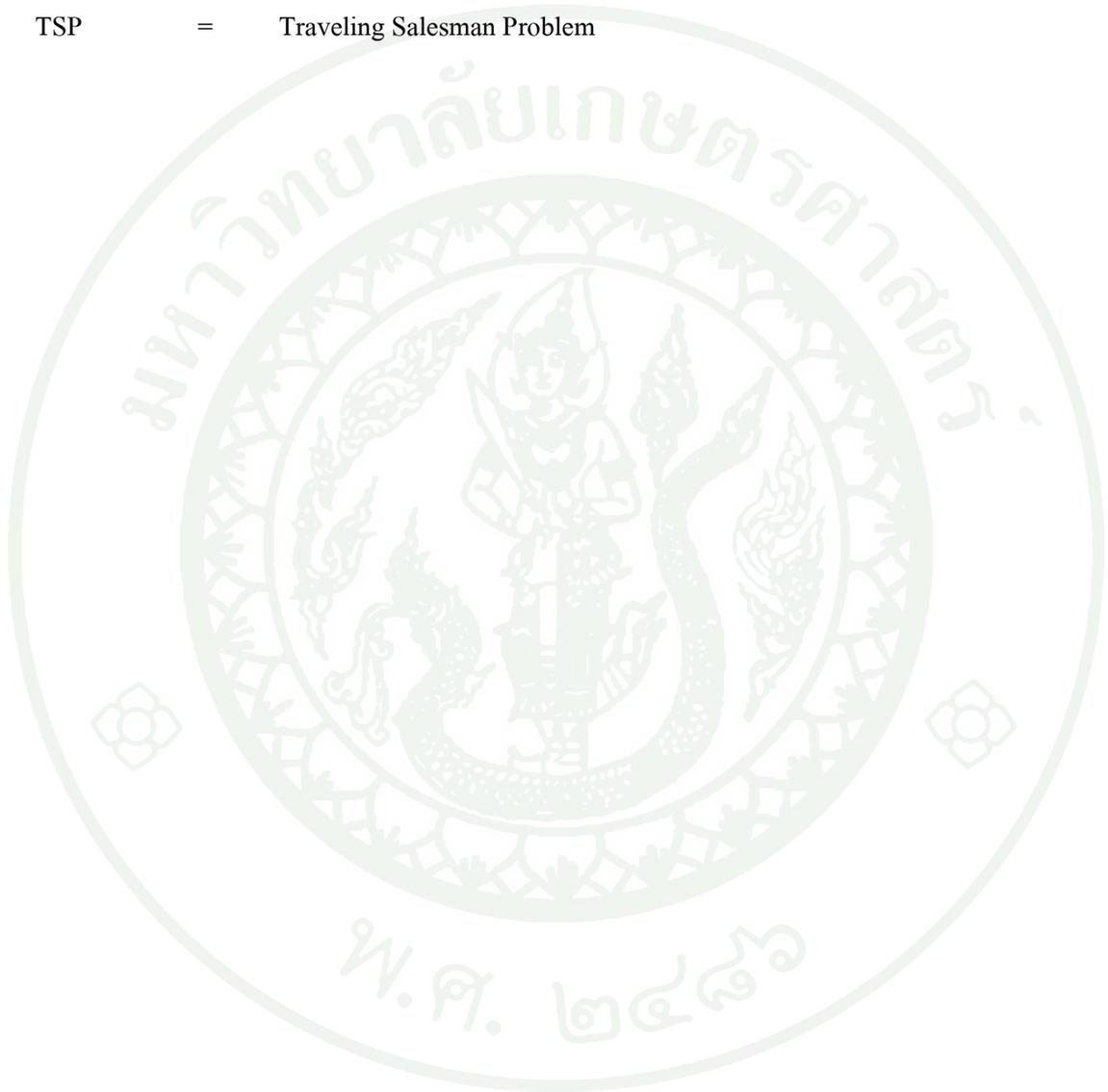
ตารางผนวกที่		หน้า
ค7	จำนวนครั้งที่หยุดเติมเชื้อเพลิงโดยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	65
ค8	จำนวนครั้งที่หยุดเติมเชื้อเพลิงของทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร	66
ค9	จำนวนครั้งที่หยุดเติมเชื้อเพลิงของทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร	67
ค10	เวลาในการประมวลผลข้อมูลของช่วงข้อมูล 1-130 กิโลเมตร	68
ง1	ระยะเวลาในการเดินทางของการทดสอบประสิทธิภาพ	70
ง2	จำนวนจุดเติมเชื้อเพลิงของการทดสอบประสิทธิภาพ	70
ง3	เวลาในการประมวลผลข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพ	71
ง4	การทดสอบประสิทธิภาพขนาดชุดข้อมูลที่ใหญ่ที่สุด	71

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบการทำงาน	9
2	รูปแบบข้อมูลแบบอสมการรูปสามเหลี่ยม	10
3	ตัวอย่างข้อมูลแบบอสมการรูปสามเหลี่ยม	11
4	การจัดเรียงลำดับเส้นทางใหม่	14
5	การเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1	19
6	การเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2	20
7	การเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3	21
8	การเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4	22
9	การเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5	24
10	การเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6	25
11	ตัวอย่างการเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงกรณีพิเศษที่ 1	26
12	ตัวอย่างการเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงกรณีพิเศษที่ 2	27
13	ตัวอย่างการเลือกจุดเต็มเชื่อเพลิงกรณีพิเศษที่ 3	28

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กม.	=	กิโลเมตร
CNG	=	Compressed Natural Gas
TSP	=	Traveling Salesman Problem



## ปัญหาการจัดเส้นทางเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง

### The Traveling Salesman Problem with Refueling Constraint

#### คำนำ

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) เป็นรูปแบบของปัญหาที่ช่วยในการแก้ปัญหาการขนส่งซึ่งเป็นปัญหาที่มีรูปแบบการเดินทางเริ่มต้นจากจุดเริ่มต้นเพื่อไปยังจุดอื่นๆ หลายจุด และสิ้นสุดที่การกลับมายังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหา ระยะทาง ระยะเวลา ค่าใช้จ่าย หรือหน่วยการวัดอื่นๆ ที่น้อยที่สุด ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน จึงถูกจัดเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard)

โดยทั่วไปปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมีข้อสมมติฐานที่ว่าไม่มีข้อจำกัดด้านความจุเชื้อเพลิงของยานพาหนะ แต่ในสถานการณ์จริงการเดินทางของยานพาหนะนั้นถูกจำกัดด้วยความจุเชื้อเพลิง นอกจากนี้จุดเติมเชื้อเพลิงยังมีจำนวนจำกัดด้วย ดังนั้นการวางแผนก่อนที่จะเดินทางในแต่ละครั้งจึงมีความสำคัญมาก งานวิจัยนี้ได้นำเงื่อนไขข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง มาใช้กับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเพื่อเพิ่มความซับซ้อนของปัญหา โดยการพัฒนาตัวแบบของปัญหา เพื่อพิจารณาถึงการเลือกเดินทางออกนอกเส้นทางเพื่อไปเติมเชื้อเพลิง และการเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงที่ทำให้ใช้ระยะเวลารวมในการเดินทาง กับระยะเวลาในการเติมเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด เนื่องจากการคำนวณตัวแบบของปัญหาใช้ระยะเวลาที่นาน จึงได้คิดแนวคิดในการออกนอกเส้นทางเพื่อไปเติมเชื้อเพลิง ทั้งหมด 8 แนวคิด และทำการเปรียบเทียบกันเพื่อหาแนวคิดที่ทำให้มีระยะเวลารวมในการเดินทาง กับระยะเวลาในการเติมเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด เพื่อเป็นทางเลือกในการคำนวณ

ดังนั้นปัญหาการจัดเส้นทางที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิงจึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก โดยรูปแบบงานวิจัยได้มีการเพิ่มเงื่อนไขต่างๆ ให้มากขึ้น เช่น งานวิจัยของ T. Ichimori และคณะ (1981) ได้พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง โดยพวกเขาได้ใช้วิธีหาทุกๆ คู่ของจุดเติมเชื้อเพลิงเพื่อแก้ปัญหา และในปี 1983 พวกเขาได้พิจารณาหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยที่น้ำมันไม่หมดและการกำหนดจำนวนเส้นทางในการไปเติมเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด งานวิจัยของ Suzuki (2008) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการเติมเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด โดยมีจุดเติมเชื้อเพลิงอยู่ตามเส้นทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายที่สั้นที่สุด

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการขนส่ง เมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการขนส่ง เมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เส้นทางเดินรถที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ
2. วิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีเงื่อนไขด้านการเติมเชื้อเพลิง

## ขอบเขตของงานวิจัย

1. พิจารณาเส้นทางที่รถสามารถเดินทางได้ไกลที่สุด 600 กิโลเมตร ต่อ 10 ชั่วโมง ต่อวัน
2. ศึกษาจุดในการขนส่งจำนวน 13 จุดลูกค้า และ 7 จุดเติมเชื้อเพลิง

## การตรวจเอกสาร

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากการวางแผนการเดินทางที่เหมาะสมนั้น จะทำให้ลดความสูญเสียในด้านต่างๆ ที่ส่งผลต่อธุรกิจต่อไป ดังนั้น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจึงเป็นรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก

### 1. ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมีลักษณะเป็นกราฟ ซึ่งมีระยะทางการเดินทางผ่านจุด  $i$  ไป  $j$  สามารถเขียนในรูป  $d(i, j)$  มีกราฟที่ประกอบด้วยจุดต่อ (Node) หรือจุดยอด (Vertices) และส่วนโค้ง (Arc) หรือเส้นเชื่อม (Edges) มีรูปแบบการเดินทางเป็นการหาลำดับ (Permutation) ของการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ทุกเมืองโดยไปเยี่ยมชมแต่ละเมืองเพียงครั้งเดียว คือ ต้องผ่านจุดต่อหรือจุดยอดอย่างน้อย 1 ครั้ง และแล้วเดินทางกลับมายังเมืองเริ่มต้น โดยเรียกการเดินทางรูปแบบนี้ว่าวงล้อมฮามิลโทเนียน (Hamiltonian Cycle) และเส้นทางเดินที่ได้จะเรียกว่าทัวร์ (Tour) แต่ถ้าการเดินทางไม่ผ่านครบทุกจุดต่อหรือจุดยอด และกลับมายังจุดเริ่มต้นจะเรียกว่าทัวร์ย่อย (Subtour) ซึ่งเป็นเรื่องยากของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย คือ เมื่อขนาดของจำนวนเมืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ลำดับการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ที่เป็นไปได้จะมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งลักษณะการเติบโตจะเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential Time)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมีรูปแบบปัญหาอยู่ 2 ลักษณะคือ สมมาตร (Symmetric) และไม่สมมาตร (Asymmetric) โดยที่สมมาตรจะมี ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากจุดต่อ  $i$  ไปยังจุดต่อ  $j$  หรือ  $C_{ij}$  จะมีค่าเท่ากับ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากจุดต่อ  $j$  ไปยังจุดต่อ  $i$  หรือ  $C_{ji}$  แต่ถ้าเป็นปัญหาแบบไม่สมมาตรจะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางในระหว่างจุดต่อเดียวกันไม่เท่ากัน หรือ  $C_{ij}$  ไม่เท่ากับ  $C_{ji}$  ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายยังมีการกำหนดเส้นทางแบบอื่น คือ อสมการสามเหลี่ยม (The Triangle Inequality) จะมีค่าใช้จ่ายรวมในการเดินทางจากจุด  $i$  ไปยังจุด  $j$  และจากจุด  $j$  ไปยังจุด  $k$  จะต้องมากกว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากจุด  $i$  ไปยังจุด  $k$  ดังสมการที่ 1 เมื่อ  $n$  คือจำนวนลูกค้า ซึ่งการกำหนดเส้นทางแบบอสมการสามเหลี่ยมถูกพิจารณาเป็นกรณีพิเศษของแบบไม่สมมาตร (Johnson and Papadimitriou, 1987)

$$C_{ij} + C_{jk} \geq C_{ik} \quad \forall_{i,j,k} \in \{1,2,\dots,n\} \quad (1)$$

## 2. การพัฒนาและวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงจัดหมู่ ซึ่งในทางทฤษฎี ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจัดอยู่ในกลุ่ม ปัญหาเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) คือ ปัญหาที่มีความซับซ้อน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาจำเป็นต้องหาวิธีการที่ดีที่สุดที่ให้คำตอบของเวลา ระยะเวลา ค่าใช้จ่ายหรือหน่วยวัดอื่นๆ ที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่ต้องการศึกษาและพัฒนาวิธีการใหม่ๆ ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Algorithms) เป็นการประเมินจำนวนเส้นทาง ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเส้นทาง (Tours) คือ จำนวน  $(n-1)!$  แต่ปัญหาสมมาตรจะเท่ากับ  $(n-1)!/2$  โดย  $n$  คือ จำนวนเมืองที่ต้องเดินทางไป พบว่าวิธีนี้มีความยุ่งยากซับซ้อน ไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นเวลานานและใช้หน่วยความจำมาก ดังนั้นวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Near Optimal Solution) เนื่องจากมีความรวดเร็วในการคำนวณและลดความยุ่งยากซับซ้อน ได้รวมถึงสามารถใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ ส่วนมากจะใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขต (Branch and Bound) ในการแก้ไขปัญหาสำหรับ ปัญหาที่มีจุดหมายปลายทางไม่เกิน 40 – 60 เมือง เช่น Fabien *et al.* (2005) ใช้วิธีหาคำตอบที่ดีที่สุด ในปัญหาการเติมเต็มเชื้อเพลิงที่สถานีเติมเชื้อเพลิง เพื่อตัดสินใจการจัดสรรเชื้อเพลิงให้รถบรรทุก และออกแบบเส้นทางขนส่งถึงสถานีเติมเชื้อเพลิงต่างๆ

อัลกอริทึมแตกกิ่งและมีขอบเขตถูกพัฒนาโดย Eastman และ Little โดยทั่วไปวิธีนี้ถูกใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายซึ่งวิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขตได้ถูกพัฒนาบนพื้นฐานของวิธีการผ่อนปรน (Relaxation) ปัญหาการมอบหมายงาน ในเนื้อหาของโปรแกรมทางคณิตศาสตร์พวกเขาสามารถหาค่าเริ่มต้นที่ดีที่สุดโดยการผ่อนคลายบางส่วนของข้อจำกัด ซึ่งคุณภาพของวิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขตจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพของขอบเขตที่ถูกหามาโดยการผ่อนปรน (Gilbert, 1992)

วิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขตเป็นวิธีพื้นฐานในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) วิธีนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานของการสังเกตว่า คำตอบของค่าตัวแปรตัดสินใจนั้นมีลักษณะเป็นแผนภูมิต้นไม้ ซึ่งวิธีนี้ไม่ได้สร้างค่าตัวแปรทั้งหมดในทุกๆทางเลือก แต่จะสร้างค่าของตัวแปรในลักษณะเป็นลำดับขั้นของการตัดสินใจ ทั้งนี้วิธีนี้จะสร้างค่าของตัวแปร (Node) ที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดในทุกๆ ลำดับขั้นของการตัดสินใจ ซึ่งจะ

