



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการจัดเส้นทางที่มีข้อกำหนดด้านเวลา
ในอุตสาหกรรมเกษตร

Mixed Integer Programming for a Vehicle Routing Problem with Time Windows in
Agro-Industry

نامผู้วิจัย นายศุภนัท สุวรรณสุขสำราญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พริภา องค์คุณารักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรารธนา ปรารธนาดี, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการจัดเส้นทางที่มีข้อกำหนดด้านเวลา
ในอุตสาหกรรมเกษตร

Mixed Integer Programming for a Vehicle Routing Problem with Time Windows
in Agro-Industry

โดย

นายศุภนัท สุวรรณสุขสำราญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2557

ศุภนัท สุวรรณสุขสำราญ 2557: กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการจัดเส้นทางที่มีข้อกำหนดด้านเวลาในอุตสาหกรรมเกษตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร) สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรธิภา องค์คุณารักษ์, Ph.D. 102 หน้า

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อกำหนดด้านเวลา คือ การกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังจุดต่างๆ หรือการจัดเส้นทางจากโรงงานเพื่อไปรับวัตถุดิบจากจุดต่างๆ โดยมีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดโดยคำนึงถึงเวลาในการรับวัตถุดิบหรือส่งสินค้า ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความยากในการตัดสินใจเนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น ขนาดบรรทุกของพาหนะ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ปริมาณวัตถุดิบ และเวลาในการรับวัตถุดิบและจัดส่งสินค้าให้ตรงตามเวลาที่ต้องการ โดยมีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าในเขตเมืองและการนำเข้าของวัตถุดิบ หากใช้เวลาในการขนส่งนาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อกำหนดด้านเวลาเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง โดยมีการศึกษาปัญหา 2 รูปแบบ คือ การจัดเส้นทางในการส่งสินค้าสำเร็จรูป และการจัดรถไปรับวัตถุดิบ จากบริษัทกรณีศึกษา 2 แห่งซึ่งทั้งสองปัญหานี้มีข้อกำหนดในด้านเวลาโดยในกรณีศึกษาแรกเนื่องจากลูกค้าอยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมาณเวลาที่ข้อกำหนดด้านการห้ามรถบรรทุกวิ่งในช่วงเวลาเร่งด่วน ในขณะที่อีกกรณีศึกษามีปัญหาการรับวัตถุดิบน้ำตาลใสจากเกษตรกรมีข้อกำหนดด้านเนื่องจากวัตถุดิบมีการนำเข้าง่ายหากใช้เวลาในการขนส่งนานเกินกว่า 4 ชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมในการสร้างแบบจำลอง โดยแบบจำลองแรกมีความพิเศษแตกต่างจากแบบจำลองที่แก้ปัญหาลักษณะนี้ แต่ทดแทนข้อกำหนดด้านเวลาด้วยจำนวนกลุ่มลูกค้าที่สามารถไปส่งก่อนเวลาที่กำหนด ในขณะที่แบบจำลองที่สองประยุกต์ใช้ผลการทดลองด้านเวลาสูงสุดในการไปรับวัตถุดิบเพื่อไม่ให้วัตถุดิบเสื่อมเสีย จากนั้นจึงแก้ปัญหาคด้วยซอฟต์แวร์ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio version 12.4 ทั้งนี้ แบบจำลองทั้งสองสามารถลดเวลาในการวางแผนจัดรถในการรับวัตถุดิบและขนส่งสินค้า และต้นทุนต่ำกว่าการแก้ปัญหาคด้วยผู้เชี่ยวชาญหรือพนักงานขับรถ เช่นในปัจจุบัน

Supanat Suwansuksamran 2014: Mixed Integer Programming for a Vehicle Routing Problem with Time Windows in Agro-Industry. Master of Science (Agro-Industrial Technology Management), Major Field: Agro-Industrial Technology Management, Department of Agro-Industrial Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Pornthipa Ongkunaruk, Ph.D. 102 pages.

Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) is to determine the best route to transport from raw materials or product from point to point so that the total cost is minimized while fulfill the time windows constraint. There are many requirements in this problem such as truck capacity, demand for product, supply quantities, and time windows from transportation law in Bangkok and metropolitan or perishability of raw material. This research aims to solve vehicle routing with time windows to reduce transportation costs. There are 2 types of VRPTW problems i.e. to delivery of products and to pick up raw materials with time window constraint. In agro-industry, we found two case studies that were good representatives of VRPTW. The first case study was to deliver the product to customers located in Bangkok and metropolitan with restrictions of banning the trucks running during rush hour. Another case study was the problem of pick up raw materials from coconut farmers to a manufacturer with limited time since a raw material would be perishable if the transit time was more than four hours. Then, we proposed a Mixed Integer Programming to solve VRPTW for two cases. The first model was a special variant of the model to solve similar VRPTW problems by replacement time windows to the number of group customers that can be included in the route. The second model applied the maximum time to pick up a raw material. Next, we solved the problems by IBM ILOG CPLEX Optimization Studio version 12.4. The results showed that our models can reduce pickup and delivery planning time while reduce cost compared to the current method.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. พรธิภา องค์กรคุณารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำประเด็นที่สำคัญต่าง ๆ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมถึงประสบการณ์ในการทำงานวิจัย และได้ให้ข้อคิดในการทำงานด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง และอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนในทุกๆ เรื่อง และขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. ชวลิต จินอนันต์ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งเอื้อเฟื้อโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในงานวิจัย พร้อมทั้งให้คำปรึกษาการใช้โปรแกรม รวมถึงผู้เขียนงานวิจัยที่ผู้วิจัยใช้อ้างอิง และผู้อนุเคราะห์ข้อมูลด้านต่างๆ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับการนำเสนอผลงานทางวิชาการในงาน The 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management.

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่อยู่ เคียงข้างให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด สุดท้ายประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมา หากมีข้อบกพร่องประการใดผู้วิจัยขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่โรงงานกรณีศึกษา ทุกท่านที่สละเวลาในการให้สัมภาษณ์และให้ข้อมูลประกอบการศึกษา

ศุภนัท สุวรรณสุขสำราญ
มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	34
สรุปและข้อเสนอแนะ	62
สรุป	62
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก รหัสคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม CPLEX สำหรับการสร้างแบบจำลอง	71
ภาคผนวก ข ตัวอย่างคำตอบจากการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม CPLEX	80
ภาคผนวก ค ตารางเมตริกซ์ข้อมูลที่ใช้ในการหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4	
ของกรณีศึกษาที่ 1	88
ภาคผนวก ง แบบเก็บข้อมูลบริษัทกรณีศึกษาที่ 2	97
ภาคผนวก จ ตารางเมตริกซ์ข้อมูลที่ใช้ในการหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4	
ของกรณีศึกษาที่ 2	99
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง	8
2	ประเภทของกำหนดการจำนวนเต็ม	20
3	จำนวนกลุ่ม จำนวนลูกค้า ความต้องการสินค้า และค่าขนส่งสินค้าในแต่ละเขต	26
4	ที่ตั้งกลุ่มลูกค้าในแต่ละเขต	27
5	ความต้องการสินค้า (D_i) และข้อจำกัดด้านเวลา (T_i) ของลูกค้าละราย	28
6	ต้นทุนการขนส่งต่างๆ ของรถบรรทุกแต่ละคัน กรณีศึกษาที่ 1	38
7	ผลการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า กรณีศึกษาที่ 1	41
8	เปรียบเทียบจำนวนรถขนส่งและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 1	46
9	ต้นทุนการขนส่งต่างๆ ของรถบรรทุกแต่ละคัน กรณีศึกษาที่ 2	57
10	ผลการจัดเส้นทางรถรับน้ำตลไสจากเกษตรกร กรณีศึกษาที่ 2	60
11	เปรียบเทียบจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง เวลาที่ใช้จัดเส้นทาง ต้นทุนรวม และเวลาที่ใช้ ในการขนส่ง (ชม.) กรณีศึกษาที่ 2	60
ตารางผนวกที่		
ก1	การระบุตำแหน่งข้อมูลบนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ของกรณีศึกษาที่ 1	74
ก2	การระบุตำแหน่งข้อมูลบนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ของกรณีศึกษาที่ 2	79
ค1	เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 1	92
ค2	เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 2	93
ค3	เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 3	94
ค4	เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 4	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค5 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 5	96
ค6 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 6	97
ค7 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 7	98
ค8 เมตริกซ์เวลาที่ใช้เดินทาง (ชั่วโมง) ระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร และเกษตรกร ถึงเกษตรกร	99
จ1 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร และเกษตรกร ถึง เกษตรกร	103
จ2 เมตริกซ์เวลาที่ใช้เดินทาง (ชั่วโมง) ระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร และเกษตรกร ถึงเกษตรกร	104

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เขตพื้นที่ของลูกค้าแต่ละเขตในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล	25
2	ลักษณะหน้าต่างไฟล์เอกสารของโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio version 12.4	30
3	ผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio version 12.4	31
4	เส้นทางเดินที่เป็นไปได้ทั้งหมด สมมติเมื่อ 1 คือ คลังสินค้า	40
5	เส้นทางเดินเมื่อเกิด Subtour	40
6	ตัวอย่างเส้นทางคำตอบที่ดีที่สุดของโซน 1 กรณีศึกษาที่ 1	45
7	ขั้นตอนการทำงานการรับวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวใส	48
8	พะองอุปกรณ์สำหรับการปั่นขึ้นมะพร้าวเพื่อเก็บน้ำตาลใส	48
9	เกษตรกรขณะปั่นพะองขึ้นต้นมะพร้าวเพื่อเก็บน้ำตาลใส	49
10	กระบอกลำหรับรองรับน้ำตาลใส	49
11	ลักษณะการแขวนกระบอกรอบวงมะพร้าวสำหรับรองรับน้ำตาลใส	50
12	เกษตรกรนำน้ำตาลใสที่เก็บจากต้นมะพร้าวเทรวมในถังเพื่อรอเจ้าหน้าที่มารับ	50
13	น้ำตาลใสรวบรวมใส่ถังรอเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ	51
14	แท่งสแตนเลสมีขีดบอกระดับ อุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาณน้ำตาลใสในถัง	51
15	เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพขณะตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลใส	52
16	เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพขณะตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลใส (ต่อ)	52
17	เจ้าหน้าที่ขณะขนถ่ายน้ำตาลใสขึ้นรถบรรทุก หลังตรวจสอบคุณภาพเสร็จ	53
18	เจ้าหน้าที่บรรทุกวัตถุดิบน้ำตาลใสกลับบริษัท	53
19	เจ้าหน้าที่ขณะถ่ายน้ำตาลใสจากถังบนรถบรรทุกเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิต	54
20	เส้นทางของการรับวัตถุดิบน้ำตาลใส กรณีศึกษาที่ 2	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	คำตอบของตัวแปรตัดสินใจ x_{ghk}, y_{ik}, z_k ของกรณีศึกษาที่ 1 โชน 1	83
ข2	คำตอบของตัวแปรตัดสินใจ x_{ghk}, y_{ik}, z_k ของกรณีศึกษาที่ 2	88
ง1	แบบเก็บข้อมูลบริษัทกรณีศึกษาที่ 2	101

**กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการจัดเส้นทางที่มีข้อกำหนดด้านเวลาใน
อุตสาหกรรมเกษตร**

**Mixed Integer Programming for a Vehicle Routing Problems with Time Windows
in Agro-Industry**

คำนำ

ปัจจุบันการแข่งขัน ธุรกิจมีความสำคัญมากขึ้น ความรวดเร็ว และต้นทุนที่ต่ำลงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดความได้เปรียบในการแข่งขัน (Competitive Advantage) การลดต้นทุนที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ (Non Value Added Cost) หรือการสร้างมูลค่าเพิ่มให้เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการจัดส่งสินค้าไปสู่ผู้บริโภค เช่น การจัดการ การขนส่ง การจัดการคลังสินค้า เพื่อให้สามารถรับวัตถุดิบหรือส่งมอบ สินค้าหรือบริการที่มีคุณภาพ ให้กับลูกค้าในเวลาที่ต้องการ ด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด จึงเป็นเรื่องที่ ผู้ประกอบการต่างๆ ให้ความสำคัญ มากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2556 ต้นทุนการขนส่งสินค้าของประเทศไทยมีมูลค่า 947.8 พันล้านบาท คิดเป็น 7.4% ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ซึ่งต้นทุนการขนส่งสินค้าดังกล่าวจัดเป็นต้นทุนการขนส่งทางถนน 4.4% ต่อ GDP และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ , 2557) ประกอบกับสภาวะราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ประกอบการต้องมีการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนในการขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ การกำหนดเส้นทางขนส่งสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังจุดต่างๆ หรือการจัดเส้นทางจากโรงงานเพื่อไปรับวัตถุดิบจากจุดต่างๆ โดยมีเป้าหมายให้ค่าจ่ายต่ำที่สุดโดยคำนึงถึงเวลาในการรับวัตถุดิบหรือส่งสินค้า จัดว่าเป็นปัญหาที่ต้องวางแผนแก้ไขประจำวันหรือประจำสัปดาห์ ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความยากในการตัดสินใจเนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น ขนาดบรรทุกของพาหนะ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ปริมาณวัตถุดิบ ระยะทางการขนส่งสินค้าหรือวัตถุดิบ การจัดส่งให้ตรงตามเวลาที่ต้องการ โดยเฉพาะข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งบริษัทต้องพิจารณาจัดเส้นทางขนส่งให้สอดคล้องกฎหมายและข้อกำหนดของลูกค้า เพื่อสามารถตอบสนองความ

ต้องการของลูกค้าได้ทันตามเวลา มาตรการที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการเดินรถบรรทุกสำหรับทางราบ มีดังนี้ (กองบัญชาการตำรวจจราจร, 2557)

1. ห้ามรถบรรทุกถึงชนก๊าช วัตถุไวไฟ ตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไป และรถพ่วงเดินรถในเขต กรุงเทพฯ ตั้งแต่ เวลา 06.00 - 22.00 น. ทุกวัน เว้นวันอาทิตย์
2. รถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไป ห้ามเวลา 06.00 - 09.00 น. และเวลา 16.00 - 20.00 น. เว้นวันหยุดราชการ
3. รถบรรทุก 10 ล้อ ขึ้นไป ห้ามเวลา 06.00 - 10.00 น. และ 15.00 - 21.00 น. เว้นวันหยุดราชการ
4. ห้ามรถบรรทุกอื่น เช่น บรรทุกขุง เส้าเข็ม เดินรถ เวลา 06.00 - 21.00 น.