กำหนดว่าค่าของตัวแปรใดควรจะถูกเลือกในการสร้างค่าของตัวแปรรุ่นลูก โดยการเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Bounding Function) กับค่าของคำตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขซึ่งมีค่าที่ดีที่สุดขณะนั้น (Incumbent Solution) วิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยลดขนาดแผนภูมิตัดสินใจแบบต้นไม้ได้เป็นอย่างมาก (ฉกร, 2548)

ในการหาคำตอบโดยใช้วิธีแบบฮิวริสติกส์จะเป็นการหาคำตอบที่ไม่ได้ผลดีที่สุด แต่จะเป็นการประมาณความเป็นไปได้ของสมการต่างๆ และหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้และอยู่ในระดับหนึ่ง ซึ่งวิธีนี้สามารถหาผลลัพธ์แม้กระทั่งมีจุดหมายปลายทางมากกว่าล้านแห่งได้ในเวลาที่จำกัด แต่มีความคลาดเคลื่อนจากคำตอบที่ดีที่สุด สามารถแบ่งวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆด้วยกัน คือ วิธีการสร้างฮิวริสติกส์ (Constructive Heuristics) และวิธีการปรับปรุงฮิวริสติกส์ (Improvement Heuristics) (Hahsler and Hornik, 2009)

วิธีการสร้างฮิวริสติกส์ เป็นวิธีที่จะทำการหาคำตอบอย่างเป็นขั้นตอน (Step by Step) เป็นการอาศัยข้อมูลของปัญหาในการสร้างขั้นตอนในการหาคำตอบ ซึ่งวิธีนี้จะให้คำตอบเมื่อขั้นตอนทั้งหมดถูกกระทำเสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์ วิธีการสร้างฮิวริสติกส์หลายวิธีที่รู้จักกันทั่วไป

วิธีหาเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีที่ Heller (1956) ได้อธิบายวิธีการนี้และนำมาแก้ปัญหาเมือง 100 เมือง เนื่องจากวิธีนี้มีขั้นตอนที่ง่ายเหมือนแบบวิธีละโมบ (Greedy) เป็นการเลือกกิ่งที่สั้นที่สุดเพิ่มเข้าไปโดยไม่ทำให้เกิดทัวร์ย่อย (Nilsson, 2003)

วิธีแทรกอัลกอริทึม (Insertion Algorithm) หรือวิธีการประหยัด (Saving) เป็นวิธีที่ถูกเสนอโดย Clarke และ Wright (1964) วิธีนี้มีแนวคิดหาค่าความประหยัด จากค่าใช้จ่ายระหว่างลูกค้า  $i$  และคลังสินค้า รวมกับค่าใช้จ่ายระหว่างลูกค้า  $j$  และคลังสินค้า หักลบด้วยค่าใช้จ่ายระหว่างลูกค้า  $i$  และลูกค้า  $j$  วิธีแทรกอัลกอริทึมนี้มีแนวทางในการเลือกเมืองต้องไปมาแทรก มีดังนี้

- การแทรกเมืองที่ใกล้ที่สุด (Nearest Insertion) เป็นการเลือกแทรกเมืองที่ใกล้ที่สุดในแต่ละขั้นเข้าไปในทัวร์

- การแทรกเมืองที่ไกลที่สุด (Farthest Insertion) เป็นการเลือกแทรกเมืองที่ไกลที่สุดจากเมืองอื่นในแต่ละขั้นเข้าไปในทัวร์

- การแทรกเมืองที่ถูกที่สุด (Cheapest Insertion) เป็นการเลือกแทรกเมืองที่แทรกแล้วทำให้มีต้นทุนน้อยที่สุดในแต่ละขั้น

- การแทรกเมืองตามอำเภอใจ (Arbitrary Insertion) เป็นการเลือกแทรกเมืองใดก็ได้ที่ยังไม่อยู่ในทัวร์

ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่ได้นำวิธีนี้มาใช้ในการแก้ปัญหา เช่น ยศวริศ และ คณะ (2010) ได้นำมาใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางเก็บขยะมูลฝอย

วิธีการปรับปรุงฮิวริสติกส์นี้มีชื่อที่นิยมเรียกกันอีกอย่างหนึ่งด้วยว่าวิธีการหาคำตอบแบบโลคอล (Local Search) แนวคิดนี้มีการกำหนดโครงสร้างเนเบอร์ฮูด (Neighborhood) วิธีนี้จะเริ่มต้นหาคำตอบจากคำตอบที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขแล้วใช้ขั้นตอนการกระทำซ้ำ (Iterative Improvement) ในแต่ละรอบการทำซ้ำ วิธีการหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูดจะทำการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นภายในเนเบอร์ฮูดหรือกลุ่มค่าที่กำหนด โดยหลักการแล้วการใช้เนเบอร์ฮูดที่มีขนาดจะทำให้เราสามารถหาคำตอบ (Local Optima) ที่มีคุณภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการค้นหาคำตอบภายในเนเบอร์ฮูดที่มีขนาดใหญ่จะทำให้สูญเสียเวลาในการหาคำตอบมากด้วยเช่นกัน และส่งผลทำให้จำนวนครั้งของการเริ่มต้นการหาคำตอบภายในเนเบอร์ฮูดอันใหม่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งทำให้อัลกอริทึมสูญเสียโอกาสในการค้นหาคำตอบภายในบริเวณอื่นซึ่งอาจจะมีค่าดีกว่าอยู่ในบริเวณนั้นก็ได้ ปัจจุบันวิธีการหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูดได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังเป็นพื้นฐานของวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนและมีตัวแปรในการตัดสินใจเป็นจำนวนมาก (ณกร, 2548)

### 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ichimori *et al.* (1981) ได้พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง ซึ่งพวกเขาได้พัฒนาอัลกอริทึมขอบเขตพหุนาม (Polynomially Bounded Algorithm) เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่หยุดเติมเชื้อเพลิงอย่างน้อย 1 ครั้ง โดยพวกเขาได้ใช้วิธีหาทุกๆ คู่ของจุดเติมเชื้อเพลิงเพื่อแก้ปัญหา และกล่าวอีกว่าจะไม่พิจารณาระยะทางรวมจากลูกค้า  $i$  ไปจุดเติมเชื้อเพลิง  $j$  และไปลูกค้า  $k$  ที่มากกว่าระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด ( $L$ ) เพราะอาจทำให้เกิดเส้นทางที่ไม่เลือกเติมเชื้อเพลิงเลย ฉะนั้นให้พิจารณาเฉพาะเส้นทางที่ น้อยกว่าหรือเท่ากับ  $L$

Ichimori *et al.* (1983) ได้พิจารณาปัญหาเส้นทาง 2 ส่วน คือ ส่วนที่สามารถแก้ปัญหาแบบโพลิโนเมียล (Polynomial) ได้ เป็นการหาระยะทางที่น้อยที่สุด ซึ่งกำหนดระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ไกลที่สุด (L) โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าเป็นระยะทางที่เชื่อมต่อระหว่าง ลูกค้า-ลูกค้า ให้  $\leq (1/2) L$  แต่ถ้าเป็นระยะทางจากลูกค้าไปจุดเติมเชื้อเพลิงให้  $\leq L$  ซึ่งจะแก้ปัญหาโดยใช้สะพานทอดข้ามน้อยที่สุด (Minimum Spanning Tree) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ หาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยที่น้ำมันไม่หมด ส่วนที่สองนั้น เป็นการกำหนดจำนวนเส้นทางในการไปเติมเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด ซึ่งปัญหารูปแบบนี้จะเป็นปัญหาเอ็นพีสมบูรณ์ (NP-Complete) ซึ่งหาคำตอบได้ยาก

Lin *et al.* (2006) ได้พิจารณาต้นทุนการเติมเชื้อเพลิงยานพาหนะที่น้อยที่สุดขณะเดินทางตามเส้นทางที่ถูกกำหนดไว้แล้ว และเลือกเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิงที่ใกล้ที่สุด ซึ่งพวกเขาได้พัฒนาการแก้ปัญหาโดยใช้อัลกอริทึมละโมบแบบเส้นตรงเวลา (Linear – Time Greedy Algorithm) โดยราคาเชื้อเพลิงแต่ละจุดเติมเชื้อเพลิงนั้นแตกต่างกัน

Khuller *et al.* (2007) ได้วิเคราะห์อัลกอริทึมและความซับซ้อนของปัญหา โดยงานวิจัยของเขาได้ศึกษาปัญหาเส้นทางมากมาย ที่เกี่ยวกับเส้นทางที่สั้นที่สุด (Generalize Shortest Paths) และปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย พวกเขาได้พิจารณาราคาเชื้อเพลิงที่เติมในถังเชื้อเพลิง และกำหนดให้แต่ละจุดเติมเชื้อเพลิงจะมีราคาเชื้อเพลิงคงที่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และงานวิจัยของพวกเขาพบว่าสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ ในเวลาที่เพิ่มขึ้นแบบโพลิโนเมียล (Polynomial Time) ซึ่งมีกรอบการทำงาน คือ

1. ปัญหาจุดเติมเชื้อเพลิง (The Gas Station Problem) ซึ่งพวกเขามีคำถามว่าจะเดินทางอย่างไรจากจุดเริ่มต้น ไปจุดหมายปลายทางที่ถูกที่สุด ถ้า ณ จุดเริ่มต้นมีเชื้อเพลิงอยู่ปริมาณหนึ่งและได้พิจารณารูปแบบที่จะหยุดเติมเชื้อเพลิง ซึ่งพวกเขาถือว่าข้อจำกัดนี้จะมีผลเมื่อราคาเชื้อเพลิงลดลง ฉะนั้นควรเติมเชื้อเพลิงแค่พอที่จะเดินทางไปเติมที่จุดเติมเชื้อเพลิงต่อไปที่ราคาเชื้อเพลิงถูกกว่า โดยมีเป้าหมายว่าหาเส้นทางที่ถูกที่สุดที่เดินทางไปหาลูกค้าได้ทุกจุดที่กำหนด

2. ปัญหาการกำหนดจุดเติมเชื้อเพลิง (The Fixed-path Gas Station Problem) พวกเขาได้กำหนดเส้นทางที่ต้องการจะเดินทางไป โดยมีเป้าหมายว่าหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่จะหยุดเติมเชื้อเพลิงระหว่างทาง

3. ปัญหาราคาเชื้อเพลิงของจุดเติมเชื้อเพลิง (The Uniform Cost Tour Gas Station Problem) ได้กำหนดให้พาหนะน้ำมันจะไม่หมดตลอดเส้นทางเพื่อให้ปัญหานี้เป็นปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย และกำหนดให้จำนวนจุดเติมเชื้อเพลิงไม่เท่ากับจำนวนจุดลูกค้า และราคาเชื้อเพลิงแต่ละจุดเติมเชื้อเพลิงเท่ากันเพื่อง่ายในการพิจารณา

4. ปัญหาทัวร์ของจุดเติมเชื้อเพลิง (The Tour Gas Station Problem) ปัญหานี้เหมือนกับปัญหาก่อนหน้า ยกเว้นราคาแต่ละจุดเติมเชื้อเพลิงแตกต่างกัน

จากปัญหาด้านต้นเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) ซึ่งพวกเขาได้พัฒนาอัลกอริทึมเวลาแบบโพลิโนเมียล (Polynomial Time Algorithm) สำหรับปัญหาที่ 1 และ 2 ส่วนปัญหาที่ 3 และ 4 ได้พัฒนาการประมาณอัลกอริทึม (Approximation Algorithm)

Lin (2008) ได้ออกแบบอัลกอริทึมโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming Algorithm) สำหรับหานโยบายการเติมเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาต้นทุนการเติมเชื้อเพลิงยานพาหนะที่น้อยที่สุดขณะเดินทางตามเส้นทางที่ถูกกำหนดไว้แล้ว และมีการรักษาระดับของเชื้อเพลิงตลอดเส้นทาง ซึ่งพิจารณาอัตราการบริโภคน้ำมันและราคาเชื้อตามเส้นทางที่เดินทาง

Yoshinori (2008) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็น โปรแกรมเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม (Mixed-Integer Linear Programming) เพื่อหารูปแบบการเติมเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด (Mathematical Form of Standard Fuel Optimizers) โดยมีจุดเติมเชื้อเพลิงอยู่ตามเส้นทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้ายที่สั้นที่สุด ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณา 7 ปัจจัย คือ

1. ปริมาณความจุของถังเชื้อเพลิงของรถบรรทุก
2. จุดเริ่มใช้เชื้อเพลิง
3. จุดที่เชื้อเพลิงหมด
4. ปริมาณเชื้อเพลิงที่เติมเป็นปริมาณต่ำที่สุด (เพื่อควบคุมความถี่ของจุดเติมเชื้อเพลิง)
5. อัตราการใช้เชื้อเพลิง
6. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุดที่ได้รับการไว้ทุกครั้ง
7. การออกนอกเส้นทางแต่ละครั้งเพื่อไปที่จุดเติมเชื้อเพลิง

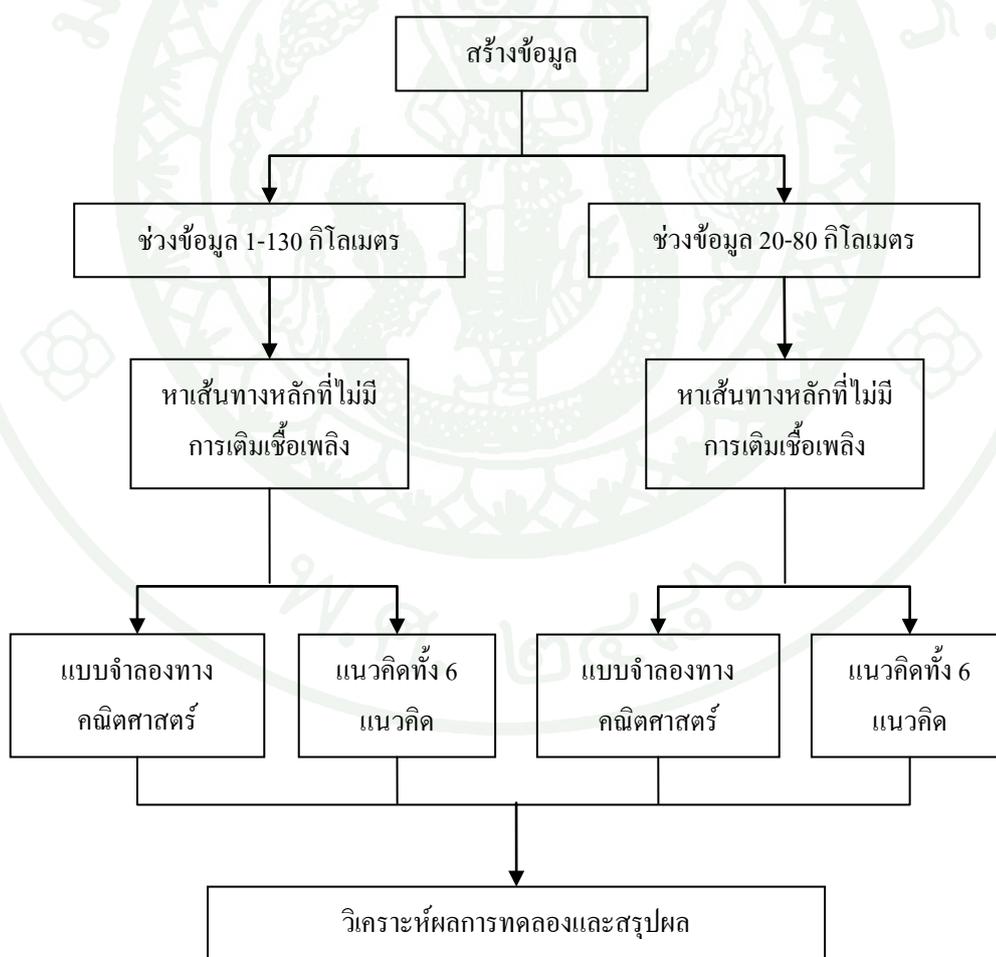
## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ Lenovo 1.66 GHz, RAM 1 GB
2. โปรแกรม MS-EXCEL: Premium Solver Platform Version Trial
3. โปรแกรม MATLAB

### วิธีการ

วิธีการในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบการทำงาน

## 1. การสร้างข้อมูล

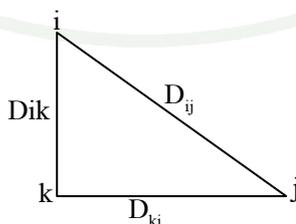
รูปแบบของข้อมูลที่สร้างในส่วนจุดลูกค้าไปจุดลูกค้าเป็นการสุ่มแบบไม่สมมาตร ซึ่งมีการกระจายตัวแบบ มีรูปแบบ (Uniform Distribution) และมีการประยุกต์ใช้สมการรูปสามเหลี่ยมในสมการที่ 1 โดยให้ระยะทางการเดินทางออกนอกเส้นทาง ไปเติมเชื้อเพลิงและกลับไปยังลูกค้ารายต่อไปนั้นควรมีระยะทางที่มากกว่าลูกค้าใดๆ เดินทางไปหาลูกค้าใดๆ โดยตรง เพื่อไม่ให้เกิดการเลือกเดินทางไปยังทางที่มีการเติมเชื้อเพลิงแทนการเดินทางตรงไปยังลูกค้ารายต่อไปและงานวิจัยนี้ได้มีการสร้างข้อมูลอยู่ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร และ 20 ถึง 80 กิโลเมตรช่วงระยะทางที่กำหนดระหว่างแต่ละจุดนี้จะต้องน้อยกว่าระยะทางไกลสุดที่รถสามารถเดินทางได้

$$D_{ik} + D_{kj} \geq D_{ij} \quad (2)$$

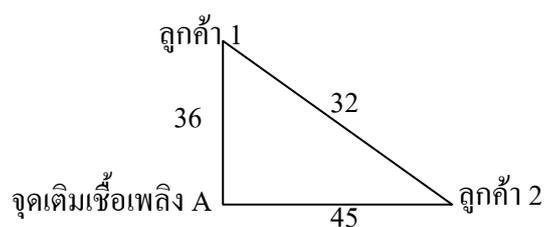
จากสมการที่ 1 นำมาประยุกต์ได้เป็นสมการที่ 2 เขียนรูปได้ดังภาพที่ 2 และแสดงตัวอย่างข้อมูลขนาดเล็กดังตารางที่ 1 และเขียนรูปประกอบได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งในตัวอย่างมีจุดลูกค้า 5 จุด และจุดเติมเชื้อเพลิง 3 จุด

กำหนดให้

- $i, j$  = จุดลูกค้า
- $k$  = จุดเติมเชื้อเพลิง
- $D_{ij}$  = ระยะทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ (กิโลเมตร)
- $D_{ik}$  = ระยะทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ (กิโลเมตร)
- $D_{kj}$  = ระยะทางจากจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ ถึงจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ (กิโลเมตร)



ภาพที่ 2 รูปแบบข้อมูลแบบสมการรูปสามเหลี่ยม



ภาพที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลแบบอสมการรูปสามเหลี่ยม

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูล

จาก/ไป	1	2	3	4	5	A	B	C
1	-	32	42	44	29	36	43	38
2	47	-	59	47	60	27	53	7
3	48	8	-	18	39	13	22	7
4	48	32	42	-	97	32	55	48
5	64	4	96	80	-	50	9	51
A	45	49	63	94	88			
B	99	16	95	71	84			
C	73	46	63	75	72			

## 2. การหาเส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิง

ในขั้นตอนนี้เป็นการทำงานหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงที่สั้นที่สุด โดยวิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขตด้วยรูปแบบสมการการเดินทางของพนักงานขายดังสมการที่ 2 ถึง 6

ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งข้อสมมติฐานในส่วนของพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวิธีสร้างแนวคิดในการออกนอกเส้นทางเพื่อเติมเชื้อเพลิงคือ ความเร็วในการขับขี่ของรถมีระยะทางคงที่ตลอดเส้นทางสภาพจราจรคล่องตัว อุปกรณ์และมาตรฐานของรถอยู่ในสภาพปกติ ณ จุดเริ่มต้น รถมีเชื้อเพลิงเต็มถึงทุกครั้งที่หยุดเติมเชื้อเพลิงจะต้องเติมเต็มถึงและปริมาณถึงเชื้อเพลิงเท่ากับ 150 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการกำหนดตามขนาดถัง CNG

เมื่อกำหนดให้

$i, j$  = จุดลูกค้า

$n$  = จำนวนลูกค้า ( $i = 1, 2, 3 \dots n$  และ  $j = 1, 2, 3 \dots n$ )

$X_{ij}$  = ตัวแปรตัดสินใจเลือกเดินทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ไปจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ  
เท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทาง จะเท่ากับ 0 เมื่อไม่เลือกเดินทาง

$D_{ij}$  = ระยะทางจากลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงลูกค้า  $j$  ใดๆ

โดยมีรูปแบบสมการการเดินทางของพนักงานขายดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, 3 \dots n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, 3 \dots n \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1 \quad \text{โดย } 2 \leq |S| \leq n - 1 \quad (5)$$

$$X_{ij} = \{0, 1\} \quad (6)$$

สมการเป้าหมายที่ 2 หาระยะทางรวมในการเดินทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ไปจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ ทั้งหมดที่สั้นที่สุด

สมการข้อจำกัดที่ 3 ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจที่เดินจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ไปยังจุดลูกค้า  $j$  มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงเดินทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ไปยังจุด  $j$  ใดๆ ได้เพียง 1 จุด

สมการข้อจำกัดที่ 4 ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจที่เดินทางออกจากจุดลูกค้า  $i$  ไปยังจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงเดินทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ไปยังจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ ได้เพียง 1 จุด

สมการข้อจำกัดที่ 5 สมการกำจัดทัวร์ย่อย (Sub Tour Eliminate) โดย  $S$  เป็นเซตของทัวร์ย่อย ที่เกิดการครบรอบขณะที่ลำดับการเดินทางไม่ผ่านจุดทั้งหมด และ  $|S|$  เป็นปริมาณจุดของลูกค้าในทัวร์ย่อย

สมการข้อจำกัดที่ 6 ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีการเดินทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ไปยังจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่เป็นตามเงื่อนไข

จากตัวอย่างตารางที่ 1 สามารถหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดระหว่างลูกค้ากับลูกค้าที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิง

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)
1	5	29	29
5	2	4	33
2	3	59	92
3	4	18	110
4	1	48	158

### 3. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้เส้นทางหลักที่สั้นที่สุดที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงแล้ว นำเส้นทางนั้นมาจัดเรียงลำดับใหม่ โดยมีวิธีจัดเรียงดังภาพที่ 4 จากนั้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเลือกออกเดินทางไปเติมเชื้อเพลิง ณ จุดเติมเชื้อเพลิงใดๆ ที่ทำให้ได้ระยะเวลารวมในการเดินทางน้อยที่สุด

เส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิง		เรียกเป็นจุดที่	จัดลำดับใหม่	
จาก	ไป		จาก	ไป
1	5	→	1	2
5	2		2	3
2	3		3	4
3	4		4	5
4	1		5	1

ภาพที่ 4 การจัดเรียงลำดับเส้นทางใหม่

เมื่อกำหนดให้

$i, j$  = จุดลูกค้า

$k$  = จุดเติมเชื้อเพลิง

$N$  = จำนวนจุดลูกค้า ( $i = 1, 2, 3 \dots N$  และ  $j = 1, 2, 3 \dots N$ )

$M$  = จำนวนจุดเติมเชื้อเพลิง ( $k = a, b, c \dots M$ )

ตัวแปร

$Y_{ij}$  = ตัวแปรตัดสินใจการเดินทางซึ่งหากเลือกเดินทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ จะเท่ากับ 1 ถ้าไม่จะเท่ากับ 0

$Y_{ik}$  = ตัวแปรตัดสินใจการเดินทางซึ่งหากเลือกเดินทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ จะเท่ากับ 1 ถ้าไม่จะเท่ากับ 0

$Y_{kj}$  = ตัวแปรตัดสินใจการเดินทางซึ่งหากเลือกเดินทางจากจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ ถึงจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ จะเท่ากับ 1 ถ้าไม่จะเท่ากับ 0

$L_{ij}$  = ระยะทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ (กิโลเมตร)

$L_{ik}$  = ระยะทางจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ (กิโลเมตร)

$L_{kj}$  = ระยะทางจากจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ ถึงจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ (กิโลเมตร)

$P_i$  = ปริมาณเชื้อเพลิงที่เติมหลังจากเดินทางออกมาจาก  $i$  ใดๆ (กิโลกรัม)

$F_i$  = ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุดลูกค้า  $i$  ใดๆ (กิโลกรัม)

- $F_j$  = ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุดลูกค้า  $j$  ใดๆ (กิโลกรัม)  
 $C$  = ขนาดถังบรรจุเชื้อเพลิง (150 กิโลกรัม)  
 $T$  = ระยะเวลาที่ใช้ในการเติมเชื้อเพลิงแต่ละครั้ง (10 นาที)  
 $t$  = อัตราการเดินทาง (1 กิโลเมตร ต่อ 1 นาที)  
 $f$  = อัตราการใช้เชื้อเพลิง (1 กิโลเมตรต่อ 1 กิโลกรัม)

โดยมีรูปแบบสมการการเดินทางของพนักงานขายดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min } Z = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N Y_{ij} L_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{k=a}^M Y_{ik} L_{ik} + \sum_{k=a}^M \sum_{j=1}^N Y_{kj} L_{kj} \right]}{t} + \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{k=a}^M Y_{ik} T \right] \quad (7)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^N Y_{ij} + \sum_{k=a}^M Y_{ik} = 1 \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3 \dots N \quad (8)$$

$$Y_{ik} = Y_{kj} \quad (9)$$

เมื่อ  $i = 1, 2, 3 \dots N-1$  และ  $j = i+1$  และเมื่อ  $i = N$  และ  $j = 1$

$$F_i = C \quad \text{เมื่อ } i=1 \quad (10)$$

$$F_i - \frac{\sum_{k=a}^M Y_{ik} L_{ik}}{f} \geq 0 \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3 \dots N \quad (11)$$

$$F_i - \frac{\sum_{k=a}^M Y_{ik} L_{ik}}{f} + P_i \leq C \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3 \dots N \quad (12)$$

$$F_i - \frac{\sum_{k=a}^M Y_{ik} L_{ik}}{f} + P_i \geq \sum_{k=a}^M Y_{ik} C \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3 \dots N \quad (13)$$

$$P_i \leq Y_{ik} C \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3 \dots N \text{ และ } k = a, b, c \dots M \quad (14)$$

$$F_i - \frac{\sum_{k=a}^M Y_{ij} L_{ij}}{f} - \frac{\sum_{k=a}^M Y_{ik} L_{ik}}{f} + P_i - \frac{\sum_{k=a}^M Y_{kj} L_{kj}}{f} = F_j \quad (15)$$

เมื่อ  $i = 1, 2, 3 \dots N-1$  และ  $j = i+1$  และเมื่อ  $i = N$  และ  $j = 1$

$$F_j \geq 0 \quad \text{เมื่อ } j = 1, 2, 3 \dots N \quad (16)$$

$$Y_{ij}, Y_{ik}, Y_{kj} = \{0,1\} \quad (17)$$

สมการเป้าหมายที่ 7 ผลรวมระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่น้อยที่สุดจาก 2 ส่วน คือ ระยะเวลาในการเดินทางรวม จากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ และ จุดลูกค้า  $i$  ใดๆ ถึงจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ และจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ ถึงจุดเติมเชื้อเพลิง  $j$  ใดๆ ส่วนที่ 2 คือระยะเวลาที่ใช้ในการเติมเชื้อเพลิงทั้งหมด

สมการข้อจำกัดที่ 8 การเดินทางออกจากจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ สามารถเลือกเส้นทางใดทางหนึ่งได้จาก 2 เส้นทาง คือ เลือกไปยังลูกค้า  $j$  ใดๆ โดยตรง หรือเลือกไปจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ

สมการข้อจำกัดที่ 9 เมื่อจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ มีการตัดสินใจเลือกเดินทางไปจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ ก็ต้องเดินทางออกจากจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  นั้นเพื่อไปยังจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ

สมการข้อจำกัดที่ 10 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจะเต็มถึง ณ จุดเริ่มต้น ( $i = 1$ )

สมการข้อจำกัดที่ 11 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุดลูกค้า  $i$  ใดๆ เมื่อเลือกเดินทางไปเติมเชื้อเพลิง รถจะต้องมีปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือเพียงพอที่จะไปถึงจุดเติมเชื้อเพลิง

สมการข้อจำกัดที่ 12 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุดลูกค้า  $i$  ใดๆ เมื่อเลือกเดินทางไปเติมเชื้อเพลิงจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ และเติมเชื้อเพลิงแล้วต้องมีปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมดจะต้องไม่เกินปริมาณถังเชื้อเพลิง

สมการข้อจำกัดที่ 13 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุดลูกค้า  $i$  ใดๆ เมื่อเลือกเดินทางไปเติมเชื้อเพลิงจุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ และเติมเชื้อเพลิงแล้วต้องมีปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมดเต็มถังเชื้อเพลิง สมการนี้สร้างขึ้นเพื่อให้มีการเติมเชื้อเพลิงเต็มถังเชื้อเพลิง

สมการข้อจำกัดที่ 14 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เติมหลังจากเดินทางออกมาจาก  $i$  ใดๆ จะต้องน้อยกว่าปริมาณเชื้อเพลิงในถังเชื้อเพลิง

สมการข้อจำกัดที่ 15 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุดลูกค้า  $j$  ใดๆ เป็นเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเลือกเดินทางจาก 2 เส้นทาง คือการเลือกเดินทางจากจุดลูกค้าก่อนหน้า หรือจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ เดินทางมาโดยตรงที่จุดลูกค้า  $j$  ใดๆ โดยไม่มีการเติมเชื้อเพลิงเส้นทางที่ 2 คือ การเลือกเดินทางจุดลูกค้าก่อนหน้า หรือจุดลูกค้า  $i$  ใดๆ มีการเดินทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิง  $k$  ใดๆ ก่อน จากนั้นจึงเดินทางไปยังจุดลูกค้า  $j$  ใดๆ โดยไม่ผ่านเส้นทางที่เดินทางมาที่จุดลูกค้า  $j$  ใดๆ โดยตรง