อีกทั้งเนื่องจากสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรมีคุณลักษณะพิเศษแตกต่างจากสินค้าอุตสาหกรรมอื่น เช่น ปริมาณและคุณภาพผลผลิตมีความไม่แน่นอน ผลผลิตมีอายุสั้น และเสื่อมคุณภาพเร็ว หากไม่มีการจัดการในเรื่องของเวลา และอุณหภูมิระหว่างการขนส่งที่ดี อาจทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไป ส่งผลให้สามารถตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภคได้ลดลง

งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลา โดยพบปัญหาดังกล่าวในกรณีศึกษาของโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร 2 แห่ง ซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีของโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรที่มีปัญหาด้านการจัดการเส้นทางที่มีข้อจำกัดด้านเวลาทั้งด้านการส่งสินค้า และการรับวัตถุดิบโดยกรณีศึกษาแรก เป็นบริษัทผู้ผลิตสินค้าโดยจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลซึ่งลูกค้าบางรายมีข้อจำกัดด้านเวลาในการรับสินค้าเนื่องจากติดข้อจำกัดด้านเวลาของลูกค้า ส่วนกรณีศึกษาที่สอง เป็นบริษัทผู้ผลิตน้ำตาลสดพร้อมดื่ม ต้องรับวัตถุดิบน้ำตาลใสจากเกษตรกรเพื่อนำมาผลิตสินค้าซึ่งน้ำตาลใสจะมีการเสื่อมเสียได้หากใช้เวลาขนส่งเกิน 4 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยวจากเกษตรกร (Piyarat and Pornthipa, 2014) จากรูปแบบปัญหาทั้งสองกรณี สามารถสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming: MIP) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio ได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้ กำหนดการจำนวนเต็มและกำหนดการจำนวนเต็ม แบบผสมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ในการส่งสินค้าสำเร็จรูป และการจัดรถไปรับวัตถุดิบ ที่มีข้อจำกัดด้านเวลาเพื่อให้ต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด
2. เพื่อประยุกต์ใช้ กำหนดการจำนวนเต็ม แบบผสมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลาของบริษัทกรณีศึกษา 2 แห่งเพื่อรองรับการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีการขยายฐานลูกค้าหรือเกษตรกรในปัจจุบันและในอนาคต

การตรวจเอกสาร

การศึกษากำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการจัดเส้นทางที่มีข้อกำหนดด้านเวลาในอุตสาหกรรมเกษตร มีทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องในการวิจัย 4 ส่วน ได้แก่ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเกษตร (Agro-Industry) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Window: VRPTW) และแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเกษตร (Agro-Industry)

อุตสาหกรรมเกษตร (Agro-Industry) หมายถึง การดำเนินธุรกิจการเกษตร (Agribusiness) ให้เกิดผลิตผลจากการเกษตรและจากการจัดหา เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบการแปรรูป โดยระบบอุตสาหกรรมให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ และให้มีการสูญเสียที่น้อยที่สุดรวมทั้งการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ด้วย

ธุรกิจการเกษตร หมายถึง การดำเนินงานทั้งหลายที่เกี่ยวกับการผลิต (Production) และการจัดจำหน่าย ปัจจัยการผลิตสินค้าเกษตร กิจกรรมการผลิตระดับไร่นา การเก็บเกี่ยว การแปรรูป และการจัดจำหน่ายสินค้าเกษตร และผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผลผลิตเกษตร ขั้นตอนการดำเนินการธุรกิจการเกษตร มีดังนี้

1. การผลิต (Production) คือ กิจกรรมการผลิตสินค้าเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์
2. การเก็บรักษา (Storage) คือการนำวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเก็บรักษาก่อนการแปรรูปหรือการจัดจำหน่ายต่อไป โดยไม่ให้เกิดการเน่าเสีย
3. การแปรรูป (Processing) คือการนำเอาวัตถุดิบมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทั้งจากตัวของวัตถุดิบโดยตรงและจากผลพลอยได้จากวัตถุดิบนั้น โดยเครื่องจักรกลและระบบการผลิตแบบอุตสาหกรรมเกษตร

4. การจัดจำหน่าย (Distribution) การตลาดซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความสำเร็จของผู้ผลิต ผู้ผลิตต้องมีเครือข่ายในการจัดจำหน่ายให้ถึงมือผู้บริโภค ทั้งในประเทศและนอกประเทศ

1.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมเกษตร

อุตสาหกรรมเกษตรเป็นการดำเนินธุรกิจการเกษตรเพื่อให้เกิดผลิตผลทั้งจากการเกษตรกรรม การจัดหาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปโดยเครื่องจักรกลด้วยระบบ อุตสาหกรรมให้ได้ผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้และของเหลือ โดยให้มีการสูญเสียให้น้อยที่สุด รวมทั้งการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นจึงถือได้ว่า อุตสาหกรรมเกษตรมีความสำคัญดังนี้

1. ช่วยให้ผู้บริโภคสามารถยืดอายุและใช้ประโยชน์ จากผลิตผลจากธรรมชาติและการเกษตรได้อย่างเต็มที่ การใช้ประโยชน์ผลิตผลเกษตรทำได้สองทางคือ การนำไปบริโภคและผลิตเครื่องอุปโภค ทั้งในรูปของสดและผลิตภัณฑ์ การใช้วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี ร่วมกันในการดำเนินงานอุตสาหกรรมเกษตรจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. ช่วยให้เกิดธุรกิจการเกษตรอื่น ๆ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบ และสร้างงานให้ประชากรอย่างต่อเนื่องครบวงจร เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรการเกษตร โรงงานผลิตอุปกรณ์การเกษตร โรงการผลิตปุ๋ยและสารเคมี โรงงานผลิตเครื่องจักรแปรรูป ผลิตภัณฑ์ โรงงานฟอกหนังสัตว์ โรงงานผลิตเมล็ดพันธุ์พืช โรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็น เป็นต้น

3. ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป อาหารแช่เยือกแข็ง เทคโนโลยีผลิตน้ำผักผลไม้ อาหารทะเลบรรจุกระป๋อง แก๊สโซฮอลล์ ธุรกิจอาหารฟาสต์ฟู้ด ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส อาหารเสริมสุขภาพ ธุรกิจสปา บริการด้านสุขภาพ ผลิตภัณฑ์พร้อมอำนวยความสะดวกในการบริการและมีมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการบริโภค

4. ช่วยพัฒนาเศรษฐกิจและการเกษตรของประเทศสำเร็จผลมากยิ่งขึ้น อุตสาหกรรมเกษตรทำให้สามารถพัฒนาไปได้อย่างครบวงจร รองรับสินค้าเกษตร ลดการสูญเสียของสินค้าเกษตร โดยการประสานกับแผนการพัฒนาการเกษตร การพัฒนาและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมเกษตร

5. ทำให้เกิดเสถียรภาพทางเศรษฐกิจ และเสถียรภาพในการดำรงชีวิต ด้วยประชากรไทย 70% เป็นเกษตรกร เศรษฐกิจของประเทศจึงขึ้นกับรายได้ของเกษตรกรภายในประเทศ

6. ช่วยลดการเสียเปรียบดุลการค้ากับต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรสามารถส่งออกได้ในราคาที่สูงขึ้น เป็นการยกระดับราคาของผลิตผลทางการเกษตรจึงเกิดอำนาจในการต่อรองราคากับประเทศผู้ซื้อ และยังลดความผันผวนของราคาสินค้าเกษตรด้วย

7. เกิดโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ช่วยให้คนมีงานทำมากขึ้นประชากรของประเทศมีรายได้เพิ่มขึ้น

8. เพิ่มความมั่นคงของประเทศชาติ กองทัพเมื่อมีสงครามต้องมีอาหารสำรองให้ทหารไว้บริโภค ฉะนั้นประเทศใดที่มีพื้นที่สำหรับผลิตวัตถุดิบทางการเกษตรมากๆ จะทำให้เกิดปัญหาการขัดแย้งทางเศรษฐกิจและการเมืองเกิดการล่าอาณานิคมจากประเทศอุตสาหกรรมจึงก่อให้เกิดการตกอยู่ใต้อิทธิพลทางเศรษฐกิจ

1.2 ลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรมเกษตร

พริททา (2553) กล่าวว่า สำหรับอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ อุตสาหกรรมแปรรูป ผลผลิตทางการเกษตรไปเป็นเครื่องอุปโภคบริโภค ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น โดยอุตสาหกรรมอาหารมีลักษณะเฉพาะเนื่องจากเกิดจากการแปรรูปวัตถุดิบที่เป็นผลิตผลทางการเกษตรซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. ปริมาณและคุณภาพผลผลิตมีความไม่แน่นอนสูง ขึ้นกับสภาพแวดล้อม ทำให้ยากแก่การวางแผน
2. ผลผลิตมีอายุสั้น และคุณภาพเสื่อมไปตามเวลา และผลผลิตอาจเกิดการเน่าเสียหากไม่ได้รับการจัดเก็บที่เหมาะสม
3. ผลผลิตหลายประเภทนั้นเก็บเกี่ยวตามฤดูกาล

4. ผลผลิตบางประเภทต้องมีการแบ่งชั้นหรือเกรดของผลผลิต ซึ่งเป็นการเพิ่มขั้นตอนการทำงาน ทำให้เสียเวลาเพิ่มขึ้น อาจเกิดมีของเสียเพิ่มขึ้น
5. ผลผลิตอาจกลายเป็นของเสียปริมาณมาก หากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสม เช่นการเก็บสินค้าคงคลังมากเกินไปทำให้สินค้าหมดอายุ
6. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ทำให้มีสินค้าอาหารหลากหลายประเภท จึงทำให้การพยากรณ์ความต้องการสินค้า การวางแผนการผลิต การขนส่งและการกระจายสินค้ามีความยากขึ้น
7. ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีการเกษตรที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพของผลผลิต
8. การเคลื่อนย้ายและการขนส่งผลผลิตต้องทำด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากผลิตผลอาจเกิดการบอบช้ำทำให้ด้อยคุณภาพลงได้ และอาจจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิตลอดโซ่อุปทาน

2. ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ฉกร (2548) กล่าวว่าปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะ (VRP) เป็นปัญหาส่วนหนึ่งของการจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistics) เป็นการตัดสินใจเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดในการเคลื่อนย้ายวัตถุ โดยการวางแผนจัดลำดับการขนส่งและเส้นทางขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในบริการ

เป้าหมายสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ คือการออกแบบกลุ่มของยานพาหนะ และลำดับของการส่งมอบหรือรับวัตถุดิบ ให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้า โรงงาน หรือศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้า โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วย เช่น เวลา จำนวนยานพาหนะ และระยะทาง เป็นต้น

เนื่องจากปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งนั้นมีขอบเขตที่หลากหลาย และขึ้นกับการประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน การทำความเข้าใจในรายละเอียดของปัญหาให้ดียิ่งขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น Bodin and Golden (1981) ได้นำเสนอลักษณะเฉพาะของสิ่งที่ทำให้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

ลักษณะเฉพาะ	ทางเลือกที่เป็นไปได้
1. ขนาดของยานพาหนะที่มี	- ขนาดเดียว - หลายขนาด
2. ประเภทของยานพาหนะที่มี	- เหมือนกัน (มียานพาหนะแบบเดียว) - ต่างกัน (มียานพาหนะหลายแบบ) - ไม่เจาะจง
3. ที่จอดยานพาหนะ	- คลังสินค้ากลาง 1 แห่ง - คลังสินค้ากลางมากกว่า 1 แห่ง
4. รูปแบบของความต้องการ	- ความต้องการแบบคงที่ (Deterministic) - ความต้องการแบบไม่แน่นอน (Stochastic) - ขึ้นกับความเหมาะสม
5. ตำแหน่งของความต้องการ	- ที่ปม - ที่กึ่ง - ผสมผสาน
6. โครงข่ายพื้นฐาน	- ทางอ้อม - ทางตรง - ผสมผสาน
7. จำกัดความจุของยานพาหนะ	- กำหนด (เท่ากันทุกเส้นทาง) - กำหนด (ต่างกันตามเส้นทาง) - ไม่กำหนด (ไม่จำกัดความจุ)
8. เวลาสูงสุดในเส้นทาง	- กำหนด (เท่ากันทุกเส้นทาง) - กำหนด (ต่างกันตามเส้นทาง) - ไม่กำหนด (ไม่จำกัดความจุ)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลักษณะเฉพาะ	ทางเลือกที่เป็นไปได้
9. การปฏิบัติงาน	- บรรทุกอย่างเดียว - ส่งอย่างเดียว - ผสมผสาน (ทั้งบรรทุกและส่ง)
10. ต้นทุน	- ต้นทุนผันแปรหรือต้นทุนเส้นทาง - ต้นทุนคงที่หรือต้นทุนยานพาหนะ - ต้นทุนขนส่งรวม
11. วัตถุประสงค์	- ลดต้นทุนรวมของเส้นทาง - ลดต้นทุนที่ต้องการของยานพาหนะ - ลดฟังก์ชันที่จะใช้ที่ขึ้นกับการบริการหรือความน่าเชื่อถือ - ลดฟังก์ชันที่จะใช้ที่ขึ้นกับลำดับความสำคัญของลูกค้า

ที่มา: Bodin and Golden (1981)

2.1 วิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา VRP สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.1 วิธีแม่นยำตรง (Exact Method)

เป็นวิธีการคำนวณทุกทางเลือกของผลเฉลย แล้วจึงเลือกผลเฉลยที่ให้ค่าที่ดีที่สุด เช่น วิธีการขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound) (Fisher, 1993) ซึ่งเหมาะสมสำหรับปัญหา VRP ที่มีจำนวนลูกค้าไม่เกิน 100 ราย ได้แก่ วิธีการกำหนดการเชิงพลวัต (Dynamic Programming) และ ขั้นตอนวิธีการตัดระนาบ (Cutting Plane Algorithm) เป็นต้น นอกจากนี้ Agarwal et al. (1989) ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนของเซตผลเฉลย (Set Partitioning) บนพื้นฐานของวิธีแม่นยำตรงเพื่อแก้ปัญหา VRP สำหรับการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้มีการอธิบายในรายละเอียดโดย Christofides et al. (1985) และ Laporte (1992) แต่ข้อด้อยของวิธีแม่นยำตรง คือ เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น วิธีการนี้ไม่รับประกันว่าสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