สมการข้อจำกัดที่ 16 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุด  $j$  ใดๆ จะต้องไม่น้อยกว่าเชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด ซึ่งเชื้อเพลิงจะเหลือน้อยที่สุด คือ การใช้เชื้อเพลิงหมดถังพอดี

สมการข้อจำกัดที่ 17 ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทางจากจุดใดๆ ไปยังจุดใดๆ และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ ไม่เลือกเส้นทางนั้น

จากตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อได้เส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงดังตารางที่ 2 และนำมาจัดเรียงลำดับใหม่จากนั้นนำมาประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ผลดังตารางที่ 3 คือ เมื่อรถออกจากจุดเริ่มต้นด้วยเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งสามารถเดินทางได้ 150 กิโลเมตร เมื่อเดินทางไปถึงลูกค้าที่ 3 จึงออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิง C แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้าต่อไป (ลูกค้าที่ 4) ซึ่งมีเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 1 ครั้ง

### ตารางที่ 3 การเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	2	29	29	29
2	3	4	33	33
3	C	7	<b>40</b>	<b>40</b>
C	4	<b>63</b>	<b>103</b>	<b>113</b>
4	5	18	121	131
5	1	48	169	179

#### 4. แนวคิดในการออกนอกเส้นทางเพื่อเติมเชื้อเพลิง

ขั้นนี้เป็นการสร้างแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด เพื่อเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง โดยใช้เส้นทางหลักเป็นเส้นทางที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงจากขั้นตอนที่ 2 การสร้างแนวคิดทั้ง 6 แนวคิดนี้เพื่อเป็นทางเลือกแทนการใช้วิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลนาน

- โดยกำหนดให้
- ขนาดถังบรรจุเชื้อเพลิง (150 กิโลกรัม)
  - ระยะเวลาเวลาที่ใช้ในการเติมเชื้อเพลิงแต่ละครั้ง (10 นาที)
  - อัตราการเดินทาง (1 กิโลเมตร ต่อ 1 นาที)
  - อัตราการใช้เชื้อเพลิง (1 กิโลเมตรต่อ 1 กิโลกรัม)

4.1 เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ให้เลือกจุดเติมเชื้อเพลิงที่ใกล้จุดลูกค้าจุดนี้มากที่สุด ดังภาพที่ 5 เมื่อจุดลูกค้าที่ 1 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ดังนั้น

จากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A ระยะทาง 2 กิโลเมตร

จากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B ระยะทาง 4 กิโลเมตร

สรุปได้ว่าจากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A ใกล้กว่าเลือกเดินทางไปจุดเติมเชื้อเพลิง B ดังนั้นจึงเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง A



ภาพที่ 5 การเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1

จากตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อได้เส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำมาประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ผลดังตารางที่ 4 คือเมื่อรถออกจากจุดเริ่มต้นด้วยเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งสามารถเดินทางได้ 150 กิโลเมตร เมื่อเดินทางไปถึงลูกค้าที่ 3 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิง C แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้าต่อไป (ลูกค้าที่ 1) ซึ่งมีเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 10 นาทีต่อครั้ง

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	29	29	29
5	2	4	33	33
2	4	47	80	80
4	3	42	122	122
3	C	7	129	129
C	1	73	202	212

4.2 เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ให้เลือกไปที่จุดเติมเชื้อเพลิงที่ใกล้จุดลูกค้าต่อไปมากที่สุด ดังภาพที่ 6 เมื่อจุดลูกค้าที่ 1 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้

จากจุดเติมเชื้อเพลิง A ไปจุดลูกค้า 2 ระยะทาง 4 กิโลเมตร

จากจุดเติมเชื้อเพลิง B ไปจุดลูกค้า 2 ระยะทาง 2 กิโลเมตร

สรุปได้ว่าจากจุดเติมเชื้อเพลิง B ไปจุดจุดลูกค้า 2 ใกล้เคียงกว่าเดินทางมาจากจุดเติมเชื้อเพลิง A ดังนั้นจึงเลือกเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง B



ภาพที่ 6 การเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2

จากตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อได้เส้นทางหลักที่ไม่มีจุดเติมเชื้อเพลิงตั้งตารางที่ 2 จากนั้นนำมาประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ผลดังตารางที่ 5 คือเมื่อรถออกจากจุดเริ่มต้นด้วยเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งสามารถเดินทางได้ 150 กิโลเมตร เมื่อเดินทางไปถึงลูกค้าที่ 3 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิง A แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้าต่อไป (ลูกค้าที่ 1) ซึ่งมีเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 10 นาทีต่อครั้ง

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	29	29	29
5	2	4	33	33
2	4	47	80	80
4	3	42	122	122
3	A	13	135	135
A	1	45	180	190

4.3 เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ให้เลือกระยะทางรวมที่น้อยที่สุดที่ออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงและเดินทางไปยังจุดต่อไปดังภาพที่ 7 เมื่อจุดลูกค้าที่ 1 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้

จากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A และเดินทางไปยังจุดลูกค้า 2 ระยะทางรวม  $2 + 4 = 6$  กิโลเมตร

จากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B และเดินทางไปยังจุดลูกค้า 2 ระยะทางรวม  $3 + 2 = 5$  กิโลเมตร

สรุปได้ว่าจากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B และเดินทางไปยังลูกค้าที่ 2 ระยะทางรวม 5 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่ใกล้กว่าเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิง A ดังนั้นจึงเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง B



ภาพที่ 7 การเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3

จากตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อได้เส้นทางหลักที่ไม่มีจุดเติมเชื้อเพลิงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำมาประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ผลดังตารางที่ 6 คือเมื่อรถออกจากจุดเริ่มต้นด้วยเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งสามารถเดินทางได้ 150 กิโลเมตร เมื่อเดินทางไปถึงลูกค้าที่ 3 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิง A แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้าต่อไป (ลูกค้าที่ 1) ซึ่งมีเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 10 นาทีต่อครั้ง

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	29	29	29
5	2	4	33	33
2	4	47	80	80
4	3	42	122	122
3	A	13	135	135
A	1	45	180	190

4.4 แนวคิดนี้เป็นการขยายแนวคิดที่ 3 คือ เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ให้เลือกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงและเดินทางไปยังจุดต่อไปที่สั้นที่สุดแบบแนวคิดที่ 3 และเพิ่มการเปรียบเทียบ คือ เปรียบเทียบที่จุดลูกค้าที่ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้อีกกับจุดลูกค้าก่อนหน้าดังกล่าวที่ 8 เมื่อจุดลูกค้าที่ 2 ไม่สามารถไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ จึงทำการเปรียบเทียบระยะทางการเดินทางจากจุดลูกค้าไปจุดเติมเชื้อเพลิงใดๆ และเดินทางไปยังจุดลูกค้าต่อไป กำหนดให้จุดลูกค้าที่ 2 เป็นจุดลูกค้าที่ไม่สามารถเดินทางไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ ดังนี้

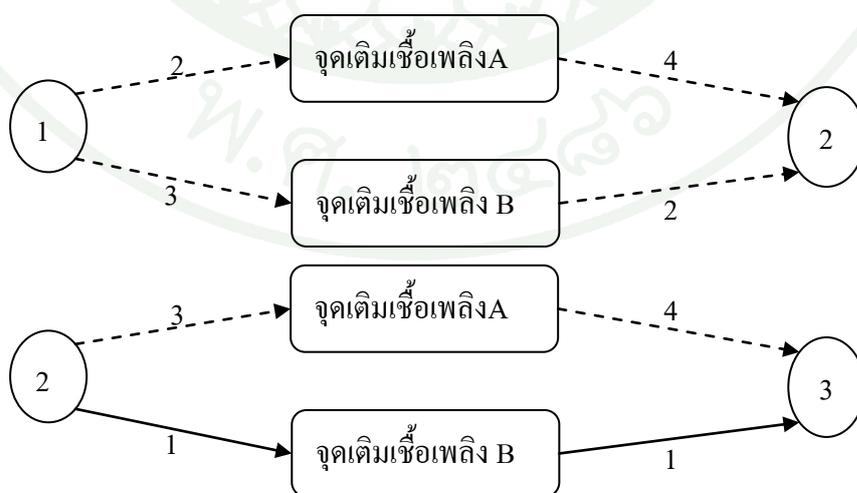
จากจุดลูกค้าที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A และไปยังจุดลูกค้าต่อไป (จุดลูกค้าที่ 3) มีระยะทางรวม  $3+4 = 7$  กิโลเมตร

จากจุดลูกค้าที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B และไปยังจุดลูกค้าต่อไป (จุดลูกค้าที่ 3) มีระยะทางรวม  $1+1 = 2$  กิโลเมตร

จากจุดลูกค้าที่ 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A และไปยังจุดลูกค้าต่อไป (จุดลูกค้าที่ 2) มีระยะทางรวม  $2+4 = 6$  กิโลเมตร

จากจุดลูกค้าที่ 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B และไปยังจุดลูกค้าต่อไป (จุดลูกค้าที่ 2) มีระยะทางรวม  $3+2 = 5$  กิโลเมตร

สรุปได้ว่าจากจุดลูกค้าที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B และเดินทางไปยังลูกค้าที่ 3 มีระยะทางรวม 2 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่ใกล้ที่สุด ดังนั้นเลือกให้จุดลูกค้าที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B โดยจุดเติมเชื้อเพลิง A และ B ที่จุดลูกค้า 1 และ 2 จะต้องเลือกนั้นเป็นจุดเติมเชื้อเพลิงเดียวกัน



ภาพที่ 8 การเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4

จากตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อได้เส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำมาประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ผลดังตารางที่ 7 คือเมื่อรถออกจากจุดเริ่มต้นด้วยเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งสามารถเดินทางได้ 150 กิโลเมตร เมื่อเดินทางไปถึงลูกค้ำที่ 3 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิง A แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้ำต่อไป (ลูกค้ำที่ 1) ซึ่งมีเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 10 นาทีต่อครั้ง

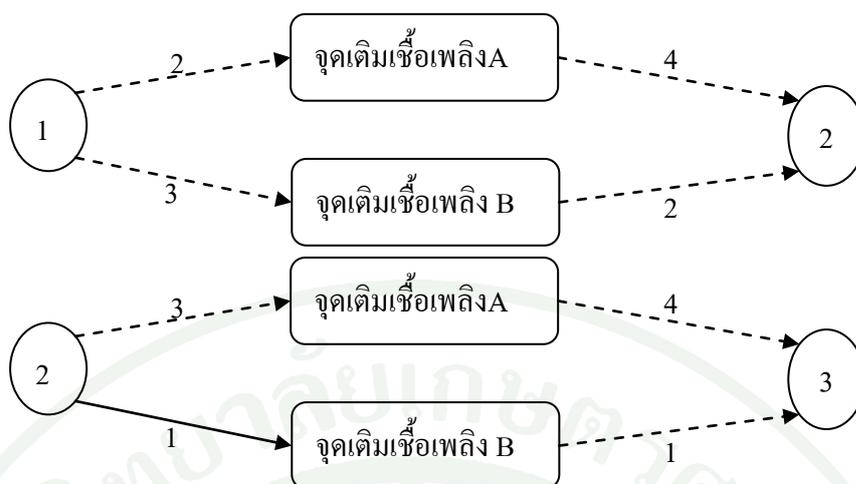
ตารางที่ 7 ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	29	29	29
5	2	4	33	33
2	4	47	80	80
4	3	42	122	122
3	A	13	135	135
A	1	45	180	190

4.5 แนวคิดนี้เป็นการขยายแนวคิดที่ 1 คือ เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้ำต่อไปได้ให้เลือกจุดเติมเชื้อเพลิงที่ใกล้จุดลูกค้ำจุดนี้มากที่สุด แบบแนวคิดที่ 1 และเพิ่มการเปรียบเทียบ คือ เปรียบเทียบที่จุดลูกค้ำที่ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้อีกกับจุดลูกค้ำก่อนหน้าดังภาพที่ 9 เมื่อจุดลูกค้ำที่ 2 ไม่สามารถไปยังจุดลูกค้ำต่อไปได้ จึงทำการเปรียบเทียบระยะทางการเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิงใดๆ ณ จุดลูกค้ำที่ 2 กับจุดลูกค้ำก่อนหน้า หรือ จุดลูกค้ำที่ 1 ดังนี้

จากจุดลูกค้ำที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A มีระยะทาง 3 กิโลเมตร  
 จากจุดลูกค้ำที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B มีระยะทาง 1 กิโลเมตร  
 จากจุดลูกค้ำที่ 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A มีระยะทาง 2 กิโลเมตร  
 จากจุดลูกค้ำที่ 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B มีระยะทาง 3 กิโลเมตร

สรุปได้ว่าจากจุดลูกค้ำที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B มีระยะทาง 1 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่ใกล้ที่สุด ดังนั้นเลือกให้จุดลูกค้ำที่ 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B โดยจุดเติมเชื้อเพลิง A และ B ที่จุดลูกค้ำ 1 และ 2 จะต้องเลือกนั้นเป็นจุดเติมเชื้อเพลิงเดียวกัน



ภาพที่ 9 การเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5

จากตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อได้เส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำมาประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ผลดังตารางที่ 8 คือเมื่อรถออกจากจุดเริ่มต้นด้วยเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งสามารถเดินทางได้ 150 กิโลเมตร เมื่อเดินทางไปถึงลูกค้าที่ 3 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเติมเชื้อเพลิง C แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้าต่อไป (ลูกค้าที่ 1) ซึ่งมีเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 10 นาทีต่อครั้ง

ตารางที่ 8 ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5

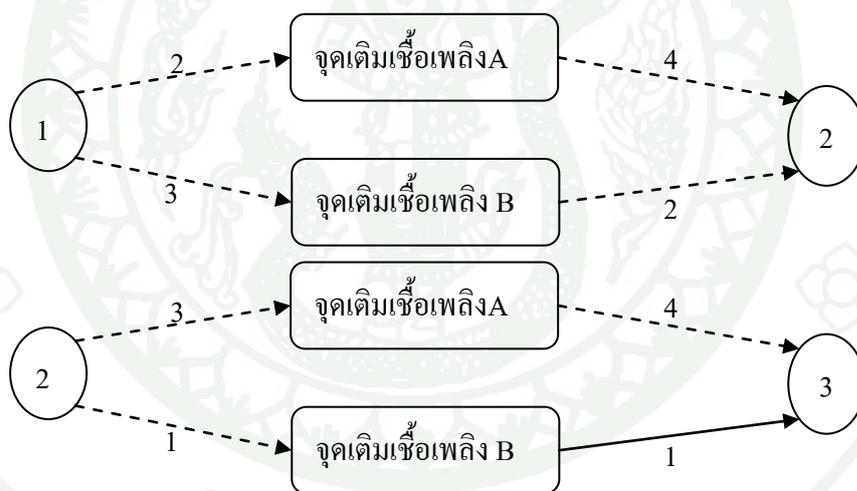
จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	29	29	29
5	2	4	33	33
2	4	47	80	80
4	3	42	122	122
3	C	7	129	129
C	1	73	202	212

4.6 แนวคิดนี้เป็นการขยายแนวคิดที่ 2 คือ เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ให้เลือกจุดเติมเชื้อเพลิงที่ใกล้จุดลูกค้าต่อไปมากที่สุด แบบแนวคิดที่ 2 และเพิ่มการเปรียบเทียบ คือ เปรียบเทียบระยะทางจากจุดเติมเชื้อเพลิงที่เดินทางไปจุดลูกค้าต่อไปกับระยะทางจากจุดเติม

เชื้อเพลิงที่เดินทางไปจุดลูกค้าที่ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ ดังภาพที่ 10 เมื่อจุดลูกค้าที่ 2 เป็นจุดลูกค้าที่ไม่สามารถเดินทางไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ จึงทำการเปรียบเทียบระยะทางการเดินทางจากจุดเดิมเชื้อเพลิงใดๆ ไปจุดลูกค้าที่ 2 กับจุดลูกค้าต่อไปหรือ จุดลูกค้าที่ 3 ดังนี้

- จากจุดเดิมเชื้อเพลิง A ไปจุดลูกค้าที่ 2 มีระยะทาง 4 กิโลเมตร
- จากจุดเดิมเชื้อเพลิง B ไปจุดลูกค้าที่ 2 มีระยะทาง 2 กิโลเมตร
- จากจุดเดิมเชื้อเพลิง A ไปจุดลูกค้าที่ 3 มีระยะทาง 4 กิโลเมตร
- จากจุดเดิมเชื้อเพลิง B ไปจุดลูกค้าที่ 3 มีระยะทาง 1 กิโลเมตร

สรุปได้ว่าจากจุดเดิมเชื้อเพลิง B ไปจุดลูกค้าที่ 3 มีระยะทาง 1 กิโลเมตรซึ่งเป็นระยะทางที่ใกล้ที่สุด ดังนั้นเลือกให้จุดลูกค้าที่ 2 ไปจุดเดิมเชื้อเพลิง B โดยจุดเดิมเชื้อเพลิง A และ B ที่จุดลูกค้า 1 และ 2 จะต้องเลือกนั้นเป็นจุดเดิมเชื้อเพลิงเดียวกัน



ภาพที่ 10 การเลือกจุดเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6

จากตัวอย่างข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อได้เส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำมาประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้ผลดังตารางที่ 8 คือเมื่อรถออกจากจุดเริ่มต้นด้วยเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งสามารถเดินทางได้ 150 กิโลเมตร เมื่อเดินทางไปถึงลูกค้าที่ 3 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงที่จุดเดิมเชื้อเพลิง C แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้าต่อไป (ลูกค้าที่ 1) ซึ่งมีเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 10 นาทีต่อครั้ง

ตารางที่ 9 ตัวอย่างการเดินทางออกไปเติมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	29	29	29
5	2	4	33	33
2	4	47	80	80
4	3	42	122	122
3	A	13	135	135
A	1	45	180	190

ในการเลือกแนวคิดจากแนวคิดทั้ง 6 อาจเกิดกรณีพิเศษ 3 กรณี คือ

1. หากมีค่าระยะทางที่เป็นเงื่อนไขในการเลือกมีค่าเท่ากัน กำหนดให้ว่าเลือกเส้นทางใดก็ได้ตัวอย่างเช่น แนวคิดที่ 1 เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้าต่อไปได้ให้เลือกจุดเติมเชื้อเพลิงที่ใกล้จุดลูกค้าจุดนี้มากที่สุด ดังภาพที่ 11 เมื่อจุดลูกค้าที่ 1 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ดังนั้น

จากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A ระยะทาง 2 กิโลเมตร

จากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B ระยะทาง 2 กิโลเมตร

สรุปได้ว่าจากจุดลูกค้า 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง A เท่ากับเลือกเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิง B ดังนั้นสามารถเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง A หรือ B ก็ได้



ภาพที่ 11 ตัวอย่างการเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงกรณีพิเศษที่ 1

2. หากจากจุดลูกค้าที่ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้นั้น มีปริมาณเชื้อเพลิงไม่เพียงพอที่จะเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิงที่เลือกได้ให้เลือกจุดเติมเชื้อเพลิงอันดับรองลงมาที่จุดลูกค้านั้นมีเชื้อเพียงพอที่สามารถเดินทางไปถึงได้ด้วยอย่างเช่นแนวคิดที่ 3 เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้านั้นต่อไปได้ ให้เลือกกระยะทางรวมที่น้อยที่สุดที่ออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงและเดินทางไปยังจุดต่อไปดังภาพที่ 12 เมื่อจุดลูกค้านั้น 1 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้

โดยหลักการจากแนวคิดที่ 3 จะต้องเลือกเดินทางจากจุดลูกค้านั้น 1 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B และเดินทางไปยังลูกค้านั้น 2 ระยะทางรวม 5 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่ใกล้กว่าเลือกเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิง A ดังนั้นจึงเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง B แต่หากกรณีที่ปริมาณเชื้อเพลิงในถัง ณ จุดลูกค้านั้น 1 เหลือเพียงพอที่จะเดินทางได้แค่ 2 กิโลเมตร ทำให้สรุปว่าจากจุดลูกค้านั้น 1 เลือกไปเติมเชื้อเพลิง ณ จุดเติมเชื้อเพลิง A และเดินทางไปยังลูกค้านั้น 2 ระยะทางรวม 6 กิโลเมตร

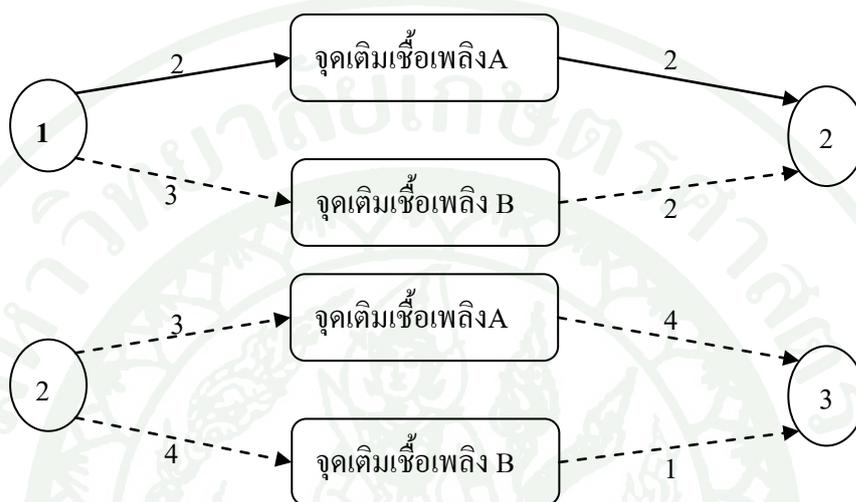


ภาพที่ 12 ตัวอย่างการเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงกรณีพิเศษที่ 2

3. หากจากจุดลูกค้านั้นที่ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้นั้น มีปริมาณเชื้อเพลิงไม่เพียงพอที่จะเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิงที่เลือกได้ให้เลือกจุดเติมเชื้อเพลิงอันดับรองลงมาที่จุดลูกค้านั้นมีเชื้อเพียงพอที่สามารถเดินทางไปถึงได้ดังกรณีที่ 2 แต่หากจุดลูกค้านั้นมีเชื้อเพลิงไม่เพียงพอที่จะเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิงใดๆ ได้เลย ให้เลื่อนไปพิจารณาจุดลูกค้านั้นหน้าแทนตัวอย่างเช่นแนวคิดที่ 3 เมื่อไม่สามารถไปยังจุดลูกค้านั้นต่อไปได้ให้เลือกกระยะทางรวมที่น้อยที่สุดที่ออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงและเดินทางไปยังจุดต่อไปดังภาพที่ 13 เมื่อจุดลูกค้านั้น 2 ไม่สามารถเดินทางต่อไปได้

โดยหลักการจากแนวคิดที่ 3 จะต้องเลือกเดินทางจากจุดลูกค้านั้น 2 ไปจุดเติมเชื้อเพลิง B และเดินทางไปยังลูกค้านั้น 3 ระยะทางรวม  $4 + 1 = 5$  กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดฉะนั้นจึงเลือกจุดเติมเชื้อเพลิง B แต่หากกรณีที่ปริมาณเชื้อเพลิงในถัง ณ จุดลูกค้านั้น 2 เหลือเพียงพอที่จะเดินทาง

ได้แค่ 2 กิโลเมตร ดังนั้นจากจุดลูกค้าที่ 2 ไม่สามารถเดินทางไปยังจุดเติมเชื้อเพลิงใดๆ ได้เลย จึงต้องพิจารณาจุดลูกค้าก่อนหน้า คือ จุดลูกค้าที่ 1 พบว่าจากจุดลูกค้าที่ 1 เดินทางไปจุดเติมเชื้อเพลิง A และเดินทางไปยังจุดลูกค้าต่อไป หรือ จุดลูกค้าที่ 2 ระยะทางรวม  $2 + 2 = 4$  กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด สรุปว่าจากจุดลูกค้าที่ 1 เลือกไปเติมเชื้อเพลิง ณ จุดเติมเชื้อเพลิง A



ภาพที่ 13 ตัวอย่างการเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงกรณีพิเศษที่ 3

กรณีพิเศษที่เกิดขึ้นในข้อมูลที่น่ามาวิจัยนั้น ในชุดข้อมูลหนึ่งๆ อาจเกิดกรณีพิเศษได้มากกว่า 1 กรณี หรือไม่เกิดก็ได้

## 5. ประมวลผลแบบจำลองที่สร้างขึ้น

ข้อมูลที่สร้างขึ้นมาจะมีจำนวนจุดลูกค้า 13 จุด จุดเติมเชื้อเพลิง 7 จุด แบ่งเป็น 2 ช่วงข้อมูล คือ ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตรและช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร ช่วงข้อมูลละ 30 ชุดข้อมูล จากนั้นประมวลผลเพื่อเส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิง โดยใช้วิธีแตกกิ่งและมีขอบเขตเพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุด และจึงมีการคำนวณเพื่อเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด จากนั้นเปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการประมวลผล โดยเปรียบเทียบระยะทางและระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่น้อยที่สุด ระหว่างวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด

## ผลและวิจารณ์

### ผล

จากการประมวลผลข้อมูลทั้ง 2 ช่วงชุดข้อมูล คือ ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตรและช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตรโดยใช้จำนวนข้อมูล 30 ชุดข้อมูลในการประมวลผลแต่ละช่วงข้อมูล และจำนวนจุดลูกค้า 13 จุด จุดเดิมเชื่อเพลิง 7 จุด ได้ผลดังตาราง 10 ถึง 13

**ตารางที่ 10** ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางโดยวิธีการสร้างแบบจำลองช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร

วิธีการ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา (นาที)
เส้นทางหลักที่ไม่มีการเดิมเชื่อเพลิง	170.40	170.40
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	226.80	237.13

**ตารางที่ 11** ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร

แนวคิด	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา (นาที)
1	276.77	288.77
2	267.10	278.77
3	266.57	278.23
4	262.10	274.10
5	275.87	288.20
<b>6</b>	<b>256.30</b>	<b>267.63</b>

การประมวลผลในช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร ซึ่งเป็นการหาค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางโดยใช้จำนวนข้อมูล 30 ชุดข้อมูลโดยการหาระยะทางเส้นทางหลักที่ไม่มี การเดิมเชื่อเพลิง จากนั้นนำไปคำนวณการเลือกเดินทางออกนอกเส้นทางไปเดิมเชื่อเพลิงด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ผลดังตารางที่ 1 และการใช้แนวคิดทั้ง 6 แนวคิด ได้ผลดังตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางโดยวิธีการสร้างแบบจำลอง ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร

วิธีการ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา (นาที)
เส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิง	321.80	321.80
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	411.13	433.80

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางทั้ง 6 แนวคิด ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร

แนวคิด	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา (นาที)
1	475.73	503.07
2	437.30	460.63
3	437.47	461.13
<b>4</b>	<b>433.83</b>	<b>459.50</b>
5	475.37	502.70
6	437.10	460.77

การประมวลผล ในช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร ซึ่งเป็นการหาค่าเฉลี่ยรวมของระยะทาง และเวลาในการเดินทางโดยใช้จำนวนข้อมูล 30 ชุดข้อมูล โดยการหาระยะทางเส้นทางหลัก จากนั้น นำไปคำนวณการเลือกเดินทางออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิง ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ผลดังตารางที่ 12 และการใช้แนวคิดทั้ง 6 แนวคิดได้ผลดังตารางที่ 13 ตามลำดับ

จากตารางที่ 14 การเปรียบเทียบจำนวนจุดเติมเชื้อเพลิงที่เลือกหยุดเติมเชื้อเพลิง โดยเฉลี่ย ของวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และแนวคิดทั้ง 6 ในแต่ละช่วงข้อมูล ช่วงข้อมูลละ 30 ชุดข้อมูล

ตารางที่ 14 จำนวนจุดเดิมเชื่อเพลิงที่หยุดเดิมเชื่อเพลิง โดยเฉลี่ย

วิธีการแก้ปัญหา	จำนวนจุดเดิมเชื่อเพลิงที่หยุดเดิมเชื่อเพลิง (จุด)	
	ช่วงข้อมูล 1- 130 กม.	ช่วงข้อมูล 20- 80 กม.
วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	1.0	2.3
แนวคิด 1	1.2	2.7
แนวคิด 2	1.2	2.3
แนวคิด 3	1.2	2.4
แนวคิด 4	1.2	2.6
แนวคิด 5	1.2	2.7
แนวคิด 6	1.1	2.4

ตารางที่ 15 เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพ

จำนวนจุด ลูกค้า (จุด)	จำนวนจุดเดิม เชื่อเพลิง (จุด)	วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	เวลาในการประมวลผลข้อมูล (วินาที)					
			แนวคิด					
			1	2	3	4	5	6
13	7	5.0	1.7	2.0	1.7	1.7	1.7	2.0
30	5	9.7	1.0	2.0	1.7	1.7	1.0	2.0
30	10	14.7	2.3	2.3	2.0	2.0	2.3	2.3
30	15	34.7	2.7	2.3	2.7	3.0	3.0	3.0

จากตารางที่ 15 เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด ในการออกนอกเส้นทางไปเดิมเชื่อเพลิง โดยเปรียบเทียบระยะเวลาในการประมวลผลกับวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 2 วิธี ซึ่งใช้ข้อมูลทดสอบ 3 ชุดข้อมูล ในช่วง 1-130 กิโลเมตร คือ จำนวนจุดลูกค้า 30 จุด จำนวนจุดเดิมเชื่อเพลิง 5 10 และ 15 จุดตามลำดับ และได้นำมาเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่มีจุดลูกค้า 13 จุด จำนวนจุดเดิมเชื่อเพลิง 7 จุด โดยค่าที่ได้เฉลี่ยจาก 30 ชุดข้อมูล จากการทดลองในช่วงข้อมูล 1-130 กิโลเมตร ในตารางที่ 16 เป็นระยะเวลารวมเฉลี่ยในการเดินทางของแต่ละชุดข้อมูล ซึ่งมีการหาเปอร์เซ็นต์ความต่างของระยะทางของแนวคิดที่ดีที่สุด

กับการใช้วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และในตารางที่ 17 แสดงจำนวนจุดเต็มเชื่อเพลิงเฉลี่ยในแต่ละชุดข้อมูล