ได้ เมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้น (มากกว่า 100 ราย) รวมทั้งใช้เวลานานในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากร

2.2.2 วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method)

เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีเพียง พอ ภายในเวลาจำกัด ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-Complete) วิธีฮิวริสติกส์ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาแต่ละประเภท เท่านั้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกส์ที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีสำหรับปัญหาหนึ่ง อาจไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ นอกจากนี้ ในบางปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก การสร้างตัวแปรและเงื่อนไขในตัดสินใจให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) อาจกระทำได้ยาก จึงไม่สามารถใช้วิธีแมนตรง หรือใช้เทคนิคบางอย่างจากวิธีกำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ได้

วิธีฮิวริสติกส์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีลักษณะต่างๆ ดังนี้ ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ หรือไม่สามารถเขียนขั้นตอนวิธีในการหาผลเฉลยที่ชัดเจนได้ เช่น ปัญหาไม่สามารถเขียนในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่ครอบคลุมผลเฉลยที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด หรือปัญหาที่ไม่มีขั้นตอนวิธีการใดๆ สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ ในหลายกรณีที่นักวิจัยพยายามที่จะแก้ไขปัญหาที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์นี้ โดยไม่พิจารณาเงื่อนไขบางประการ หรือตั้งสมมุติฐานของปัญหาให้ง่ายขึ้น เพื่อให้ปัญหามีโครงสร้างที่สมบูรณ์ และสามารถนำวิธีการที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ตัวอย่างของวิธีการนี้พัฒนาขึ้นโดย Fisher and Jaikumar (1981) และ Christofides et al. (1981) ได้อธิบายการใช้วิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์เจียน (Lagrangian Relaxation) สำหรับปัญหา VRP และในกรณีที่ปัญหาการตัดสินใจที่มีตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก ถึงแม้บางปัญหาสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ขั้นตอนวิธีการที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งมักพบโดยทั่วไปในปัญหาของภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัตินี้กว้างแ่่นอาจไม่ต้องการผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ต้องการผลเฉลยที่ดีเพียงพอที่สามารถหาได้ภายในเวลาที่กำหนด และด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า นักวางแผนต้องการค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไข ทั้งนี้โดยทั่วไปนักวางแผนมักมีผลเฉลย หรือทางเลือกอยู่ในใจอยู่แล้ว แต่ต้องการเพียงเครื่องมือ หรือ ขั้นตอนวิธีการที่จะสนับสนุนทางเลือกนั้นๆ หรือใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจนั่นเอง (ณกร, 2548)

3. ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows: VRPTW)

สำหรับปัญหา VRPTW โดยทั่วไปมีรูปแบบเหมือน VRP แต่เพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับระยะเวลาที่ถูกกำหนดให้มีการส่งสินค้าภายในกรอบเวลา (Time Windows) ปัญหาลักษณะนี้ทั่วไปจัดเป็นปัญหาเชิงการจัด (Combinatorial Problem) โดยการจัดลูกค้าเข้าสู่เส้นทางการเดินทางเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำสุด หรือเวลาเดินทางสั้นที่สุด ความซับซ้อนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ความซับซ้อนในการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Model) และความซับซ้อนของวิธีการหาผลเฉลย (Solution Method) สำหรับความซับซ้อนของการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจนั้น คือ การที่ปัญหาไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์อย่างง่าย สั้นและกะทัดรัดเพื่อให้ครอบคลุมฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขทั้งหมดของปัญหาได้ หรือแม้ในบางครั้งอาจสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้ แต่ไม่สามารถใช้วิธีทางคณิตศาสตร์มาแก้ปัญหาได้ เนื่องจากปัญหานี้เป็นการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Decision Problem) ถึงแม้จะสร้างขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการหาผลเฉลย อาจต้องประสบปัญหาการใช้เวลาในการค้นหาผลเฉลย เมื่อลูกค้าและเงื่อนไขของปัญหามีเป็นจำนวนมาก ปัญหา VRPTW จัดเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด ที่ใช้เวลาในการหาผลเฉลยเพิ่มขึ้นแบบเลขชี้กำลัง (Exponential) หรือแบบแฟกทอเรียล (Factorial) ในกรณีที่สร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวแปรตัดสินใจฐานสอง (Binary Variable) จำนวนตัวแปรเท่ากับ $N^2 \times K$ โดยที่ N คือ จำนวนรวมของลูกค้า และ M คือ จำนวนรวมคลังสินค้า และ K คือ จำนวนเส้นทางหรือจำนวนรถขนส่ง เห็นได้ว่าผลเฉลยที่เป็นไปได้มีจำนวนมาก ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยได้ด้วยวิธีแมนตรง งานวิจัยส่วนมากจึงนิยมใช้ขั้นตอนวิธีการฮิวริสติกส์ และเมตาฮิวริสติกส์ ในการแทรกลูกค้าเข้าไปในเส้นทางเดินทาง และจัดลำดับใหม่ให้ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้น

3.1 ตัวแบบคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะแบบมีกรอบเวลา

ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะมีกรอบเวลาต่อไปนี้ดัดแปลงมาจาก นลินี และ พิรุทธิ์ (2546), Kohl and Madsen (1997) และ Tan *et al.* (2001) ประกอบด้วยจุดขนส่ง i, j โดยกำหนดให้ $i, j \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$ โดยที่ N คือ จำนวนลูกค้าทั้งหมด และ กำหนดให้คลังสินค้าอยู่ ณ ตำแหน่ง 0 ความต้องการสินค้าที่ตำแหน่ง i มีค่าเป็น m_i ใช้รถบรรทุก $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ โดยที่ K คือ จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด ที่มีความจุ q_k เท่ากันทุกคันในการขนส่ง รถแต่ละคันมีเวลาใช้งานต่อวันจำกัด เท่ากับ r_k กำหนดให้ x_{ijk} คือตัวแปรตัดสินใจ $i \neq j$ โดยที่ x_{ijk} มีค่าเป็น 1 ถ้ารถ k วิ่งจากจุด i ไปยังจุด j

และมีค่าเป็น 0 เมื่อเป็นอย่างอื่น ระยะทางระหว่างตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j คือ d_{ij} ซึ่งใช้เวลาเดินทาง t_{ij} และเสียค่าใช้จ่าย c_{ij}

ให้ t_i เป็นเวลาที่รถไปถึง ณ ตำแหน่ง i เมื่อเดินทางถึง j เวลาที่สามารถขนถ่ายสินค้าที่ตำแหน่ง j ได้เร็ว และช้าที่สุดคือ e_j และ l_j ตามลำดับ หากรถมาถึงตำแหน่ง j ก่อนหมายกำหนดการต้องรอเป็นเวลา w_j และ f_j คือเวลาที่ใช้นขนถ่ายที่ตำแหน่ง j

เราสามารถเขียนตัวแบบคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งโดยมีกรอบเวลาได้ดังนี้

- วัตถุประสงค์

$$\text{Min} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

- ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{iNk} = 1 \quad \forall k \in 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N m_j \sum_{j=0, j \neq i}^N x_{ijk} \leq q_k \quad \forall k \in 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N x_{ijk} (t_{ij} + f_j + w_j) \leq r_k \quad \forall k \in 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

$$t_0 = w_0 = f_0 = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} (t_i + t_{ij} + f_j + w_j) \leq t_j \quad \forall j \in 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

$$e_j \leq (t_{ij} + w_j) \leq l_j \quad \forall i, j \in 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

สมการข้างต้นสามารถสรุปความหมาย ได้ดังนี้

สมการที่ 1 คือ สมการเป้าหมาย เพื่อหาต้นทุนการจัดส่งน้อยที่สุด

สมการที่ 2 คือ รถทุกคันต้องเริ่มออกจากคลังสินค้าเสมอ

สมการที่ 3 คือ รถทุกคันต้องกลับมาที่คลังสินค้าเสมอ

สมการที่ 4, 5 คือ รถแต่ละคันสามารถแวะที่จุดแต่ละจุดได้ครั้งเดียวเท่านั้น

สมการที่ 6 คือ ทุกเส้นทางสามารถบรรทุกได้สูงสุดไม่เกิน q_k

สมการที่ 7 คือ ระยะเวลาสูงสุดต่อเส้นทางต้องไม่เกิน r_k

สมการที่ 8, 9, 10 คือ ข้อกำหนดของกรอบเวลา

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะแบบมีกรอบเวลา

Dondo *et al.* (2006) แก้ปัญหา VRPTW โดยเริ่มจากการหาผลเฉลยเริ่มต้น และใช้
อนุกรมเชิงคณิตศาสตร์ในการหาผลเฉลยที่เหมาะสม มีการสลับสับเปลี่ยนลูกค้านบนเส้นทาง และ
จัดลำดับใหม่ การปรับปรุงผลเฉลยนี้อยู่บนพื้นฐานของโดเมนเวลาต่อเนื่อง (Continuous Time-
Domain) ซึ่งจัดเป็นลักษณะของปัญหาการมอบหมายงาน และการจัดลำดับด้วยเซตของตัวแปร
แบบไบนารี

Solomon (1986) ได้ออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของเส้นทางเดินรถที่มีลูกค้า
จำนวนมาก ด้วยวิธีฮิวริสติกส์สำหรับปัญหา VRP และ Solomon (1987) ได้เสนอขั้นตอนวิธีการ
Push-Forward-Insertion Heuristics: PFIH สำหรับการหาผลเฉลยเริ่มต้นของปัญหา VRPTW ซึ่ง
เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและค่อนข้างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในเวลาต่อมาวิธีดังกล่าวก็ได้รับการพัฒนา

และนำไปใช้ร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์อื่นๆ ซึ่งมักเรียกกันว่าวิธีแบบผสมผสาน (Hybrid Algorithm) ซึ่งเป็นการรวมเอาวิธีฮิวริสติกส์หลายวิธีมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งขั้นตอนวิธีการที่มักถูกนำมาผสมผสานกันนี้ ประกอบด้วย Genetic Algorithm: GA, Simulated Annealing: SA และ Tabu Search: TS วิธีการเริ่มจากการหาผลเฉลยเริ่มต้นด้วยวิธี Push Forward Insertion Heuristic (PFIH) และปรับปรุงผลเฉลยโดยวิธีการสืบค้นเฉพาะที่ (Local Search Descent Method)

Thangiah (1999) ได้นำขั้นตอนวิธีการดังกล่าวสำหรับการแก้ปัญหาที่มีลูกค้าตั้งแต่ 100 - 417 ราย ซึ่งนับเป็นงานวิจัยที่เป็นต้นแบบของการพัฒนาขั้นตอนวิธีการแบบผสมผสาน ทั้งวิธีการแบบฮิวริสติกส์และเมตาดาฮิวริสติกส์ ในการหาผลเฉลยของปัญหาเชิงการจัดที่มีขนาดใหญ่ โดยนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา นักวิจัยหันมามุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนวิธีการเมตาดาฮิวริสติกส์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีแมนตรง ได้รับความนิยมน้อยลงตามลำดับ อันเนื่องมาจากความซับซ้อนของปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมาก ทำให้ประสิทธิภาพของวิธีแมนตรง ลดลง จนไม่อาจหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด หรือผลเฉลยเฉพาะที่ได้ Beatrice et al. (2006) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับปัญหา VRPTW แบบมีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Problem) โดยการหาจำนวนรถขนส่งน้อยที่สุด และผลรวมต้นทุนในการเดินทางขนส่ง หรือระยะทางสั้นที่สุดโดยใช้ GA และเทคนิคการเรียงลำดับแบบพารेटโต้ (Pareto Ranking) ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ วิธีการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหา VRPTW ที่มีจำนวนลูกค้ามากกว่า 100 ราย

Sam (1995) ประยุกต์รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งโดยมีกรอบเวลาเพื่อลดต้นทุนการขนส่งโดยคำนวณเฉพาะเวลาเดินทางจากลูกค้าหนึ่งไปยังอีกลูกค้าถัดไปในเที่ยวขนส่งหนึ่งๆ เท่านั้น และแยกเวลารอคอยกับเวลาให้บริการแต่ละลูกค้าเป็นเวลาพบปะลูกค้าโดยไม่ได้นำมาคิดเป็นต้นทุน นอกจากนี้ยังยอมให้ส่งสินค้าได้ก่อนและหลังเวลาที่กำหนดได้ แต่เพิ่มโทษในสมการเป้าหมายแทน ทำนองเดียวกัน Landrieu et al. (2001) ได้ประยุกต์รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งโดยมีกรอบเวลาเพื่อลดต้นทุนการขนส่งแบบ Pickup and Deliver Time แต่ไม่ยอมให้รถไปถึงช้ากว่ากรอบเขตเวลาช้าสุดที่สามารถส่งสินค้าได้ แต่ถ้ามาถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าถึงเวลาที่จะส่งมอบเท่านั้น ตัวอย่างของงานวิจัยที่คำนึงถึงกรอบเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นไม่ได้คือ Tan et al. (1999) โดยมีการกำหนดระยะเวลาที่รถสามารถวิ่งได้สูงสุดต่อหนึ่งเส้นทางทุกๆ คัน เป็นเงื่อนไขเพิ่มเติมนอกเหนือไปจากการที่รถแต่ละคันมีความจุจำกัด เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งต่ำลง

4. การจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling)

Powell and Baker (2011) กล่าวว่า การจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เป็นกระบวนการอธิบายความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ โดยการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ สำหรับศึกษาและอธิบายปัญหาที่เกิดขึ้นจริง เพื่อช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองได้เข้าใจถึงสถานการณ์ของปัญหา และช่วยให้การตัดสินใจแก้ปัญหาทำได้ดียิ่งขึ้น

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ มี 6 ขั้นตอน (อภิชัย, 2555) ดังนี้

1. การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น กระบวนการผลิต ใช้อุปทานของธุรกิจ ปริมาณความต้องการสินค้า ปริมาณการผลิต ยอดขาย และค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องต่างๆ

2. การวิเคราะห์ข้อมูล ทำการศึกษาและวิเคราะห์การไหลของวัตถุดิบหรือสินค้า ในแต่ละส่วนภายในโซ่อุปทาน เริ่มตั้งแต่ผู้ผลิตซึ่งเป็นต้นน้ำไปยังผู้บริโภคหรือปลายน้ำ จากนั้นกำหนดปัญหาและขอบเขตที่ต้องการศึกษา เพื่อให้การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถแก้ปัญหาได้ตรงประเด็น

3. การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ มีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

2) กำหนดลักษณะของตัวแปรตัดสินใจ ให้สอดคล้องกับผลเฉลย เช่น ค่าเป็นจำนวนเต็ม (Integer Values) หรือ ค่าไม่เป็นจำนวนเต็ม (Noninteger Values)

3) เลือกแบบจำลองคณิตศาสตร์ เช่น โปรแกรมเชิงเส้นตรง กำหนดการจำนวนเต็ม กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม เป็นต้น

4) กำหนดต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่สัมพันธ์กับตัวแปรตัดสินใจ เพื่อสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์

5) กำหนดข้อสมมติ (Assumption) การกำหนดความสัมพันธ์หรือสิ่งที่ปรากฏในแบบจำลอง ที่แตกต่างจากความจริง ข้อสมมติถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและสร้างแบบจำลอง โดยต้องกำหนดให้ครอบคลุมในทุกประเด็นที่แตกต่างจากความจริงภายนอก ภายในขอบเขตที่เราศึกษาปัญหา

6) กำหนดเซต (Set) หรือ ดัชนี (Index) เพื่อสามารถกำหนดพารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ และเงื่อนไขบังคับที่มีจำนวนมากสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนให้เขียนได้สั้น กระชับ เข้าใจรวดเร็ว

7) กำหนดพารามิเตอร์ คือ การกำหนดตัวแปรป้อนเข้า เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ การเก็บข้อมูล การประมาณค่า หรือการหาค่าเฉลี่ย เพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลสำหรับป้อนเข้าแบบจำลอง

8) กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้สอดคล้องกับเป้าหมาย เช่น เป้าหมายเพื่อให้กำไรสูงสุด หรือ เป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด

9) สร้างเงื่อนไขบังคับ และข้อจำกัดต่างๆ เช่น ข้อจำกัดของทรัพยากรที่มี นโยบายของบริษัท และ เงื่อนไขบังคับสำหรับตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าไม่เป็นลบ (Nonnegativity)

4. การหาผลเฉลยและทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์

หาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ให้เหมาะสมกับประเภทของแบบจำลองโดย Fourer (2011) ได้แบ่งประเภทของซอฟต์แวร์ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Softwares) สำหรับโปรแกรมเชิงเส้น และ กำหนดการจำนวนเต็ม ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น และเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ซึ่งอาจเป็นสมการเชิงเส้น หรือ อสมการเชิงเส้น เป็น 2 ประเภท คือ

1) ซอฟต์แวร์ประเภท Modeling เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแปลภาษาแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้เป็นภาษาคอมพิวเตอร์โดยการจัดเก็บไว้ในไฟล์คอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้นำเสนอรายงานการจัดการแบบจำลองในสถานการณ์ต่างๆ และการสร้างโปรแกรมประยุกต์ ซอฟต์แวร์ประเภทนี้ได้แก่ AMPL, DATAFOAM, GAMS และ MPL เป็นต้น

2) ซอฟต์แวร์ประเภท Solver เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยผู้ใช้งานทำการป้อนไฟล์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ถูกเขียนโดยซอฟต์แวร์ประเภท Modeling และใช้ซอฟต์แวร์ประเภท Solver ในการหาผลเฉลย ได้แก่ CBC, CLP, CPLEX, GENO และ Gurobi เป็นต้น

5. การวิเคราะห์ผลเฉลย

การวิเคราะห์ผลเฉลยเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อให้ผลเฉลยที่ได้สามารถนำไปช่วยตัดสินใจการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือที่นิยมใช้ เช่น การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงระดับความเหมาะสมของทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัด

6. การนำไปปฏิบัติ

หลังจากการทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น และวิเคราะห์ผลเฉลยแล้ว สามารถนำผลเฉลยที่ได้ให้ผู้ปฏิบัติงานใช้งาน ระยะแรกอาจพบข้อบกพร่องบ้างควรดำเนินการปรับแก้ไขต่อไป

4.1 โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming: LP)

โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) เป็นเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาด้านการบริหารการผลิต การขนส่ง วิศวกรรม ทหาร การแพทย์ สังคมศาสตร์ โปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าสูงสุด หรือต่ำสุด เช่น กำไรสูงสุด ต้นทุนต่ำสุด ในการนำโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้งานจะต้องเข้าใจข้อสมมุติของโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อวิเคราะห์และใช้งานกำหนดการเชิงเส้นได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (Winston *et al.*, 2001)

1. ลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเป็นสัดส่วน (Proportionality) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรจะมีผลกระทบที่แน่นอน ทั้งในฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับของปัญหา เช่น การผลิตสินค้าในจำนวนมากขึ้นย่อมใช้วัตถุดิบที่มากขึ้น หากจำหน่ายได้หมดกำไรรวมทั้งหมดที่ได้ย่อมเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. มีความเป็นเส้นตรง (Linear Relationship) กล่าวคือ เป้าหมายและเงื่อนไขจำกัดของปัญหาสามารถสร้างเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ด้วยการนำมาบวกลบกัน เช่นรายได้รวมจากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเส้น คือ รายได้จากการจำหน่ายผงปรุงรสสูตร 1 ได้จำนวน A ของราคา 25 บาทต่อซอง รวมกับรายได้จากการจำหน่ายผงปรุงรสสูตร 2 ได้จำนวน B ของราคา 35 บาทต่อซอง สามารถนำมาสร้างเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{รายได้รวมจากการขายผงปรุงรสทั้งหมด} = 25A + 35B \text{ บาท}$$

ทั้งนี้ฟังก์ชันที่เขียนจะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรง กล่าวคือ ตัวแปรที่มีลักษณะยกกำลัง 1 บวกหรือลบกัน

3. ความแน่นอน (Certainty) ข้อมูลนำเข้าต่างๆ ต้องมีค่าแน่นอน เช่น จำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ จำนวนการใช้ทรัพยากรในการผลิต กำไรต่อหน่วย ต้นทุนต่อหน่วย ซึ่งในความเป็นจริงข้อมูลบางอย่างได้มาจากการคาดคะเน หรือเป็นตัวเลขโดยประมาณ อันอาจจะคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงมีความไม่แน่นอนแฝงอยู่บ้าง

4. ค่าตัวแปรต้องไม่ติดลบ (Non-Negativity) การแสดงผลของโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อหาค่าตัวแปรใดๆ ก็ตาม ต้องพิจารณาจากพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) โดยพื้นที่ดังกล่าวต้องอยู่ในช่วงจตุภาค (Quadrant) ที่เป็นบวกของกราฟเสมอ เนื่องจากการวัดผลเชิงปริมาณทางธุรกิจ ไม่อาจพิจารณาค่าติดลบได้

5. ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Continuous Variables) ตัวแปรทุกตัวในแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นสามารถมีค่าเป็นเศษส่วนหรือทศนิยมได้ ซึ่งในกรณีที่ต้องการคำตอบค่าตัวแปรต่างๆ เป็นเลขจำนวนเต็ม อาจทำได้โดยการปิดเศษ หรืออาจใช้แบบจำลองเชิงปริมาณแบบอื่นที่คล้ายคลึงกันที่เรียกว่า แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming Model) ได้

6. ปัญหาที่มีวัตถุประสงค์เดียว (One Objective) แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจะมีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการหาค่าสูงสุดหรือหาค่าต่ำสุด โดยจะมีเพียงวัตถุประสงค์เดียวเท่านั้น ซึ่งบางครั้งผู้ใช้อาจพบว่าปัญหามีความต้องการหลายด้าน ดังนั้นจึงต้องเลือกว่าวัตถุประสงค์ใดสำคัญกว่า ก็จัดเป็นวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหา แล้วนำวัตถุประสงค์ที่สำคัญรองลงมาจัดไว้เป็นเงื่อนไขของปัญหาแทน

โครงสร้างของโปรแกรมเชิงเส้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก (Taha, 1997) คือ

1. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ได้แก่ สิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์
2. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งจะมีวัตถุประสงค์เดียว อยู่ในรูปของเป้าหมายการหาค่าสูงที่สุด (Maximum) หรือต่ำที่สุด (Minimum)
3. เงื่อนไขบังคับ (Constraints) คือ สมการหรืออสมการที่แสดงถึงขีดจำกัดในด้านทรัพยากร ความต้องการ หรือเงื่อนไขต่างๆ ของปัญหา โดยมีความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในเงื่อนไขบังคับแต่ละข้อเป็นเส้นตรง จำนวนเงื่อนไขบังคับจะขึ้นอยู่กับสภาพของปัญหาว่ายุ่งยากและซับซ้อนเพียงใด

Chen *et al.* (2010) กล่าวว่า ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น เป็นประเภทหนึ่งของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (Mathematical Programming) ซึ่งคำตอบที่ได้ เป็นตัวแปรต่อเนื่องที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดโดยที่ข้อจำกัดเป็นเซตของเส้นตรง อีกทั้ง พินดา และ ยุทธภูมิ (2546) กล่าวว่า ในการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น คำตอบของตัวแปรที่ได้ไม่จำเป็นต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม แต่ในบางกรณี คำตอบที่เป็นเศษส่วนหรือทศนิยมอาจไม่เหมาะสม เพราะคำตอบที่ต้องการจะต้องมีเลขเป็นจำนวนเต็มเท่านั้นจึงจะนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ เช่น จำนวนคนงาน เป็นต้น ดังนั้นจึงมีวิธีที่ใช้หาค่าที่ดีที่สุด เรียกว่า “การหาค่าเหมาะที่สุดจำนวนเต็ม (Integer Programming)” ซึ่งเป็นวิธีในการคำนวณหาผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจต่างๆ ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยจะให้ค่าของตัวแปรการตัดสินใจเป็นเลขจำนวนเต็มเท่านั้น ซึ่งค่าจำนวนเต็มเหล่านี้จะนำไปใช้เพื่อการดำเนินงานได้โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยน

4.2 การหาค่าเหมาะที่สุดจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP)

การหาค่าเหมาะที่สุดจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP) คือ เครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกับ LP โดยแบบจำลอง IP ประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับต่างๆ เหมือนกับแบบจำลอง LP แต่มีอีกหนึ่งเงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมที่แตกต่างจาก LP คือ กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจบางตัวแปรหรือทุกตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนเต็ม โดย IP สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามค่าของตัวแปรตัดสินใจ ดังตารางที่ 2

ปัญหาโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP) ก็คือปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นที่มีการกำหนดค่าตัวแปรอย่างน้อย 1 ตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็ม แต่ในรอบ 20 ปี ที่ผ่านมามีการใช้คำศัพท์ โปรแกรมเชิงเส้นแบบผสม (Mixed Integer Programming: MIP) เพิ่มขึ้นสำหรับกรณีปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นที่กำหนดตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มบางส่วนหรือทั้งหมด เพื่อป้องกันความสับสนจึงกำหนดให้ใช้คำว่า Pure Integer Programming เมื่อหมายความว่า โปรแกรมจำนวนเต็ม ที่มีตัวแปรเป็นค่าจำนวนเต็มทั้งหมด (Chen *et al.*, 2010)

ตารางที่ 2 ประเภทของกำหนดการจำนวนเต็ม

ประเภทของ IP	ค่าของตัวแปรตัดสินใจ
1. กำหนดการจำนวนเต็ม (Integer Programming: ILP)	ทุกตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม
2. กำหนดการจำนวนเต็มทวิภาค (Binary Integer Programming: BIP)	ทุกตัวแปรเป็นตัวแปรทวิภาค (0-1)
3. กำหนดการจำนวนเต็มผสม (Mixed-Integer Programming: MIP)	บางตัวแปรเป็นจำนวนเต็มและบางตัวแปรไม่เป็นจำนวนเต็ม

ที่มา: Hillier and Lieberman (2010)

4.3 กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming: MIP)

การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วย กำหนดการจำนวนเต็ม แบบผสม เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย มีการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาต่างๆ เช่น การออกแบบผังโรงงาน การจัดการการผลิต การวางแผนการเพาะปลูกพืช ใช้อุปทาน การเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน และการจัดเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาการตัดสินใจที่กำหนดให้ค่าของตัวแปรการตัดสินใจ มีทั้งแบบตัวแปรต่อเนื่องและแบบจำนวนเต็ม จึงใช้กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมแก้ปัญหาได้ โดยกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมจะมีลักษณะดังนี้ (Chen *et al.*, 2010)

- วัตถุประสงค์

$$\text{Maximize } z = \sum_j c_j x_j + \sum_k d_k y_k \quad (11)$$

- ข้อจำกัด

$$\sum_j a_{ij} x_j + \sum_k g_{ik} y_k \leq b_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

$$y_k = 0, 1, 2, \dots \quad \forall k = 1, 2, \dots, p \quad (14)$$

โดย

m คือ จำนวนข้อจำกัด

n คือ จำนวนตัวแปรที่มีค่าต่อเนื่อง

p คือ จำนวนตัวแปรที่มีค่าจำนวนเต็ม

4.4 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) คือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ ตัวแปร และฟังก์ชันข้อจำกัดของแบบจำลองคณิตศาสตร์ หลังจากได้คำตอบที่ดีที่สุด เพื่อพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อคำตอบที่ดีที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือไม่ อย่างไร โดยแบ่งการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ออกเป็น 4 ด้าน (กิตติ และพนิดา, 2554) ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงข้อจำกัดของทรัพยากรหรือค่าทางด้านขวาของฟังก์ชันข้อจำกัด เป็นการพิจารณาว่าหากค่าทางขวาของสมการข้อจำกัดมีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้คำตอบที่ดีที่สุดเดิมเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

2. การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เป็นการพิจารณาว่าหากสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการวัตถุประสงค์มีการเปลี่ยนแปลง คำตอบที่ดีที่สุดเดิมจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

3. การเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ทรัพยากร หรือสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรของอสมการข้อจำกัด เป็นการพิจารณาว่าหากสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรของอสมการข้อจำกัดมีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้คำตอบที่ดีที่สุดเดิมเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

4. การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนฟังก์ชันข้อจำกัด เป็นการพิจารณาว่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนฟังก์ชันข้อจำกัด จะทำให้คำตอบที่ดีที่สุดเดิม เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