ตารางที่ 16 ระยะเวลาเฉลี่ยในการเดินทางของการทดสอบประสิทธิภาพ

จำนวนจุด ถูกค่า (จุด)	จำนวนจุด เต็ม เชื่อเพลิง (จุด)	เส้นทาง ที่ไม่มี การเติม เชื่อเพลิง	เส้นทาง แบบจำลอง คณิตศาสตร์	ระยะเวลาในการเดินทาง (นาที)						% ความต่าง
				แนวคิด						
				1	2	3	4	5	6	
13	7	170.4	237.1	288.8	278.8	278.2	274.1	288.2	<b>267.6</b>	12.9
30	5	201.3	266.3	514.3	511.7	<b>505.7</b>	<b>505.7</b>	508.3	514.3	89.9
30	10	205.7	266.7	486.7	480.7	475.0	<b>474.7</b>	477.0	486.7	78.0
30	15	191.0	277.3	446.3	432.0	432.3	<b>420.0</b>	446.3	421.3	51.4

ตารางที่ 17 จำนวนจุดเต็มเชื่อเพลิงเฉลี่ยในการเดินทางของการทดสอบประสิทธิภาพ

จำนวนจุด ถูกค่า (จุด)	จำนวนจุดเต็ม เชื่อเพลิง (จุด)	แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์	จำนวนจุดเต็มเชื่อเพลิง (จุด)					
			แนวคิด					
			1	2	3	4	5	6
30	5	1	3	3	3	3	3	3
30	10	1	3	3	3	3	3	3
30	15	1	2.7	2.3	2.3	2.0	2.7	2.0

### วิจารณ์

จะเห็นได้ว่าระยะทางรวมเฉลี่ยของแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด ในแต่ละช่วงข้อมูลมีค่าที่ใกล้เคียงกันเนื่องจาก

- ใช้เส้นทางหลักที่ไม่มีเติมเชื่อเพลิงเริ่มต้นเส้นทางเดียวกัน

- จุดที่ออกไปเติมเชื้อของแต่ละแนวคิด บางชุดข้อมูลเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากทุกแนวคิดมีข้อกำหนดการพิจารณาอยู่ว่า จะเลือกไปเติมเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงที่เหลือ ณ จุดปัจจุบันไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ทำให้ได้ระยะทางและระยะเวลารวมเท่ากันในหลายชุดข้อมูล
- จุดเติมเชื้อเพลิงที่ถูกเลือก บางชุดข้อมูลเป็นจุดเดียวกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้กำหนดจุดเติมเชื้อเพลิงแค่ 7 จุด ซึ่งอาจทำให้มีทางเลือกที่น้อย



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการประมวลในช่วงข้อมูลทั้ง 2 ช่วง คือ ในช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร และช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร ช่วงข้อมูลละ 30 ชุดข้อมูลจากการประมวลผลเส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงในช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร ได้ระยะทางเฉลี่ย และเวลาเฉลี่ย เท่ากับ 170.40 กิโลเมตร และ 170.40 นาที ตามลำดับ และช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร ได้ระยะทางเฉลี่ย และเวลาเฉลี่ย เท่ากับ 321.80 กิโลเมตร และ 321.80 นาทีตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของระยะทางพบว่า ในช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $(1+130) / 2 = 65.5$  กิโลเมตร และช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $(20+80) / 2 = 50$  กิโลเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร มีค่าเฉลี่ยของระยะทางที่น้อยกว่า แต่จากผลการทดลองช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร มีระยะทางเฉลี่ยของเส้นทางหลักที่ไม่มีการเติมเชื้อเพลิงมากกว่า เนื่องจากในการเลือกเส้นทางหลักนั้น เป็นการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นในแต่ละชุดข้อมูลจึงมีระยะทางที่เลือกเป็นค่าที่น้อยเป็นส่วนใหญ่ โดยในช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตรค่าที่น้อยเริ่มจาก 1 กิโลเมตร แต่ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร ค่าที่น้อยเริ่มจาก 20 กิโลเมตร ฉะนั้นทำให้ในช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร มีโอกาสที่จะเลือกเส้นทางแล้วได้ระยะทางรวมที่น้อยกว่าช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร

ในช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร โดยใช้จำนวนข้อมูล 30 ชุดข้อมูลด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการใช้แนวคิดทั้ง 6 แนวคิด ในการเลือกเดินทางออกนอกเส้นทางพบว่าวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทาง 226.80 กิโลเมตร และ 237.13 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด พบว่าแนวคิด 6 เป็นแนวคิดที่ให้ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาน้อยที่สุด คือ 256.30 กิโลเมตร และ 267.63 นาที

ในช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร โดยใช้จำนวนข้อมูล 30 ชุดข้อมูลด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการใช้แนวคิดทั้ง 6 แนวคิด ในการเลือกเดินทางออกนอกเส้นทางพบว่าวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาในการเดินทาง 411.13 กิโลเมตร และ 433.80 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด พบว่าแนวคิด 4 เป็นแนวคิดที่ให้ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและระยะเวลาน้อยที่สุด คือ 433.83 กิโลเมตร และ 459.50 นาที

จากการเปรียบเทียบในแต่ละช่วงข้อมูลจะเห็นว่าวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ค่าเฉลี่ยรวมน้อยกว่าแนวคิดทั้ง 6 ในการเดินทางออกนอกเส้นทาง ซึ่งในช่วงข้อมูลทั้ง 2 ช่วงข้อมูล พบว่ามีแนวคิดที่ให้ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและเวลาน้อยที่สุดต่างกัน เพราะว่าข้อมูลระยะทางในการไปและกลับจากจุดเดิมเชื่อเพลิงแต่ละจุดแตกต่างกัน ทำให้เมื่อเกิดการเลือกจุดเดิมเชื่อเพลิงต่างกันก็จะทำให้เชื่อเพลิงที่เหลือในถังต่างกันและทำให้ลำดับการเลือกจุดเดิมเชื่อเพลิงต่อไปต่างกันด้วย ดังนั้นทำให้เส้นทางที่เดินต่อไปอาจแตกต่างกันได้

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนจุดเดิมเชื่อเพลิงที่ใหญ่จุดเดิมเชื่อเพลิงโดยเฉลี่ยของวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และแนวคิดทั้ง 6 ในตารางที่ 14 พบว่าโดยส่วนมากระยะทางในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร จะออกนอกเส้นทางไปเดิมเชื่อเพลิงอย่างน้อย 1 ครั้ง และในแต่ละชุดข้อมูลของช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตรจะออกนอกเส้นทางไปเดิมเชื่อเพลิงอย่างน้อย 2 ครั้งแสดงให้เห็นว่าช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร มีระยะทางการเดินทางที่ไกลกว่าช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด ในการออกนอกเส้นทางไปเดิมเชื่อเพลิง โดยขนาดข้อมูลที่ใหญ่ที่สุดที่คอมพิวเตอร์และโปรแกรม MS-EXCEL ที่ใช้ทดลองเป็นรุ่นทดลองดังนั้นสามารถประมวลผลตัวแปรจำนวนเต็ม 1,000 ตัวแปร ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทดลองจำนวนจุดลูกค้า 30 จุดจุดเดิมเชื่อเพลิง 15 จุด จำนวนตัวแปรจำนวนเต็มทั้งหมด 930 ตัวแปร ซึ่งจำนวนตัวแปรจำนวนเต็มจะขึ้นกับจำนวนจุดเดิมเชื่อเพลิงและจำนวนจุดลูกค้า โดยขนาดใหญ่ที่สุดที่ทดลอง คือ 40 จุดลูกค้า และ 12 จุดเดิมเชื่อเพลิง มีจำนวนตัวแปรจำนวนเต็ม 1,000 ตัวแปรได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแนวคิดทั้ง 6 แนวคิด พบว่าวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการใช้แนวคิดทั้ง 6 แนวคิด และหากมีจำนวนจุดลูกค้าและจุดเดิมเชื่อเพลิงมากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นจากการประมวลผลที่จำนวนจุดลูกค้า 30 จุด ซึ่งจากผลต่างของแต่ละชุดข้อมูลนั้นจะเห็นความแตกต่างของการประมวลผลได้น้อยเป็นวินาที ดังนั้นหากมีชุดข้อมูลที่ใหญ่ขึ้นจะสามารถเห็นความแตกต่างได้มากขึ้น ฉะนั้นการใช้แนวคิดทั้ง 6 แนวคิด จะเป็นประโยชน์มากเมื่อปัญหานั้นมีจุดลูกค้าและจุดเดิมเชื่อเพลิงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากจะช่วยลดเวลาในการประมวลผลได้มาก

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเลือกเติมจุดเติมเชื้อเพลิงโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แค่ 1 ครั้งเท่านั้น แสดงว่าการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่เป็นไปได้ ดังนั้นในแต่ละชุดข้อมูลจึงมีระยะทางที่เลือกเป็นค่าที่น้อยเป็นส่วนใหญ่แต่วิธีแนวคิดทั้ง 6 แนวคิดมีการเลือกเติมจุดเติมเชื้อเพลิงมากกว่า 1 ครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบผลระยะทางที่ใช้ในการเดินทางนั้นพบว่าเมื่อมีจำนวนจุดลูกค้ามากขึ้น ระยะทางในการเดินทางจะเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการหาเปอร์เซ็นต์ความต่างของระยะทางของแนวคิดที่ดีที่สุดกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าเมื่อมีจำนวนลูกค้ามากขึ้นเปอร์เซ็นต์ความต่างจะเพิ่มมากขึ้นและเมื่อพิจารณาที่จำนวนลูกค้าเท่ากันกลับพบว่ายิ่งจุดเติมเชื้อเพลิงน้อยเปอร์เซ็นต์ความต่างจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีระยะทางระหว่างจุดลูกค้าไปจุดเติมเชื้อ และจากจุดเติมเชื้อเพลิงไปลูกค้าให้เลือกน้อยดังนั้นในบางชุดข้อมูลอาจเกิดกรณีพิเศษต่างๆ ขึ้นทำให้ต้องเลือกจุดเติมเชื้อเพลิงที่มีระยะทางไกล

#### ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ตั้งข้อสมมติฐานว่าหากมีการออกนอกเส้นทางไปเติมเชื้อเพลิงจะต้องเติมเชื้อเพลิงเต็มถัง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอาจไม่จำเป็นต้องเติมเต็มถังก็ได้ ซึ่งในส่วนของการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หากไม่พิจารณาข้อสมมติฐานนี้ก็ยังสามารถทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าเดิม

จากการทดลองประมวลผลข้อมูลแต่ละช่วงข้อมูลเพียง 30 ชุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงข้อมูลทั้ง 2 ช่วงข้อมูล พบว่ามีแนวคิดที่ให้ค่าเฉลี่ยรวมของระยะทางและเวลาน้อยที่สุดต่างกัน ดังนั้นหากเพิ่มชุดข้อมูลอาจได้ข้อสรุปใหม่ที่แตกต่างจากเดิมและงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระยะเวลาในการเติมเชื้อเพลิง 10 นาที ซึ่งหากมีการเพิ่มหรือลด ก็อาจทำให้ข้อสรุปแนวคิดที่ดีที่สุดเปลี่ยนไปในการเติมเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไป

ในการประมวลผลชุดข้อมูลที่ใหญ่ขึ้นนั้น สามารถทำได้หากมีคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และสำหรับผู้สนใจที่จะนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ให้สอดคล้องกับความเป็นจริงได้ ซึ่งข้อสำคัญของการกำหนดสถานการณ์ ผู้ที่กำหนดจะต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญ มีความรู้จริงในสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอาจเกิดขึ้นในอนาคตได้

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ยศวริศ พลเสนา, ชีรศักดิ์ ทองสัมฤทธิ์, จารุพงษ์ บรรเทา และ พงษ์ชัย จิตตะมัย. 2553. การปรับปรุงการจัดเส้นทางเก็บขยะมูลฝอยขององค์กรบริหารส่วนท้องถิ่น. การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2553. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

หทัยทิพย์ ภูซงควาริน. 2547. ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีระยะเวลาเดินทางไม่แน่นอนแบบคงตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณกร อินทร์พยุง. 2548. วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด, น. 61-116. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรม การขนส่งและลอจิสติกส์. ซีไอเคยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

Bellmore, M. and G.L. Nemhauser. 1966. The Traveling Salesman Problem: A Survey. **Operations Research: 538-558**

Cornillier, F., F.B. Favez, G. Laporte and J. Renaud. 2005. An Exact Algorithm for the Petrol Station Replenishment Problem. **Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation: 1-24.**

Gregory, G. and P.P. Abraham. 2002. **The Traveling Salesman Problem and its variations.** Available Source: <http://garnet.cpe.ku.ac.th/~g5065386/?p=243>, July 18, 2010

Hahsler, M. and K. Hornik. 2009. **Introduction to TSP – Infrastructure for the Traveling Salesperson Problem.** Available source: <http://cran.r-project.org/web/packages/TSP/vignettes/TSP.pdf>, July 18, 2010

Ichimori, T., I. Hiroaki and N. Toshio. 1981. Routing a Vehicle with The Limitation of Fuel. **Journal of The Operations Research. Society of Japan. Vol.24. No.3: 277-280**

- Ichimori, T., I. Hiroaki and N. Toshio. 1983. Two Routing Problems with The Limitation of Fuel. **Discrete Applied Mathematics** 6. North- Holland Publishing Company: 85-89
- Johnson, D.S. and C.H. Papadimitriou. 1987. Computational Complexity.pp. 49-60. *In* Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnooy Kan A. G.H.G. and D.B. Shmoys. **The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization**. John Wiley & Sons, Great Britain
- Khuller, S., A. Malekian and J. Mestre. 2007. To Fill or not to Fill: The Gas Station Problem. **Lecture Notes in Computer Science**. Volume 4698: 534-545
- Laporte, G.. 1992. The Traveling Salesman Problem: An Overview of Exact and Approximate algorithms. **European Journal of Operational Research** 59: 231-245
- Lin, S.. 2008. Finding Optimal Refueling Policies: A Dynamic Programming Approach. **CCSC: Southwestern Conference: 272-279**
- \_\_\_\_\_, N. Gertsch and J.R. Russell. 2006. A Linear-time Algorithm for Finding Optimal Vehicle Refueling Policies. **Oper Res Lett** 35: 290-296
- Nilsson, C.. 2003. **Heuristics for the Traveling Salesman Problem**. Available Source: [www.ida.liu.se/~TDDB19/reports\\_2003/htsp.pdf](http://www.ida.liu.se/~TDDB19/reports_2003/htsp.pdf), July 18, 2010
- Yoshinori, S.. 2008. A generic model of motor-carrier fuel optimization. **Naval Research Logistics (NRL)**. Volume 55 Issue 8:737 - 746





ตารางผนวกที่ ก1 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก-ไป	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	###	4	51	20	20	77	11	43	70	38	122	2	6
2	80	###	112	27	80	83	36	54	55	47	73	80	11
3	71	73	###	62	44	35	3	4	116	118	74	114	61
4	29	70	40	###	80	34	69	70	7	49	49	63	2
5	42	48	100	85	###	14	11	52	1	30	30	7	9
6	45	21	68	18	67	###	23	80	57	5	102	92	19
7	21	76	21	110	9	37	###	33	53	60	44	56	13
8	123	60	46	54	68	52	78	###	53	43	24	32	15
9	54	46	71	82	37	124	37	42	###	55	51	117	71
10	26	66	73	127	47	33	49	14	2	###	46	70	96
11	37	68	25	32	14	18	52	36	69	61	###	24	25
12	19	73	48	31	61	12	63	8	27	47	48	###	31
13	93	4	47	60	113	113	56	14	8	4	72	57	###

ตารางผนวกที่ ก2 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากจุดเดิมเชื้อเพลิงต่างๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก-ไป	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	118	90	96	128	105	128	67	89	66	54	124	99	106
B	85	57	122	126	107	98	119	126	119	107	118	122	100
C	130	88	122	118	98	126	90	128	97	73	101	116	121
D	87	121	102	84	105	104	126	53	126	121	123	119	109
E	82	101	98	112	55	115	110	61	128	120	112	125	109
F	88	119	116	125	78	106	78	112	113	109	114	118	72
G	124	118	73	69	91	103	116	116	96	130	118	96	128

ตารางผนวกที่ ก3 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปจุดเติมเชื้อเพลิงต่างๆ ในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก-ไป	A	B	C	D	E	F	G
1	62	35	46	1	31	33	26
2	71	51	108	78	30	3	79
3	97	21	47	114	30	9	42
4	9	73	64	74	86	47	101
5	35	8	33	11	24	77	71
6	112	4	12	30	26	12	30
7	18	25	8	65	20	64	50
8	37	85	84	102	68	41	8
9	40	65	13	25	84	41	60
10	1	18	18	59	15	43	62
11	52	31	66	16	78	80	43
12	40	37	82	17	35	8	63
13	35	32	76	9	80	63	74

ตารางผนวกที่ ก4 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก-ไป	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	###	45	26	51	20	25	28	46	48	53	20	49	58
2	23	###	73	31	80	41	58	47	33	44	24	32	57
3	24	80	###	38	30	49	44	28	22	57	41	29	39
4	33	40	38	###	24	44	59	26	39	34	20	30	27
5	24	45	24	37	###	37	73	25	25	56	24	26	44
6	24	76	28	39	43	###	31	34	45	59	46	42	22
7	23	33	32	30	41	43	###	28	22	27	56	36	34
8	56	44	40	59	69	33	38	###	29	43	46	42	29
9	27	36	37	42	29	50	55	59	###	32	47	36	30

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

จาก-ไป	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	48	52	43	53	53	37	21	32	23	###	30	32	46
11	23	62	26	38	44	58	20	34	23	49	###	39	67
12	51	28	20	22	32	59	33	41	45	31	24	###	29
13	80	71	28	65	31	59	52	59	27	30	54	20	###

ตารางผนวกที่ ก5 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากลูกค้าใดๆ ไปจุดเติมเชื้อเพลิงต่างๆ ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก-ไป	A	B	C	D	E	F	G
1	60	64	26	40	75	57	38
2	55	39	39	58	38	20	23
3	55	39	56	28	47	24	26
4	56	23	56	24	45	58	40
5	58	46	20	50	20	36	23
6	49	29	25	45	54	39	31
7	45	35	53	34	62	69	20
8	59	42	24	34	48	59	76
9	53	67	56	25	54	28	21
10	31	25	36	45	42	41	57
11	56	36	23	27	28	57	57
12	47	69	59	30	23	59	36
13	28	27	57	30	55	24	58

ตารางผนวกที่ ก6 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางจากจุดเดิมเชื้อเพลิงต่างๆ ไปลูกค้าใดๆ ในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก-ไป	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	55	65	68	40	65	67	74	75	41	45	30	77	77
B	60	54	44	42	52	70	75	45	23	46	40	72	58
C	80	77	53	35	57	68	72	34	22	60	45	78	55
D	63	60	75	54	44	44	61	70	43	31	67	36	57
E	41	67	77	24	52	61	58	30	65	80	49	40	41
F	64	62	72	52	74	72	43	80	40	62	48	58	42
G	79	61	74	57	77	62	72	78	48	80	50	76	46



จากตัวอย่างข้อมูลในภาคผนวก ก เมื่อนำไปคำนวณจะได้ผลการคำนวณดังภาคผนวก ข ซึ่งนำตัวอย่างของแสดงเส้นทางในการเดินทางของข้อมูลช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร และ ช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

ตารางผนวกที่ ข1 ตัวอย่างเส้นทางหลักในการเดินทางของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	2	4	4	4
2	13	11	15	15
13	10	4	19	19
10	9	2	21	21
9	7	37	58	58
7	3	21	79	79
3	8	4	83	83
8	11	24	107	107
11	5	14	121	121
5	12	7	128	128
12	6	12	140	140
6	4	18	158	158
4	1	29	187	187

ตารางผนวกที่ ข2 การเดินทางออกไปเดิมเพื่อเพลิงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

ลำดับตามเส้นทางหลัก		จัดเรียงลำดับใหม่		ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
จาก	ไป	จาก	ไป			
1	2	1	2	4	4	4
2	13	2	3	11	15	15
13	10	3	4	4	19	19
10	9	4	5	2	21	21

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ลำดับตามเส้นทางหลัก		จัดเรียงลำดับใหม่		ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
จาก	ไป	จาก	ไป			
9	7	5	6	37	58	58
7	3	6	7	21	79	79
<b>3</b>	<b>E</b>	<b>7</b>	<b>E</b>	<b>30</b>	<b>109</b>	<b>109</b>
<b>E</b>	<b>8</b>	<b>E</b>	<b>8</b>	<b>61</b>	<b>170</b>	<b>180</b>
8	11	8	9	24	194	204
11	5	9	10	14	208	218
5	12	10	11	7	215	225
12	6	11	12	12	227	237
<b>6</b>	<b>G</b>	<b>12</b>	<b>G</b>	<b>30</b>	<b>257</b>	<b>267</b>
<b>G</b>	<b>4</b>	<b>G</b>	<b>13</b>	<b>69</b>	<b>326</b>	<b>346</b>
4	1	13	1	29	355	375

ตารางผนวกที่ ข3 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1 ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม(นาที)
1	2	4	4	4
2	13	11	15	15
13	10	4	19	19
10	9	2	21	21
9	7	37	58	58
7	3	21	79	79
3	8	4	83	83
8	11	24	107	107
11	5	14	121	121
5	12	7	128	128

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม(นาที)
12	6	12	140	140
<b>6</b>	<b>B</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>B</b>	<b>4</b>	<b>126</b>	<b>270</b>	<b>280</b>
<b>4</b>	<b>A</b>	<b>9</b>	<b>279</b>	<b>289</b>
<b>A</b>	<b>1</b>	<b>118</b>	<b>397</b>	<b>417</b>

ตารางผนวกที่ ข4 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2 ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	2	4	4	4
2	13	11	15	15
13	10	4	19	19
10	9	2	21	21
9	7	37	58	58
7	3	21	79	79
3	8	4	83	83
8	11	24	107	107
11	5	14	121	121
5	12	7	128	128
12	6	12	140	140
<b>6</b>	<b>B</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>B</b>	<b>4</b>	<b>126</b>	<b>270</b>	<b>280</b>
<b>4</b>	<b>A</b>	<b>9</b>	<b>279</b>	<b>289</b>
<b>A</b>	<b>1</b>	<b>118</b>	<b>397</b>	<b>417</b>

ตารางผนวกที่ ข5 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3 ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	2	4	4	4
2	13	11	15	15
13	10	4	19	19
10	9	2	21	21
9	7	37	58	58
7	3	21	79	79
3	8	4	83	83
8	11	24	107	107
11	5	14	121	121
5	12	7	128	128
12	6	12	140	140
6	B	4	144	144
B	4	126	270	280
4	A	9	279	289
A	1	118	397	417

ตารางผนวกที่ ข6 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4 ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	2	4	4	4
2	13	11	15	15
13	10	4	19	19
10	9	2	21	21
9	7	37	58	58
7	3	21	79	79

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
3	8	4	83	83
8	11	24	107	107
11	5	14	121	121
5	12	7	128	128
<b>12</b>	<b>F</b>	<b>8</b>	<b>136</b>	<b>136</b>
<b>F</b>	<b>6</b>	<b>106</b>	<b>242</b>	<b>252</b>
6	4	18	260	270
4	<b>A</b>	<b>9</b>	<b>269</b>	<b>279</b>
<b>A</b>	<b>1</b>	<b>118</b>	<b>387</b>	<b>407</b>

ตารางผนวกที่ ข7 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5 ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	2	4	4	4
2	13	11	15	15
13	10	4	19	19
10	9	2	21	21
9	7	37	58	58
7	3	21	79	79
3	8	4	83	83
8	11	24	107	107
11	5	14	121	121
5	12	7	128	128
12	6	12	140	140
<b>6</b>	<b>B</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>B</b>	<b>4</b>	<b>126</b>	<b>270</b>	<b>280</b>

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
4	A	9	279	289
A	1	118	397	417

ตารางผนวกที่ ข8 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6 ของข้อมูลในช่วง 1 ถึง 130 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	2	4	4	4
2	13	11	15	15
13	10	4	19	19
10	9	2	21	21
9	7	37	58	58
7	3	21	79	79
3	8	4	83	83
8	11	24	107	107
11	5	14	121	121
5	12	7	128	128
12	D	17	145	145
D	6	104	249	259
6	G	30	279	289
G	4	69	348	368
4	1	29	377	397

ตารางผนวกที่ ๗9 ตัวอย่างเส้นทางหลักในการเดินทางของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	20	20	20
5	3	24	44	44
3	8	28	72	72
8	6	33	105	105
6	13	22	127	127
13	12	20	147	147
12	4	22	169	169
4	11	20	189	189
11	7	20	209	209
7	10	27	236	236
10	9	23	259	259
9	2	36	295	295
2	1	23	318	318

ตารางผนวกที่ ๗10 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

ลำดับตามเส้นทางหลัก		จัดเรียงลำดับใหม่		ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
จาก	ไป	จาก	ไป			
1	5	1	2	20	20	20
5	3	2	3	24	44	44
3	8	3	4	28	72	72
<b>8</b>	<b>D</b>	<b>4</b>	<b>D</b>	<b>34</b>	<b>106</b>	<b>106</b>
<b>D</b>	<b>6</b>	<b>D</b>	<b>5</b>	<b>44</b>	<b>150</b>	<b>160</b>
6	13	5	6	22	172	182
13	12	6	7	20	192	202
<b>12</b>	<b>E</b>	<b>7</b>	<b>E</b>	<b>23</b>	<b>215</b>	<b>225</b>

## ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ลำดับตามเส้นทางหลัก		จัดเรียงลำดับใหม่		ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
จาก	ไป	จาก	ไป			
<b>E</b>	<b>4</b>	<b>E</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>239</b>	<b>259</b>
4	11	8	9	20	259	279
11	7	9	10	20	279	299
7	10	10	11	27	306	326
<b>10</b>	<b>B</b>	<b>11</b>	<b>B</b>	<b>25</b>	<b>331</b>	<b>351</b>
<b>B</b>	<b>9</b>	<b>B</b>	<b>12</b>	<b>23</b>	<b>354</b>	<b>384</b>
9	2	12	13	36	390	420
2	1	13	1	23	413	443

## ตารางผนวกที่ ข11 การเดินทางออกไปเดิมเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 1 ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	20	20	20
5	3	24	44	44
3	8	28	72	72
8	6	33	105	105
<b>6</b>	<b>C</b>	<b>25</b>	<b>130</b>	<b>130</b>
<b>C</b>	<b>13</b>	<b>55</b>	<b>185</b>	<b>195</b>
13	12	20	205	215
12	4	22	227	237
4	11	20	247	257
<b>11</b>	<b>C</b>	<b>23</b>	<b>270</b>	<b>280</b>
<b>C</b>	<b>7</b>	<b>72</b>	<b>342</b>	<b>362</b>
7	10	27	369	389
10	9	23	392	412

ตารางผนวกที่ ข11 (ต่อ)

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
<b>9</b>	<b>G</b>	<b>21</b>	<b>413</b>	<b>433</b>
<b>G</b>	<b>2</b>	<b>61</b>	<b>474</b>	<b>504</b>
2	1	23	497	527

ตารางผนวกที่ ข12 การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 2 ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	20	20	20
5	3	24	44	44
3	8	28	72	72
8	6	33	105	105
<b>6</b>	<b>F</b>	<b>39</b>	<b>144</b>	<b>144</b>
<b>F</b>	<b>13</b>	<b>42</b>	<b>186</b>	<b>196</b>
13	12	20	206	216
12	4	22	228	238
4	11	20	248	258
11	7	20	268	278
<b>7</b>	<b>G</b>	<b>20</b>	<b>288</b>	<b>298</b>
<b>G</b>	<b>10</b>	<b>80</b>	<b>368</b>	<b>388</b>
10	9	23	391	411
<b>9</b>	<b>D</b>	<b>25</b>	<b>416</b>	<b>436</b>
<b>D</b>	<b>2</b>	<b>60</b>	<b>476</b>	<b>506</b>
2	1	23	499	529

ตารางผนวกที่ ข13 การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 3 ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	20	20	20
5	3	24	44	44
3	8	28	72	72
8	6	33	105	105
6	<b>G</b>	<b>31</b>	<b>136</b>	<b>136</b>
<b>G</b>	<b>13</b>	<b>46</b>	<b>182</b>	<b>192</b>
13	12	20	202	212
12	4	22	224	234
4	11	20	244	254
11	7	20	264	274
7	<b>G</b>	<b>20</b>	<b>284</b>	<b>294</b>
<b>G</b>	<b>10</b>	<b>80</b>	<b>364</b>	<b>384</b>
10	9	23	387	407
9	<b>G</b>	<b>21</b>	<b>408</b>	<b>428</b>
<b>G</b>	<b>2</b>	<b>61</b>	<b>469</b>	<b>499</b>
2	1	23	492	522

ตารางผนวกที่ ข14 การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 4 ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	20	20	20
5	3	24	44	44
3	8	28	72	72
8	6	33	105	105
6	<b>G</b>	<b>31</b>	<b>136</b>	<b>136</b>

ตารางผนวกที่ ข14 (ต่อ)

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
<b>G</b>	<b>13</b>	<b>46</b>	<b>182</b>	<b>192</b>
13	12	20	202	212
12	4	22	224	234
4	11	20	244	254
11	7	20	264	274
<b>7</b>	<b>G</b>	<b>20</b>	<b>284</b>	<b>294</b>
<b>G</b>	<b>10</b>	<b>80</b>	<b>364</b>	<b>384</b>
<b>10</b>	<b>B</b>	<b>25</b>	<b>389</b>	<b>409</b>
<b>B</b>	<b>9</b>	<b>23</b>	<b>412</b>	<b>442</b>
9	2	36	448	478
2	1	23	471	501

ตารางผนวกที่ ข15 การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 5 ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	20	20	20
5	3	24	44	44
3	8	28	72	72
8	6	33	105	105
<b>6</b>	<b>C</b>	<b>25</b>	<b>130</b>	<b>130</b>
<b>C</b>	<b>13</b>	<b>55</b>	<b>185</b>	<b>195</b>
13	12	20	205	215
12	4	22	227	237
4	11	20	247	257
<b>11</b>	<b>C</b>	<b>23</b>	<b>270</b>	<b>280</b>
C	7	72	342	362

ตารางผนวกที่ ข15 (ต่อ)

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
7	10	27	369	389
10	9	23	392	412
9	G	21	413	433
G	2	61	474	504
2	1	23	497	527

ตารางผนวกที่ ข16 การเดินทางออกไปเต็มเชื้อเพลิงแบบแนวคิดที่ 6 ของข้อมูลในช่วง 20 ถึง 80 กิโลเมตร

จาก	ไป	ระยะทาง (กม.)	ระยะทางสะสม (กม.)	เวลาสะสม (นาที)
1	5	20	20	20
5	3	24	44	44
3	8	28	72	72
8	6	33	105	105
6	F	39	144	144
F	13	42	186	196
13	12	20	206	216
12	4	22	228	238
4	11	20	248	258
11	E	28	276	286
E	7	58	334	354
7	10	27	361	381
10	9	23	384	404
9	D	25	409	429
D	2	60	469	499
2	1	23	492	522



**ตารางผนวกที่ ค1** ผลการประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กม.

ชุดข้อมูล	ระยะทางรวม (กม.)	เวลารวม (นาที)
1	355	375
2	206	216
3	202	212
4	248	258
5	203	213
6	171	181
7	256	266
8	183	193
9	201	211
10	244	254
11	217	227
12	246	256
13	205	215
14	221	231
15	248	258
16	220	230
17	212	222
18	227	237
19	237	247
20	231	241
21	238	248
22	210	220
23	206	216
24	187	197
25	222	232
26	233	243
27	287	297
28	206	216
29	255	265
30	227	237

ตารางผนวกที่ ค2 ผลการประมวลผลโดยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กม.