4.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรัชญาพร (2552) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมเพื่อลดการวิ่งรถเที่ยวเปล่าจากการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม และแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS 22.5 ผลการศึกษา พบว่า ปัญหาขนาดเล็กที่ประกอบด้วย รถบรรทุกจำนวน 4 คัน และจุดทั้งหมดจำนวน 9 จุด คือ จุดเริ่มต้น 2 จุด จุดรับสินค้า 2 จุด จุดส่งสินค้า 3 จุด และจุดปลายทาง 2 จุด สรุปผลได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้ สามารถลดระยะทางการวิ่งรถเที่ยวเปล่าได้ 231.11 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 11.60% และจากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยปัญหาที่ใหญ่ที่สุด คือ ปัญหาที่มีจำนวนรถบรรทุกทั้งหมด 35 คัน จำนวนจุดทั้งหมด 102 จุด ซึ่งประกอบด้วย จุดเริ่มต้น 17 จุด จุดรับสินค้า 15 จุด จุดส่งสินค้า 49 จุด และจุดปลายทาง 21 จุด พบว่า สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยใช้เวลาในการหาคำตอบ 17.735 วินาที

Cetinkaya *et al.* (2013) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบ 2 ขั้นตอน (two-stage) แบบมีข้อจำกัดเวลาบนเส้นทางขนส่ง ของการขนส่งด้านทหารและพลเรือน โดยสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์โปรแกรมเชิงเส้นแบบผสม (MIP) และวิธีฮิวริสติกส์ เพื่อแก้ปัญหา พบว่าวิธี MIP สามารถแก้ปัญหาโดยหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เมื่อมี จุดทั้งหมด 20 และ 25 จุด และบางปัญหาสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อมีจุดทั้งหมด 100 จุด

Anbuudayasankar *et al.* (2010) ได้พัฒนาแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นแบบผสมเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะการขนส่งสินค้าและรับสินค้าพร้อมกัน (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup : VRPSDP) ด้วยข้อจำกัดระยะทางมากที่สุด และทดสอบผลด้วยชุดข้อมูลมาตรฐานของ VRPSDP ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองเป็นที่น่าเชื่อถือและเหมาะสมกับการแก้ปัญหา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์

- ระบบปฏิบัติการ Windows 7 Ultimate Service Pack 1
- หน่วยประมวลผลกลาง Intel Core 2 Duo 2.2 GHz
- หน่วยความจำ 2 GB
- ความจุของ Hard Disk Drive 250 GB

2. โปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4

3. โปรแกรมสำเร็จรูป Garmin BaseCamp Version 4.0.1

4. เครื่องมือหาพิกัดบนพื้นโลกด้วยระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) ชนิดพกพาี่ห้อ GARMIN รุ่น OREGON 550

5. กล้องถ่ายรูปดิจิทัล

6. แบบเก็บข้อมูลสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

วิธีการ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลา โดยการประยุกต์ใช้ การกำหนดจำนวนเต็ม แบบผสม ซึ่งศึกษาจากปริศนาคณิตศาสตร์ 2 ปริศน โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน รายละเอียดดังนี้

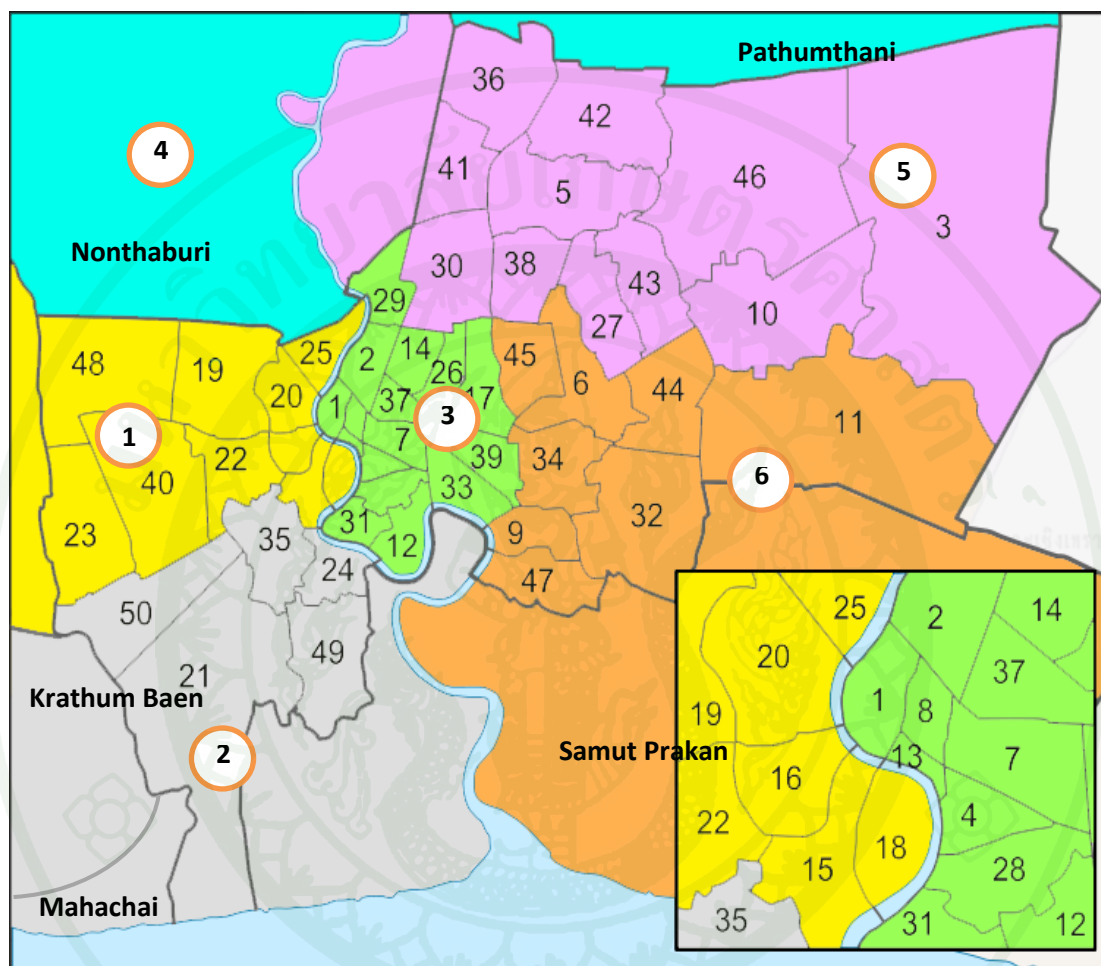
ส่วนที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1 บริษัทผู้ผลิตผงปรุงรส

1. ศึกษาปัญหาจากแหล่งที่มาของข้อมูล ของปริศนาคณิตศาสตร์เรื่อง การใช้วิธีแบ่งเขตและกำหนดการจำนวนเต็มเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลา (ลัทธเดชฐ์, 2555; Ongarj and Ongkunaruk, 2013)

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลการแบ่งเขตลูกค้า (Service Zoning) จากข้อมูลจำนวนลูกค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลปี พ.ศ. 2554 ของปริศนาคณิตศาสตร์พบว่าจำนวนลูกค้าทั้งสิ้น 690 ราย และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีเนื่องจากนโยบายในการหาลูกค้าใหม่ของฝ่ายขาย โดยลูกค้าแต่ละรายนั้นมีความต้องการสั่งซื้อสินค้าไม่เท่ากัน อีกทั้ง การจัดเส้นทางยานพาหนะอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่จัดส่งสินค้า ทำให้ไม่มีรูปแบบการจัดเส้นทางที่แน่นอน อาจส่งผลให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น พนักงานขายสินค้าในแต่ละเขตไม่สามารถบอกเวลาในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ พนักงานร่วมนขนส่งไม่พึงพอใจต่อเส้นทางที่ทางเจ้าหน้าที่จัดส่งได้วางไว้เนื่องจากระยะทางของลูกค้าแต่ละรายอยู่ห่างกันมากเกินไปทำให้ใช้เวลาในการจัดส่งสินค้ามากขึ้น และหากขนส่งไม่ทันอาจต้องจัดเส้นทางยานพาหนะใหม่ขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายบัญชีต้องเปิดใบกำกับภาษีใหม่ให้กับลูกค้ารายใหม่ ฝ่ายคลังสินค้าต้องจัดสินค้าใหม่ให้กับบรรณาร่วมขนส่ง ทำให้ต้นทุนด้านการจัดการเพิ่มขึ้น เช่น ค่าล่วงเวลาในการทำงาน เชื้อเพลิงที่ใช้ในการจัดเก็บสินค้าและจัดส่งสินค้าใหม่ เป็นต้น ประกอบปัญหาที่พบเป็นส่วนใหญ่ คือ การเปลี่ยนเจ้าหน้าที่จัดส่งสินค้าบ่อย ซึ่งต้องมีการฝึกอบรมและใช้เวลานานในการเรียนรู้งาน เนื่องจากไม่มีระบบการทำงานที่แน่นอน การตัดสินใจในการจัดเส้นทางเกิดจากประสบการณ์ในการทำงานของเจ้าหน้าที่จัดส่ง ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงเจ้าหน้าที่จัดส่งจึงต้องใช้เวลาในการจัดระบบงานนาน โดยในปัจจุบัน เป็นการแบ่งเขตลูกค้า ออกเป็น 6 เขตตามทำเลที่ตั้งเพื่อลดจำนวนลูกค้าให้น้อยลงแล้วจึงแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในแต่ละเขต ใช้วิธีฮิวริสติกส์ Cluster First - Route

Second (กวี, 2550) โดยนำข้อมูลการขายและการขนส่งสินค้าในปัจจุบันมาวิเคราะห์ในการแบ่งเขตลูกค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญในแต่ละฝ่ายมาประชุม โดยใช้แผนที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลช่วยในการตัดสินใจ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เขตพื้นที่ของลูกค้าแต่ละเขตในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล

1.2 ข้อมูลจำนวนกลุ่ม จำนวนลูกค้า ความต้องการสินค้า และค่าขนส่งสินค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลแบ่งตามเขตพื้นที่ ดังตารางที่ 3

1.3 ข้อมูลที่ตั้งกลุ่มลูกค้าในแต่ละเขต จากการแบ่งเขตลูกค้าเป็น 6 เขต ในแต่ละเขตมีลูกค้าซึ่งส่วนใหญ่เป็นร้านค้าปลีกในแต่ละเขตประมาณ 100 – 150 ราย และมีปริมาณความต้องการสินค้าที่แตกต่างกัน ในแต่ละเขตมีการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่ม ซึ่งลูกค้าที่ตั้งอยู่ใกล้กันจะรวมเป็นกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้สามารถส่งสินค้าไปพร้อมกันได้ และเป็นการลดขนาดของปัญหาให้เล็กลง ดัง

ตารางที่ 4 ซึ่งแสดงที่ตั้งกลุ่มลูกค้าในแต่ละเขต การแบ่งเขตลูกค้าในลักษณะนี้จะทำให้ผู้ให้บริการขนส่งจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้สะดวกขึ้น

1.4 ข้อมูลการขนส่งสินค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งจะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนการจัดส่งสินค้า จำนวนรถที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าต่อเดือน ข้อจำกัดด้านเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย โดยหมายเลข 1 หมายถึง ลูกค้ามีข้อจำกัดด้านเวลาและหมายเลข 0 หมายถึงลูกค้าไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 จำนวนกลุ่ม จำนวนลูกค้า ความต้องการสินค้า และค่าขนส่งสินค้าในแต่ละเขต

เขต	จำนวนกลุ่ม (กลุ่ม)	จำนวนลูกค้า (ราย)	จำนวนความ ต้องการสินค้า (หีบ/เดือน)	ค่าขนส่ง (บาทต่อ หีบ)
1	15	150	2,640	1,350
2	11	116	2,620	1,550
3	16	131	1,850	1,550
4	17	103	4,220	1,650
5	13	80	3,300	1,550
6	16	110	1,720	1,650
รวม	88	690	16,350	

ที่มา: ลิขสิทธิ์ (2555)

ตารางที่ 4 ที่ตั้งกลุ่มลูกค้าในแต่ละเขต

เขตที่ 1	เขตที่ 2	เขตที่ 3	เขตที่ 4	เขตที่ 5	เขตที่ 6
พุทธมณฑล	กระทุ่มแบน	บางชื้อ	บางใหญ่	ปากเกร็ด	วังทองหลาง
สาขลา	บางบอน	บางซื่อน	นนทบุรี	ดอนเมือง	บางกะปิ
ทวีวัฒนา	จอมทอง	เตาปูน	บางบัวทอง	สายไหม	ลาดกระบัง
ตลิ่งชัน	ราษฎร์บูรณะ	คูสิต	ลาดหลุมแก้ว	บางเขน	สุวรรณภูมิ
บางกอกน้อย	พระประแดง	เทเวศร์	ปทุมธานี	คลองสามวา	บางบ่อ
บางอ้อ	บางมด	มหานาค	ไทรน้อย	หนองจอก	บางเสาธง
บางพลัด	ทุ่งครุ	เยาวราช	ตลาดไท	มีนบุรี	บางพลี
บางกอกใหญ่	พระสมุทรเจดีย์	ป้อมปราบ	ลำลูกกา	คันนายาว	สมุทรปราการ
วงเวียนใหญ่	ท่าข้าม	สัมพันธวงศ์	ชัยบุรี	บึงกุ่ม	สำโรง
คลองสาน	บางขุนเทียน	บางคอแหลม	คลองหลวง	จตุจักร	บางนา
ภาษีเจริญ	มหาชัย	ยานนาวา	สี่มุมเมือง	หลักสี่	พระโขนง
บางแค		สาทร	วังน้อย		ประเวศ
หนองแขม		พญาไท			สวนหลวง
อ้อมน้อย		ดินแดง			
อ้อมใหญ่		วัฒนา			
		คลองเตย			

ที่มา: ลิขสิทธิ์ (2555)

ตารางที่ 5 ความต้องการสินค้า (D_i) และข้อจำกัดด้านเวลา (T_i) ของลูกค้าราย

No.	เขต											
	1		2		3		4		5		6	
	D_i	T_i	D_i	T_i	D_i	T_i	D_i	T_i	D_i	T_i	D_i	T_i
1	30	0	100	0	20	1	100	1	75	1	20	0
2	50	1	100	1	25	0	50	0	60	0	30	1
3	20	0	50	0	25	0	100	0	75	0	20	0
4	40	0	40	0	40	0	130	0	25	0	30	0
5	60	1	60	1	40	0	50	0	100	0	20	0
6	50	0	30	0	25	1	50	0	60	0	30	0
7	80	0	20	0	30	1	40	0	75	0	30	0
8	90	1	75	0	25	0	30	0	110	0	40	0
9	50	0	40	0	25	0	30	0	50	0	30	0
10	60	0	40	0	25	0	50	0	55	0	50	0
11	30	0	100	1	40	0	30	0	30	1	30	1
12	20	1			25	0	35	0	40	0	20	0
13	20	0			25	0	30	0	70	0	20	1
14	30	0			25	0	100	0			20	1
15	30	0			20	0	100	0			10	0
16					25	1	80	1			20	0
17							50	1				

ที่มา: ลิขิตเดษฐ์ (2555)

1.5 ข้อจำกัดของการจัดกลุ่มลูกค้า ได้แก่

1.5.1 ในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าสามารถจัดส่งสินค้าได้ครบตามจำนวน
(Service Level 100%)

1.5.2 รถบรรทุกภายนอกที่บริษัทจ้างขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า คือ รถขนาด 4 ล้อ
จำนวนทั้งสิ้น 6 คัน สามารถบรรทุกสินค้าได้จำนวน 220 หีบ และมีข้อกำหนดในการขนส่งสินค้า
ตั้งแต่เวลา 05.00 – 15.00 น.

1.5.3 ลูกค้าบางรายสามารถรับสินค้าได้ในช่วงเวลา 05.00 – 08.00 น. เท่านั้น ซึ่งมี
เวลาจำกัดในการรับสินค้า 3 ชั่วโมง จึงทำให้สามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าในกลุ่มนี้ไม่เกิน 2 รายต่อวัน

1.5.4 แต่ละเขตหรือพื้นที่จะต้องมีพาหนะขนส่งประจำ 1 คัน อย่างน้อยต่อ 1 เขต

2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ เลือกใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ กำหนดการจำนวนเต็ม
แบบผสม (MIP) เพื่อแก้ปัญหา โดยดำเนินการ ดังนี้

2.1 กำหนดข้อสมมติ (Assumption)

2.2 กำหนดพารามิเตอร์ (Parameter) เซต (Set) และดัชนีบ่งชี้ (Index)

2.3 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

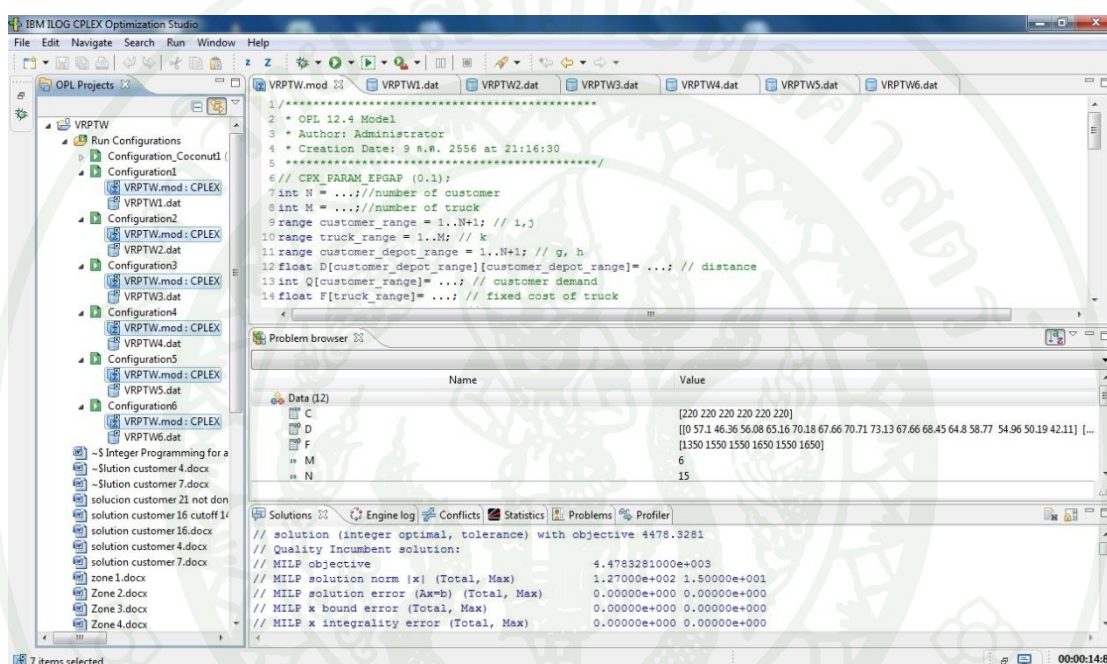
2.4 กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

2.5 กำหนดเงื่อนไขบังคับ (Constraints)

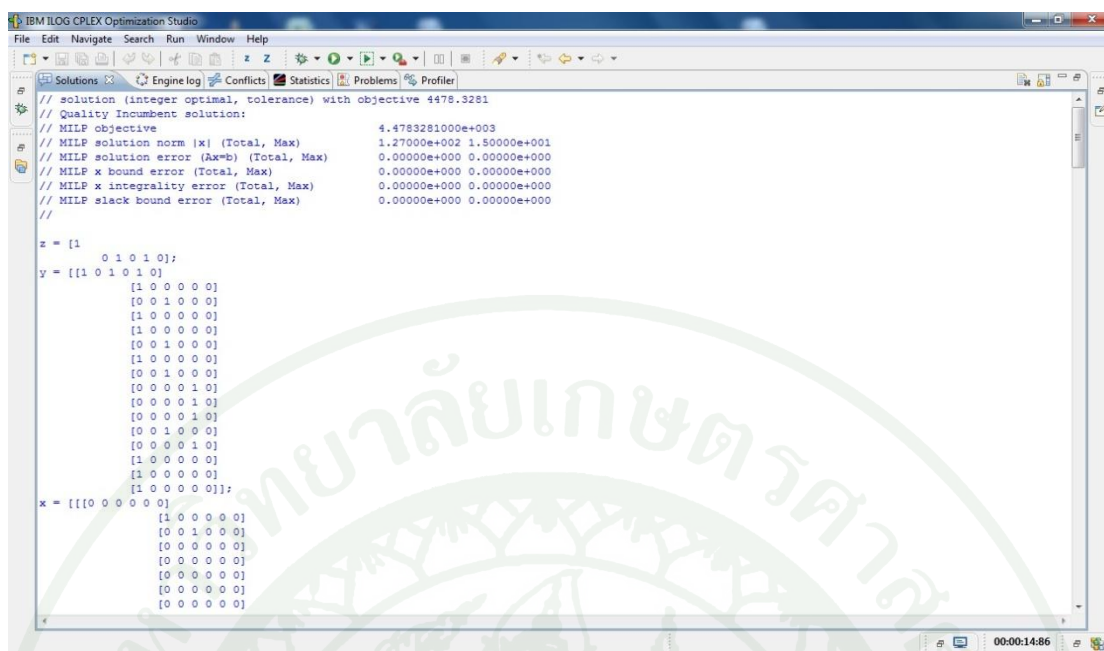
2.6 สร้างแบบจำลองแบบจำลองคณิตศาสตร์กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (MIP)

3. สร้างเมตริกซ์ระยะทางระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า โดยใช้ข้อมูลระยะทางระหว่างที่ตั้งต่างๆ ของลูกค้าจากเว็บไซต์ www.dxpplace.com ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ค1 – ค6

4. แก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4 ตัวอย่างโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 ลักษณะหน้าต่างไฟล์เอกสารของโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4



ภาพที่ 3 ผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ส่วนที่ 2 กรณีศึกษาที่ 2 บริษัทผลิตน้ำตาลสดบรรจุขวดพร้อมบริโภค

1. สัมภาษณ์ข้อมูลปัญหาของบริษัทจากพนักงาน และเก็บข้อมูลการปฏิบัติงานด้วยแบบเก็บข้อมูล ตามภาคผนวก ง โดยการสอบถามจากพนักงานขับรถ และพนักงานควบคุมคุณภาพที่ปฏิบัติหน้าที่ในการไปรับน้ำตาลใสจากสวนและลงพื้นที่ติดตามไปกับรถบรรทุกเพื่อเก็บข้อมูลด้วยตนเอง

2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ เลือกใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (MIP) เพื่อแก้ปัญหา โดยดำเนินการ ดังนี้

2.1 กำหนดข้อสมมติ (Assumption)

2.2 กำหนดพารามิเตอร์ (Parameter) เซ็ต (Set) และดัชนีบ่งชี้ (Index)

2.3 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

2.4 กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

2.5 กำหนดเงื่อนไขบังคับ (Constraints)

2.6 สร้างแบบจำลองแบบจำลองคณิตศาสตร์กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (MIP)

3. สร้างเมตริกซ์ระยะทางระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกรทุกราย และเกษตรกรแต่ละราย ถึง เกษตรกรแต่ละราย โดยใช้ข้อมูลจากพิกัด GPS ที่เก็บข้อมูลมา ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ จ1 ขั้นตอนการสร้างเมตริกซ์ระยะทาง มีดังนี้

3.1 คำนวณโหลดข้อมูลจากเครื่อง GPS ลง คอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Garmin Base Camp Version 4.0.1

3.2 นำค่าพิกัด GPS ของระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกรทุกราย และเกษตรกรแต่ละราย ถึง เกษตรกรแต่ละราย ที่ละคู่ กรอกใส่เว็บไซต์ <https://maps.google.co.th/> เพื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุด จนครบทุกคู่

3.3 นำข้อมูลระยะทางของแต่ละคู่ที่ได้กรอกใส่ตารางเมตริกซ์ระยะทาง

4. สร้างเมตริกซ์ระยะเวลาระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร ทุกราย และเกษตรกร แต่ละราย ถึง เกษตรกรแต่ละราย โดยใช้ข้อมูลจากที่เก็บมาโดยแบบเก็บข้อมูลสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ จ2 ขั้นตอนการสร้างเมตริกซ์ระยะเวลา มีดังนี้

4.1 คำนวณระยะเวลาโดยใช้สูตร $v = \frac{s}{t}$ (15)

เมื่อ v = อัตราความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

s = ระยะทาง (กิโลเมตร)

t = เวลา (ชั่วโมง)

โดยกำหนดอัตราความเร็วรถ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และใช้ข้อมูลระยะทางจากเมตริกซ์ระยะทาง มาคำนวณหาระยะเวลา ระยะเวลาระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร ทุกราย และ เกษตรกรแต่ละราย ถึง เกษตรกรแต่ละรายที่ละคู่ จนครบทุกคู่

4.2 นำข้อมูลระยะเวลาของแต่ละคู่ที่ได้กรอกใส่ตารางเมตริกซ์ระยะเวลา

5. แก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4

6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลและวิจารณ์

ส่วนที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1 บริษัทผู้ผลิตเครื่องปรุงรส

1. ผลจากการศึกษาปัญหากรณีศึกษาที่ 1

บริษัทกรณีศึกษานี้ได้รับการพัฒนาในด้านการจัดเส้นทางการขนส่งโดย ลัทธเคษฐ์ (2555) แต่เนื่องจากยังมีประเด็นที่สามารถศึกษาต่อได้ผู้วิจัยจึงนำมาเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทผู้ผลิตเครื่องปรุงรส มีคลังสินค้า 2 แห่งตั้งอยู่ที่จังหวัด นครปฐมและจังหวัดขอนแก่น และมีการกระจายสินค้าด้วยรถบรรทุกของบริษัทจำนวน 3 คัน (รถบรรทุก 6 ล้อ 1 คัน และรถบรรทุกกระบะ 4 ล้อเล็ก 2 คัน) และรวบรวมขนส่งบริษัทจำนวน 22 คัน (ต่างจังหวัด 15 คัน และกรุงเทพและปริมณฑล 7 คัน) โดยมีฝ่ายจัดส่งเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า ซึ่งในการจัดเส้นทางการขนส่งและยานพาหนะ จะใช้ประสิทธิภาพและความเชี่ยวชาญของเจ้าหน้าที่จัดส่งของบริษัท โดยรวบรวมใบ Sales Request (SR) จากเจ้าหน้าที่ฝ่ายขายเพื่อมาแบ่งเขตพื้นที่ก่อนแล้วจึงคำนวณหาปริมาณสินค้าที่ต้องส่งมอบโดยรถบรรทุกแต่ละคัน ดังนั้นปัญหาที่พบคือเวลาที่ใช้ในการจัดเส้นทางการขนส่งและยานพาหนะ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 30 นาที ทำให้ฝ่ายคลังสินค้าจัดสินค้าขึ้นรถบรรทุก และฝ่ายบัญชีออกใบส่งสินค้าและใบกำกับภาษีไม่ทันเวลาที่กำหนด และอาจทำให้เกิดปัญหาเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ที่จัดเตรียมไว้หน้าลานคลังสินค้าก่อนขึ้นสินค้าถ้ามีฝนตกลงมา

1.1 การแก้ปัญหาด้วยการจัดกลุ่มลูกค้า

บริษัทมีลูกค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจำนวน 690 ราย ยอดขายสินค้าประมาณ 16,350 ล้านบาทต่อเดือน มีการจัดส่งสินค้าด้วยรถรวมขนส่งประมาณ 104 เที่ยวต่อเดือน ดังนั้นเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานและเพิ่มการให้บริการด้านการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ และลดต้นทุนของบริษัท จึงศึกษาวิจัยการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะโดยใช้วิธีวิธีสถิติศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยแบ่งปัญหาเป็น 3 ส่วน และแก้ปัญหาในแต่ละส่วน ได้ผลสรุปการวิจัย ดังนี้

1.1.1 การแบ่งเขตลูกค้า (Service Zoning) เป็นการแบ่งลูกค้าตามที่ตั้ง โดยแบ่งเป็น 6 เขต แต่ละเขตมีลูกค้าประมาณ 100 ราย และอยู่ในเขตพื้นที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ง่ายต่อการแก้ปัญหาในแต่ละเขต

1.1.2 การจัดกลุ่มลูกค้าในรถบรรทุกแต่ละคัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนพาหนะที่ใช้ขนส่งน้อยที่สุด และตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ 100% ในปัจจุบันบริษัทฯ ได้ว่าจ้างผู้รับเหมาบรรทุกสินค้าจากภายนอกภายใต้ข้อกำหนดของบริษัท คือ ขนาดการบรรทุกสินค้าต่อครั้ง และอัตราค่าขนส่งเป็นแบบเหมาจ่ายต่อเที่ยว ผลของการแก้ปัญหา พบว่าจะสามารถลดจำนวนเที่ยวรถบรรทุกสินค้าลงได้ประมาณ 24 คันต่อเดือนหรือประมาณ 23% และสามารถจัดส่งสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้าทุกกลุ่ม ซึ่งลูกค้าบางรายมีข้อจำกัดด้านเวลาในการรับสินค้าบริษัทจึงจัดส่งสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้านี้ไม่เกิน 2 กลุ่มต่อหนึ่งเที่ยว และสามารถลดเวลาในการแก้ปัญหาลง 2 ชั่วโมง