ชุดข้อมูล	ระยะทางรวม (กม.)	เวลารวม (นาที)
1	384	404
2	398	418
3	434	464
4	398	418
5	399	429
6	445	475
7	448	478
8	366	386
9	433	453
10	430	450
11	413	443
12	413	433
13	413	433
14	392	412
15	401	421
16	458	488
17	372	392
18	429	449
19	398	418
20	402	422
21	429	449
22	407	427
23	416	436
24	461	491
25	364	384
26	382	402
27	421	441
28	396	416
29	383	403
30	449	479

ตารางผนวกที่ ค3 ระยะทางรวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิดช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร

ชุดข้อมูล	เส้นทางหลัก	แนวคิด 1	แนวคิด 2	แนวคิด 3	แนวคิด 4	แนวคิด 5	แนวคิด 6
1	187	397	397	397	387	397	377
2	178	280	280	280	284	280	284
3	155	202	202	202	202	202	202
4	204	358	248	248	248	358	248
5	158	203	203	203	203	203	203
6	155	243	233	233	171	171	171
7	188	392	392	392	375	392	424
8	160	260	226	226	226	260	226
9	157	252	244	244	244	252	201
10	179	400	349	349	349	400	349
11	176	217	217	217	217	217	217
12	195	367	367	367	367	367	252
13	168	263	263	263	232	263	263
14	151	275	275	275	275	275	275
15	168	248	253	248	248	248	253
16	151	257	257	257	257	257	257
17	172	285	279	279	285	285	279
18	166	230	230	230	230	230	230
19	183	237	237	237	237	237	237
20	170	231	231	231	231	231	231
21	187	270	255	255	255	376	255
22	169	265	269	265	210	265	210
23	158	273	279	273	272	273	279
24	153	241	230	230	234	241	230
25	163	253	222	222	222	253	222
26	157	233	234	233	233	233	234
27	193	422	422	422	472	361	361
28	157	246	228	228	206	246	228
29	176	264	264	264	264	264	264
30	178	239	227	227	227	239	227

ตารางผนวกที่ ๓๔ ระยะเวลารวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิดช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร

ชุดข้อมูล	เส้นทางหลัก	แนวคิด1	แนวคิด2	แนวคิด3	แนวคิด4	แนวคิด5	แนวคิด6
1	187	417	417	417	407	417	397
2	178	290	290	290	294	290	294
3	155	212	212	212	212	212	212
4	204	378	258	258	258	378	258
5	158	213	213	213	213	213	213
6	155	253	243	243	181	181	181
7	188	412	412	412	395	412	444
8	160	270	236	236	236	270	236
9	157	262	254	254	254	262	211
10	179	420	369	369	369	420	369
11	176	227	227	227	227	227	227
12	195	387	387	387	387	387	262
13	168	273	273	273	242	273	273
14	151	285	285	285	285	285	285
15	168	258	263	258	258	258	263
16	151	267	267	267	267	267	267
17	172	295	289	289	295	295	289
18	166	240	240	240	240	240	240
19	183	247	247	247	247	247	247
20	170	241	241	241	241	241	241
21	187	280	265	265	265	396	265
22	169	275	279	275	220	275	220
23	158	283	289	283	282	283	289
24	153	251	240	240	244	251	240
25	163	263	232	232	232	263	232
26	157	243	244	243	243	243	244
27	193	442	442	442	502	381	381
28	157	256	238	238	216	256	238
29	176	274	274	274	274	274	274
30	178	249	237	237	237	249	237

ตารางผนวกที่ ค5 ระยะทางรวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิดช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร

ชุดข้อมูล	เส้นทางหลัก	แนวคิด 1	แนวคิด 2	แนวคิด 3	แนวคิด 4	แนวคิด 5	แนวคิด 6
1	319	476	404	404	433	476	384
2	326	494	398	398	398	494	398
3	334	492	491	485	434	506	491
4	302	526	398	398	398	526	398
5	327	516	516	516	499	516	516
6	300	510	477	477	501	510	477
7	334	464	468	464	464	464	468
8	293	434	408	408	387	434	408
9	352	529	441	494	462	529	441
10	338	505	430	430	469	480	477
11	318	497	499	492	471	497	492
12	319	426	418	418	413	426	418
13	324	459	458	458	414	459	458
14	308	494	417	417	417	494	393
15	318	495	401	401	458	495	401
16	330	496	496	496	484	496	496
17	315	426	426	426	372	426	426
18	339	429	429	429	459	429	429
19	323	416	405	398	429	416	405
20	342	402	402	402	402	402	402
21	320	521	430	430	450	521	430
22	315	514	528	515	462	514	528
23	325	503	423	423	423	503	423
24	340	490	487	476	493	490	487
25	304	374	374	374	364	374	374
26	308	445	382	382	382	445	382
27	325	507	423	423	423	507	421
28	311	396	396	396	396	396	396
29	313	507	383	383	409	507	383
30	332	529	511	511	449	529	511

ตารางผนวกที่ ๑๖ ระยะเวลารวมในการเดินทางของทั้ง 6 แนวคิดช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร

ชุดข้อมูล	เส้นทางหลัก	แนวคิด1	แนวคิด2	แนวคิด3	แนวคิด 4	แนวคิด 5	แนวคิด 6
1	319	506	424	424	463	506	404
2	326	524	418	418	418	524	418
3	334	522	521	515	464	536	521
4	302	556	418	418	418	556	418
5	327	546	546	546	529	546	546
6	300	540	507	507	531	540	507
7	334	494	498	494	494	494	498
8	293	454	428	428	407	454	428
9	352	559	461	524	492	559	461
10	338	535	450	450	499	510	507
11	318	527	529	522	501	527	522
12	319	446	438	438	433	446	438
13	324	489	488	488	434	489	488
14	308	524	437	437	437	524	413
15	318	525	421	421	488	525	421
16	330	526	526	526	514	526	526
17	315	446	446	446	392	446	446
18	339	449	449	449	489	449	449
19	323	436	425	418	459	436	425
20	342	422	422	422	422	422	422
21	320	551	450	450	480	551	450
22	315	544	558	545	492	544	558
23	325	533	443	443	443	533	443
24	340	520	517	506	533	520	517
25	304	394	394	394	384	394	394
26	308	475	402	402	402	475	402
27	325	537	443	443	443	537	441
28	311	416	416	416	416	416	416
29	313	537	403	403	429	537	403
30	332	559	541	541	479	559	541

ตารางผนวกที่ ๗ จำนวนครั้งที่หยุดเดิมเชื้อเพลิงโดยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ชุดข้อมูล	ช่วงข้อมูล 1- 130 กิโลเมตร	ช่วงข้อมูล 20- 80 กิโลเมตร
1	2	2
2	1	2
3	1	3
4	1	2
5	1	3
6	1	3
7	1	3
8	1	2
9	1	2
10	1	2
11	1	3
12	1	2
13	1	2
14	1	2
15	1	2
16	1	3
17	1	2
18	1	2
19	1	2
20	1	2
21	1	2
22	1	2
23	1	2
24	1	3
25	1	2
26	1	2
27	1	2
28	1	2
29	1	2
30	1	3

ตารางผนวกที่ ค8 จำนวนครั้งที่หยุดเติมเชื้อเพลิงของทั้ง 6 แนวคิดช่วงข้อมูล 1 ถึง 130 กิโลเมตร

ชุดข้อมูล	แนวคิด 1	แนวคิด 2	แนวคิด 3	แนวคิด 4	แนวคิด 5	แนวคิด 6
1	2	2	2	2	2	2
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	2	1	1	1	2	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1
7	2	2	2	2	2	2
8	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	2	2	2	2	2	2
11	1	1	1	1	1	1
12	2	2	2	2	2	1
13	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	2	1
22	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1
27	2	2	2	3	2	2
28	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1

ตารางผนวกที่ ๑๑ จำนวนครั้งที่หยุดเติมเชื้อเพลิงของทั้ง 6 แนวคิดช่วงข้อมูล 20 ถึง 80 กิโลเมตร

ชุดข้อมูล	แนวคิด 1	แนวคิด 2	แนวคิด 3	แนวคิด 4	แนวคิด 5	แนวคิด 6
1	3	2	2	3	3	2
2	3	2	2	2	3	2
3	3	3	3	3	3	3
4	3	2	2	2	3	2
5	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3
7	3	3	3	3	3	3
8	2	2	2	2	2	2
9	3	2	3	3	3	2
10	3	2	2	3	3	3
11	3	3	3	3	3	3
12	2	2	2	2	2	2
13	3	3	3	2	3	3
14	3	2	2	2	3	2
15	3	2	2	3	3	2
16	3	3	3	3	3	3
17	2	2	2	2	2	2
18	2	2	2	3	2	2
19	2	2	2	3	2	2
20	2	2	2	2	2	2
21	3	2	2	3	3	2
22	3	3	3	3	3	3
23	3	2	2	2	3	2
24	3	3	3	4	3	3
25	2	2	2	2	2	2
26	3	2	2	2	3	2
27	3	2	2	2	3	2
28	2	2	2	2	2	2
29	3	2	2	2	3	2
30	3	3	3	3	3	3

ตารางผนวกที่ 10 เวลาในการประมวลผลข้อมูล (วินาที) ของช่วงข้อมูล 1-130 กิโลเมตร

ชุดข้อมูล	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	แนวคิด1	แนวคิด2	แนวคิด3	แนวคิด4	แนวคิด5	แนวคิด6
1	6	3	3	3	3	3	3
2	5	2	2	2	2	2	2
3	5	1	2	1	2	1	2
4	5	1	2	1	1	1	2
5	5	2	2	2	2	2	2
6	5	1	2	1	2	2	2
7	5	1	1	2	1	1	2
8	5	2	2	1	1	2	2
9	5	2	2	2	2	2	2
10	5	2	2	2	2	2	2
11	5	2	2	1	1	1	2
12	5	1	2	1	1	1	2
13	5	2	2	2	2	2	2
14	5	1	2	2	2	2	2
15	5	2	2	2	2	2	2
16	5	1	2	2	2	2	2
17	5	2	2	2	2	2	2
18	5	2	2	2	2	2	2
19	5	2	2	2	2	2	2
20	5	1	2	2	1	1	2
21	5	2	2	2	2	2	2
22	5	2	2	2	1	1	2
23	5	2	2	1	2	1	2
24	5	2	2	2	2	2	2
25	5	1	2	1	1	1	1
26	5	2	2	2	2	2	2
27	5	2	2	1	1	2	2
28	5	1	2	1	1	1	1
29	5	2	2	2	2	2	2
30	5	2	2	2	2	2	2



ตารางผนวกที่ 1 ระยะเวลาในการเดินทางของการทดสอบประสิทธิภาพ

จำนวนจุด ถูกค่า (จุด)	จำนวน จุดเติม เชื้อเพลิง (จุด)	เส้นทาง ที่ไม่มี การเติม เชื้อเพลิง	ระยะเวลาในการเดินทาง (นาที)						
			แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์	แนวคิด					
				1	2	3	4	5	6
30	5	196	256	503	503	503	503	503	503
		209	268	514	514	514	514	514	514
		199	275	526	518	500	500	508	526
30	10	189	265	481	475	470	469	469	481
		212	277	499	487	475	475	482	499
		216	258	480	480	480	480	480	480
30	15	177	255	415	402	402	398	415	402
		194	298	468	455	468	449	468	435
		202	279	456	439	427	413	456	427

ตารางผนวกที่ 2 จำนวนจุดเติมเชื้อเพลิงของการทดสอบประสิทธิภาพ

จำนวนจุด ถูกค่า (จุด)	จำนวนจุด เติมเชื้อเพลิง (จุด)	จำนวนจุดเติมเชื้อเพลิง (จุด)							
		แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์	แนวคิด						
			1	2	3	4	5	6	
30	5	1	3	3	3	3	3	3	3
		1	3	3	3	3	3	3	3
		1	3	3	3	3	3	3	3
30	10	1	3	3	3	3	3	3	3
		1	3	3	3	3	3	3	3
		1	3	3	3	3	3	3	3
30	15	1	2	2	2	2	2	2	2
		1	3	3	3	2	3	2	2
		1	3	2	2	2	3	2	2

ตารางผนวกที่ 3 เวลาในการประมวลผลข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพ

จำนวนจุด ลูกค้ำ (จุด)	จำนวนจุดเดิม เชื้อเพลิง (จุด)	ชุดข้อมูล	เวลาในการประมวลผลข้อมูล (วินาที)							
			แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์	แนวคิด						
				1	2	3	4	5	6	
30	5	1	10	1	2	2	2	1	2	
		2	9	1	2	1	1	1	2	
		3	10	1	2	2	2	1	2	
30	10	1	14	3	2	2	2	3	2	
		2	15	2	3	2	2	2	3	
		3	15	2	2	2	2	2	2	
30	15	1	35	3	3	3	3	3	3	
		2	35	2	2	2	3	3	3	
		3	34	3	2	3	3	3	3	

ตารางผนวกที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพขนาดชุดข้อมูลที่ใหญ่ที่สุด (จำนวนจุดลูกค้ำ 40 จุด  
จำนวนจุดเดิมเชื้อเพลิง 12 จุด)

วิธีการแก้ปัญหา	ระยะเวลาในการ								
	ระยะเวลาในการ เดินทาง (กม.)			ประมวลผล (วินาที)			จำนวนจุดเดิม เชื้อเพลิง (จุด)		
ชุดข้อมูล	1	2	3	1	2	3	1	2	3
เส้นทางหลักที่ไม่มี การเติมเชื้อเพลิง	245	243	259	-	-	-	-	-	-
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	265	277	258	40	42	40	1	1	1
1	481	499	480	4	4	5	3	3	3
2	475	487	480	4	4	5	3	3	3
3	470	475	480	5	4	5	3	3	3
4	469	475	480	4	4	4	3	3	3
5	469	482	480	4	4	4	3	3	3
6	481	499	480	5	4	4	3	3	3

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปณยณูช ชัยเจริญธาดา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 พฤศจิกายน 2529
สถานที่เกิด	อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-