1.1.3 การจัดลำดับการขนส่งสินค้า โดยกำหนดให้จัดส่งสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการรับสินค้า 5.00 – 8.00 น. ก่อน เพื่อรักษาระดับความพึงพอใจของลูกค้าได้ดีที่สุด และลำดับการขนส่งหลังจากส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาแล้วจะเป็นความรับผิดชอบของรถร่วมขนส่งสินค้า เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่รถร่วมขนส่ง โดยอาศัยประสบการณ์พนักงานของบริษัทรถร่วมขนส่งในการจัดเส้นทางขนส่ง ซึ่งหากพนักงานดังกล่าวลาออก ก็ต้องมีการฝึกฝนพนักงานใหม่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางขนพาหนะและการลำดับการส่งจัดสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ซึ่งนับเป็นการต่อยอดงานวิจัยของลัทธเดชฐ์ (2555)

2. การแก้ปัญหการจัดเส้นทางขนพาหนะเพื่อขนส่งสินค้า

2.1 ข้อสมมติของปัญหา มีดังนี้

2.1.1 ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าจะมีค่าคงที่และทราบล่วงหน้าในแต่ละวัน เนื่องจากการแก้ปัญหาทุกวัน

2.1.2 สินค้าที่ส่งสามารถถูกขนส่งด้วยรถบรรทุกคันใดก็ได้

2.1.3 ต้นทุนค่าขนส่งในแบบจำลองนี้คำนวณจากต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผันตามระยะทาง โดยไม่ใช้ต้นทุนเหมาจ่ายต่อกันดังกรณีศึกษาเดิม เนื่องจากระยะทางเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดเส้นทาง

2.2 สร้างแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมได้ดังนี้

2.2.1 พารามิเตอร์ (Parameters) ได้แก่

N = จำนวนกลุ่มลูกค้า

M = จำนวนรถบรรทุก

D_{gh} = ระยะทางระหว่างจุด g และ h

Q_i = ปริมาณความต้องการสินค้าของกลุ่มลูกค้ารายที่ i

C_k = ความจุสินค้าของรถบรรทุกคันที่ k

F_k = ต้นทุนคงที่ของรถคันที่ k

P_k = ต้นทุนผันแปรตามระยะทางต่อกิโลเมตร ของรถบรรทุกคันที่ k

$T_i = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ากลุ่มลูกค้ารายที่ } i \text{ มีข้อจำกัดด้านเวลาให้ส่งสินค้าก่อนเวลา 08.00 น.} \\ 0 & \text{ถ้ากลุ่มลูกค้ารายที่ } i \text{ ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการส่งสินค้า} \end{cases}$

2.2.2 ดัชนีบ่งชี้ (Index) และ เซต (Set) ได้แก่

i, j = ดัชนีบ่งชี้กลุ่มลูกค้า และ I = เซตของกลุ่มลูกค้าทั้งหมด โดย $I = \{2, \dots, N+1\}$

g, h = ดัชนีบ่งชี้จุด และ H = เซตของตำแหน่งของลูกค้าทั้งหมด รวมคลังสินค้า โดย $H = \{1, \dots, N+1\}$ เมื่อ $g, h = 1$ แทนตำแหน่งของคลังสินค้า และ g, h ตั้งแต่ $2 \dots N+1$ แทนตำแหน่งลูกค้ากลุ่มที่ 1 ถึง N ตามลำดับ

k = ดัชนีบ่งชี้รถบรรทุก และ K = เซตของรถบรรทุก โดย $K = \{1, \dots, M\}$

2.2.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ได้แก่

$$x_{ghk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการขนส่งสินค้าของกลุ่มลูกค้าจากจุด } g \text{ ไปจุด } h \text{ ด้วยรถคันที่ } k \\ 0 & \text{ถ้าไม่มีการขนส่งสินค้าของกลุ่มลูกค้าจากจุด } g \text{ ไปจุด } h \text{ ด้วยรถคันที่ } k \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการขนส่งสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้ารายที่ } i \text{ ด้วยรถคันที่ } k \\ 0 & \text{ถ้าไม่มีการขนส่งสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้ารายที่ } i \text{ ด้วยรถคันที่ } k \end{cases}$$

$$z_k = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการใช้รถบรรทุก } k \text{ ในการขนส่งสินค้า} \\ 0 & \text{ถ้าไม่มีการใช้รถบรรทุก } k \text{ ในการขนส่งสินค้า} \end{cases}$$

$$a_h = \text{เป็นเลขจำนวนจริงที่เชื่อมกับจุด } h \quad \forall h \in H$$

2.2.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ได้แก่

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^M F_k \cdot z_k + \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^{N+1} \sum_{h=1}^{N+1} P_k \cdot D_{gh} \cdot x_{ghk} \quad (16)$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ คือ เพื่อจัดเส้นทางยานพาหนะในการขนส่งสินค้าให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าแต่ละราย ซึ่งลูกค้าบางรายมีข้อจำกัดด้านเวลาส่งสินค้าได้ในช่วง 05.00 น. ถึง 08.00 น. โดยใช้รถบรรทุกในการขนส่งน้อยที่สุด เพื่อที่จะได้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งพิจารณาจากต้นทุนคงที่ของรถบรรทุก ต้นทุนตามระยะทางการขนส่ง สำหรับงานวิจัยนี้ไม่นำต้นทุนผันแปรรถบรรทุกตามปริมาณความต้องการสินค้ามาคำนวณเนื่องจากการขนส่งเป็นค่าเหมาจ่ายต่อเที่ยว ต้นทุนการขนส่งต่างๆ ของรถบรรทุก ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ต้นทุนการขนส่งต่างๆ ของรถบรรทุกแต่ละคันสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

ต้นทุน	รถบรรทุกคันที่					
	1	2	3	4	5	6
ความจุของรถ (หีบ)	220	220	220	220	220	220
ค่าขนส่งสินค้าเหมาจ่ายต่อเที่ยว (บาท)	1,350	1,550	1,550	1,650	1,550	1,650
ต้นทุนขนส่งผันแปร (บาท/กม.) * (P_k)	6	6	6	6	6	6
ต้นทุนคงที่ของรถบรรทุก* (บาท) (F_k)	950	950	950	950	950	950

หมายเหตุ * หมายถึง เป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยประมาณค่าขึ้นมาสำหรับการวิจัยครั้งนี้

ที่มา: ลิขสิทธิ์ (2555)

2.2.5 ข้อจำกัด (Constraints) ได้แก่

$$\sum_{k=1}^M \sum_{h=1}^{N+1} x_{ghk} = 1 \quad \forall g \in H, g \neq h \quad (17)$$

$$\sum_{i=2}^{N+1} Q_i \sum_{h=1}^{N+1} x_{ihk} \leq C_k \quad \forall k \in K \quad (18)$$

$$\sum_{i=2}^{N+1} T_i y_{ik} \leq 2 \quad \forall k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=2}^{N+1} \sum_{j=2, j \neq i}^{N+1} T_i T_j x_{ijk} \geq \left\lceil \sum_{i=2}^{N+1} T_i / 2 \right\rceil \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=2}^{N+1} T_i x_{1ik} \geq \left\lceil \sum_{i=2}^{N+1} T_i / 2 \right\rceil \quad (21)$$

$$\sum_{g=1}^{N+1} x_{hgk} - \sum_{g=1}^{N+1} x_{ghk} = 0 \quad \forall k \in K, h \in H \quad (22)$$

$$a_g - a_h + N * x_{ghk} \leq N - 1 \quad \forall g, h \in H, g \neq h, g \neq 1, k \in K \quad (23)$$

$$\sum_{i=2}^{N+1} Q_i y_{ik} - C_k z_k \leq 0 \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$\sum_{h=1}^{N+1} x_{ihk} = y_{ik} \quad \forall i \in I, i \neq h, k \in K \quad (25)$$

$$x_{ghk} = \text{binary} \quad \forall g, h \in H, k \in K \quad (26)$$

$$y_{ik} = \text{binary} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (27)$$

$$z_k = \text{binary} \quad \forall k \in K \quad (28)$$

$$a_h = \text{เลขจำนวนจริง} \quad \forall h \in H \quad (29)$$

2.2.6 ความหมายสมการข้อจำกัด

สมการ (17) หมายถึง ลูกค้าแต่ละกลุ่มจะถูกจัดให้ขนส่งสินค้าโดยรถบรรทุกเพียง 1 คัน

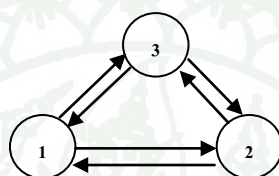
สมการ (18) หมายถึง จำนวนสินค้าที่จัดส่งในรถบรรทุก 1 คัน จะต้องไม่เกินความจุของรถ

สมการ (19) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคันสามารถส่งสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้าที่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการรับสินค้า ไม่เกิน 2 กลุ่ม โดยเป็นสมการเฉพาะที่แตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลาทั่วไปที่ใช้เวลาเป็นข้อจำกัด แต่งานวิจัยนี้ใช้จำนวนลูกค้าเป็นข้อจำกัดแทน

สมการ (20) และ (21) หมายถึง กลุ่มลูกค้าที่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการรับสินค้าจะต้องได้รับการส่งสินค้าเป็นลำดับแรก โดยเป็นสมการเฉพาะที่แตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลาทั่วไป

สมการ (22) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคัน ต้องเข้าและออกจากจุดเดียวกัน

สมการ (23) ป้องกันการเกิด Subtour ซึ่ง Subtour คือ การเกิดเส้นทางเดินย่อยขึ้นโดยที่จุดเริ่มต้นไม่ได้ออกจากจุดเริ่มต้นที่กำหนด ดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 เส้นทางเดินที่เป็นไปได้ทั้งหมด สมมติเมื่อ 1 คือ คลังสินค้า



ภาพที่ 5 เส้นทางเดินเมื่อเกิด Subtour

สมการ (24) เชื่อมโยงระหว่าง ตัวแปร y และ z โดยหมายถึง หากมีการจัดสรรรถบรรทุกคันที่ k ไปลูกค้ารายที่ i ($y_{ik} = 1$) ดังนั้นรถบรรทุกคันที่ k ต้องถูกใช้ ($z_k = 1$) และในทางกลับกัน หากไม่มีการจัดสรรรถคันที่ k ไปลูกค้ารายที่ i ($y_{ik} = 0$) รถบรรทุกคันที่ k จะไม่ถูกใช้ ($z_k = 0$)

สมการ (25) เชื่อมโยงระหว่าง ตัวแปร x และ y โดยหมายถึง หากมีการจัดสรรสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปลูกค้ารายที่ h โดยรถบรรทุกคันที่ k ($x_{ihk} = 1$) ต้องมีการจัดสรรสินค้าไปยังลูกค้ารายที่ i ด้วยรถบรรทุกคันที่ k ($y_{ik} = 1$) และในทางกลับกัน หากไม่มีการจัดสรรสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปลูกค้ารายที่ h โดยรถบรรทุกคันที่ k ($x_{ihk} = 0$) จะไม่มีการจัดสรรสินค้าไปยังลูกค้ารายที่ i ด้วยรถบรรทุกคันที่ k ($y_{ik} = 0$)

สมการ (26) ถึง (28) กำหนดว่าตัวแปรตัดสินใจ x, y และ z เป็นตัวแปรชนิด

Binary

สมการ (29) กำหนดว่าตัวแปร a เป็นเลขจำนวนจริง

แบบจำลองคณิตศาสตร์นี้สร้างขึ้นจากข้อจำกัด เงื่อนไขของปัญหาของ บริษัทกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นจริงเป็นปัญหาที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง จึงไม่สามารถนำไปใช้แก้ปัญหา การจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลาของปัญหาอื่นได้

2.3 ผลลัพธ์จากการแก้ปัญหา

จากการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ และแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ได้ผลการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า ของกรณีศึกษาที่ 1 แสดงดังตารางที่ 7 และภาพที่ 6 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 7 ผลการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า กรณีศึกษาที่ 1

เขต	รถคันที่	เส้นทางรถขนส่งสินค้า								
1	1	1	2	5	7	4	14	15	16	1
	3	1	3*	6*	8	12	1			
	5	1	13*	9*	10	11	1			
2	1	1	6*	4	11	10	7	1		
	3	1	9	5	2	1				
	5	1	12*	3*	8	1				
3	2	1	8*	2*	3	7	11	10	4	1
	3	1	17	16	6	5	15	14	13	1
	1	1	18*	9*	12	1				

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เขต	รถคันที่		เส้นทางการขนส่งสินค้า										
4	1	1	2 [*]	18 [*]	11	1							
	3	1	7	15	14	8	1						
	2	1	9	6	5	1							
	4	1	10	3	4	13	1						
	5	1	17	16	12	1							
5	3	1	2 [*]	12 [*]	11	13	1						
	5	1	6	5	4	1							
	1	1	9	7	10	1							
	2	1	14	8	3	1							
6	3	1	12 [*]	3 [*]	4	2	13	17	16	5	6	1	
	1	1	15 [*]	14 [*]	11	9	7	8	10	1			

หมายเหตุ * หมายถึง ลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลา

จากตารางที่ 7 สามารถอธิบายได้คือ เขต 1 ใช้รถบรรทุกในการขนส่งสินค้าจำนวน 3 คัน คือ รถบรรทุกคันที่ 1 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 2, 5, 7, 4, 14, 15 และ 16 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 3 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 3, 6, 8 และ 12 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 3 และ 6 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด รถบรรทุกคันที่ 5 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 13, 9, 10 และ 11 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 13 และ 9 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด

เขต 2 ใช้รถบรรทุกในการขนส่งสินค้า จำนวน 3 คัน คือ รถบรรทุกคันที่ 1 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 6, 4, 11, 10 และ 7 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 6 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด รถบรรทุกคันที่ 3 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 9, 5 และ 2 ตามลำดับ

และกลับเข้าโรงงานตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 5 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้า รายที่ 12, 3, 8 และ 1 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 12 และ 3 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัด ด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด

เขต 3 ใช้รถบรรทุกในการขนส่งสินค้า จำนวน 3 คัน คือ รถบรรทุกคันที่ 2 บรรทุก สินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 8, 2, 3, 7, 11, 10 และ 4 ตามลำดับ และกลับเข้า โรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 8 และ 2 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตาม ข้อจำกัด รถบรรทุกคันที่ 3 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 17, 16, 6, 5, 15, 14 และ 13 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 1 บรรทุกสินค้าออกจาก โรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 18, 9 และ 12 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 18 และ 9 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด

เขต 4 ใช้รถบรรทุกในการขนส่งสินค้า จำนวน 5 คัน รถบรรทุกคันที่ 1 บรรทุก สินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 2, 18 และ 11 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่ง ลูกค้ารายที่ 2 และ 18 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด รถบรรทุกคันที่ 3 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 7, 15, 14 และ 8 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 2 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่ง สินค้าให้ลูกค้ารายที่ 9, 6 และ 5 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 4 บรรทุก สินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 10, 3, 4 และ 13 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 5 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 17, 16 และ 12 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม

เขต 5 ใช้รถบรรทุกในการขนส่งสินค้า จำนวน 4 คัน รถบรรทุกคันที่ 3 บรรทุก สินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 2, 12, 11 และ 13 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 2 และ 12 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด รถบรรทุกคันที่ 5 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 6, 5 และ 4 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 1 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้า รายที่ 9, 7 และ 10 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม รถบรรทุกคันที่ 2 บรรทุกสินค้าออกจาก โรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 14, 8 และ 3 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงานตามเดิม

เขต 6 ใช้รถบรรทุกในการขนส่งสินค้าจำนวน 2 คัน รถบรรทุกคันที่ 3 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 12, 3, 4, 2, 13, 17, 16, 5 และ 6 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 12 และ 3 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด รถบรรทุกคันที่ 1 บรรทุกสินค้าออกจากโรงงาน ไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 15, 14, 11, 9, 7, 8 และ 10 ตามลำดับ และกลับเข้าโรงงาน ซึ่งลูกค้ารายที่ 15 และ 14 เป็นลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้รับสินค้าก่อนเป็นลำดับแรกตามข้อจำกัด

2.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของ 2 วิธี

จากผลการจัดเส้นทางขนส่ง พบว่ามีการใช้รถบรรทุกสำหรับขนส่งสินค้าทั้ง 6 เขต จำนวนรวม 20 เที่ยว โดยค่าใช้จ่ายในการขนส่งจ้างบริษัทภายนอกแบบเหมาจ่ายต่อเที่ยว รวมทั้งหมดเป็นเงิน 31,100 บาทต่อสัปดาห์ ซึ่งเท่ากับต้นทุน (2555) แต่งานวิจัยนี้สามารถแก้ปัญหาได้คำตอบที่สามารถจัดเส้นทางขนส่งสินค้าไปยังแต่ละกลุ่มลูกค้าได้โดยไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความชำนาญของพนักงานบริษัทภายนอก โดยในอนาคตหากบริษัทมีนโยบายจัดรถขนส่งสินค้าเอง ไม่ได้ใช้บริการรถขนส่งภายนอก และมีการเพิ่มจำนวนลูกค้ามากขึ้นจะทำให้ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น การใช้แบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมก็จะแก้ไขปัญหานั้นได้ดีขึ้น สามารถลดต้นทุนการขนส่งได้เพิ่มขึ้น หรือหากบริษัทจะจ้างบริษัทภายนอกขนส่งก็สามารถนำข้อมูลคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมนี้ให้กับบริษัทขนส่งภายนอกได้ใช้เพื่อลดต้นทุนได้อีก จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CPLEX หาคำตอบเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุน (2555) ดังตารางที่ 8 พบว่าโปรแกรมสำเร็จรูป CPLEX ใช้เวลาหาคำตอบรวมทั้ง 6 เขต เป็นเวลาทั้งสิ้น 1.3 นาที โดยวิธีของต้นทุน (2555) ใช้เวลาหาคำตอบรวมทั้ง 6 เขต เป็นเวลาทั้งสิ้น 60 นาที โดยเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาลดลง 97.87% อีกทั้งยังเป็นไปข้อกำหนดคือให้จัดส่งสินค้าให้กับกลุ่มลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการรับสินค้า 5.00 – 8.00 น. ก่อน เพื่อรักษาระดับความพึงพอใจของลูกค้า อีกด้วย

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบจำนวนรถขนส่งและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ กรณีศึกษาที่ 1

		โซน						รวม
		1	2	3	4	5	6	
จำนวน	บริษัทก่อนปรับปรุง*	-	-	-	-	-	-	26
ยานพาหนะ	ลัทธเดชฐ์ (2555)	3	3	3	5	4	2	20
(คัน)	สุกนัท (2557)	3	3	3	5	4	2	20
เวลาที่ใช้ใน	บริษัทก่อนปรับปรุง*	-	-	-	-	-	-	180
การคำนวณ	ลัทธเดชฐ์ (2555)	10	10	10	10	10	10	60
(นาที)	สุกนัท (2557)	0.20	0.17	0.43	0.33	0.14	0.06	1.33
ลดลง (%)								97.87

หมายเหตุ * หมายถึง บริษัทยังไม่มี การแบ่งลูกค้าเป็นโซน

ส่วนที่ 2 กรณีศึกษาที่ 2 บริษัทผลิตน้ำตาลสดบรรจุขวดพร้อมบริโภค

1. ผลจากการศึกษาปัญหากรณีศึกษาที่ 2

บริษัทเป็นผู้ผลิตน้ำตาล สดซึ่งเป็นเครื่องดื่มจากจั่นของต้น มะพร้าวโดยลูกค้าจะติดต่อตั้งสินค้า และจ้างรถขนส่งสินค้ามารับสินค้าที่โรงงาน โรงงานมีการจัดหาวัตถุดิบ คือ น้ำตาล ไสจากเกษตรกรในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงที่ตั้งของโรงงาน โดยจัดรถบรรทุกออกไปรับน้ำตาลใสจากสวนทุกวัน

ปัจจุบันบริษัทมีรถที่ใช้ในการบรรทุกน้ำตาลใสจำนวน 3 คัน โดยรถบรรทุกน้ำตาลใส 1 คัน สามารถบรรทุกถึงขนาด 160 ลิตร (8 ถังของเกษตรกร โดย น้ำตาล 1 ถัง มีความจุ 20 ลิตร) ได้ประมาณ 12-13 ถัง โดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดตารางเวลาบรรทุก และจัดรายชื่อเกษตรกรในการไปรับวัตถุดิบ ซึ่งแต่ละวันขึ้นกับปริมาณน้ำตาลที่มีในแต่ละสวน เนื่องจากในแต่ละฤดูกาล มะพร้าวจะให้ น้ำตาลใสในปริมาณที่แตกต่างกันไป แต่การจัดลำดับการเก็บน้ำตาล ขึ้นกับพนักงานขับว่าจะเก็บสวนไหนก่อน และขึ้นกับว่าสวนใดเก็บน้ำตาลเสร็จแล้วซึ่งอาจมีการขับรถวนไปมาเพื่อดู และห้ามเร่งรัดเกษตรกรเด็ดขาด ในการไปรับน้ำตาลใส

แต่ละเที่ยวจะต้องนำน้ำตาลกลับมาส่งยังโรงงานรวมเวลาไม่เกิน 4 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำตาล (Poonpan and Ongkunaruk, 2014) จากการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลโดยการสอบถามจากพนักงานควบคุมคุณภาพ และพนักงานขับรถที่ไปรับน้ำตาลใส พบว่าขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

1. เจ้าหน้าที่บริษัทผู้รับผิดชอบวางแผนการจัดเส้นทางมารับวัตถุดิบน้ำตาลใส
2. แจ้งแผนการออกไปรับวัตถุดิบน้ำตาลใสกับพนักงานควบคุมคุณภาพ
3. พนักงานงานควบคุมคุณภาพออกไปรับวัตถุดิบน้ำตาลใสจากเกษตรกรรายต่างๆ ตามแผน โดยการจัดลำดับเส้นทางมารับวัตถุดิบโดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงานควบคุมคุณภาพ และพนักงานขับรถ
4. เมื่อไปถึงจุดรับวัตถุดิบ พนักงานควบคุมคุณภาพจะตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลใส คือ ค่าความหวาน และวัดปริมาตรน้ำตาลใสที่ได้รับ หลังจากนั้นจึงบันทึกในแบบบันทึกของบริษัท
5. หลังจากตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบน้ำตาลใสเรียบร้อยแล้ว พนักงานขับรถจะขนถ่ายน้ำตาลใสใส่ถังที่เตรียมไว้บนรถบรรทุก
6. เดินทางไปรับวัตถุดิบน้ำตาลใสจากเกษตรกรรายอื่นๆ ตามแผนจนครบทุกราย
7. เมื่อรับวัตถุดิบน้ำตาลใสครบทุกรายตามแผนแล้ว จึงกลับบริษัท เพื่อนำน้ำตาลใสเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป

ขั้นตอนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 7 ถึง 19 และสามารถสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางมารับวัตถุดิบได้ดังนี้



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานการรับวัตถุดิบน้ำตาลมะพร้าวไอศ



ภาพที่ 8 พะองอุปกรณ์สำหรับการปีนขึ้นมะพร้าวเพื่อเก็บน้ำตาลไอศ



ภาพที่ 9 เกษตรกรขณะปีนพะองขึ้นต้นมะพร้าวเพื่อเก็บน้ำตาลใส



ภาพที่ 10 กระบอกสำหรับรองรับน้ำตาลใส



ภาพที่ 11 ลักษณะการแขวนกระบอกครอบวงมะพร้าวสำหรับรองรับน้ำตาลใส



ภาพที่ 12 เกษตรกรนำน้ำตาลใสที่เก็บจากต้นมะพร้าวทรวมนินถึงเพื่อรอเจ้าหน้าที่มารับ



ภาพที่ 13 น้ำตาลไสรรวบรวมใส่ถังรอเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ



ภาพที่ 14 แท่งสแตนเลสมีขีดบอกระดับ อุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาณน้ำตาลไสรในถัง



ภาพที่ 15 เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพขณะตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลใต้



ภาพที่ 16 เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพขณะตรวจสอบคุณภาพน้ำตาลใต้ (ต่อ)



ภาพที่ 17 เจ้าหน้าที่ขณะขนถ่ายน้ำตาลใส่ขึ้นรถบรรทุก หลังตรวจสอบคุณภาพเสร็จ



ภาพที่ 18 เจ้าหน้าที่บรรทุกวัตถุดิบน้ำตาลใส่กลับบริษัท



ภาพที่ 19 เจ้าหน้าที่ขณะถ่ายน้ำคาลิสาจากถังบนรถบรรทุกเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิต

2. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อรับวัตถุดิบ

2.1 ข้อสมมติของปัญหา มีดังนี้

2.1.1 เมื่อพนักงานขับรถไปถึงสวนเกษตรกรทุกราย จะต้องสามารถเก็บน้ำคาลิสาได้ทันที โดยผ่านการวางแผนติดต่อล่วงหน้าก่อนเดินทาง

2.1.2 วัตถุดิบน้ำคาลิสาสามารถถูกขนส่งด้วยรถบรรทุกคันใดก็ได้

2.1.3 โรงงานทราบปริมาณน้ำคาลิสาของเกษตรกรก่อนเดินทาง

2.2 สร้างแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมได้ดังนี้

2.2.1 พารามิเตอร์ (Parameters)

N = จำนวนเกษตรกร

M = จำนวนรถบรรทุก

V_k = ต้นทุนผันแปรของรถบรรทุกคันที่ k

D_{gh} = ระยะทางระหว่างจุด g และ h

Q_i = ปริมาณน้ำตาลใสจากเกษตรกรรายที่ i

C_k = ความจุของรถบรรทุกคันที่ k

F_k = ต้นทุนคงที่ของรถคันที่ k

P_k = ต้นทุนผันแปรตามระยะทางต่อกิโลเมตร ของรถบรรทุกคันที่ k

T_{gh} = ระยะเวลาที่ใช้เดินทางระหว่างจุด g และ h (ชั่วโมง)

R_i = อัตราเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบควบคุมคุณภาพ ของเกษตรกรรายที่ i และขนถ่ายน้ำตาลใสขึ้นรถบรรทุก (ชั่วโมงต่อลิตร) โดยมีขั้นตอนคำนวณดังนี้

1. นำข้อมูลปริมาณน้ำตาลใสที่เก็บได้จากแบบ เก็บข้อมูลบริษัท
กรณีศึกษาที่ 2 มาหาค่าเฉลี่ย
2. นำข้อมูลเวลาที่ใช้ในการ ตรวจสอบควบคุมคุณภาพ และขนถ่าย
น้ำตาลใสที่เก็บได้จากแบบเก็บข้อมูลบริษัทกรณีศึกษาที่ 2 มาหาค่าเฉลี่ย
3. คำนวณอัตราเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบควบคุมคุณภาพ และขนถ่าย
น้ำตาลใสขึ้นรถบรรทุก โดยนำ เวลาการ ตรวจสอบควบคุมคุณภาพ และขนถ่ายน้ำตาลใส เฉลี่ยหาร
ด้วยปริมาณน้ำตาลใสเฉลี่ย

2.2.2 ดัชนีบ่งชี้ (Index) และเซต (Set) ได้แก่

i = ดัชนีบ่งชี้เกษตรกร และ I = เซตของเกษตรกรทั้งหมด โดย $I = \{2, \dots, N+1\}$

g, h = ดัชนีบ่งชี้จุด และ H = เซตของตำแหน่งของเกษตรกรทั้งหมด รวม
บริษัท โดย $H = \{1, \dots, N+1\}$ เมื่อ $g, h = 1$ แทนตำแหน่งของโรงงาน และ g, h ตั้งแต่ $\{2, \dots, N+1\}$ แทน
ตำแหน่งของเกษตรกรรายที่ 1 ถึง N ตามลำดับ

k = ดัชนีบ่งชี้รถบรรทุก และ K = จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด โดย $K = \{1, \dots, M\}$

2.2.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ได้แก่

$$x_{ghk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากจุด } g \text{ ไปจุด } h \text{ ด้วยรถคันที่ } k \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการไปรับน้ำตาไลจากเกษตรกรรายที่ } i \text{ ด้วยรถคันที่ } k \\ 0 & \text{ถ้าไม่มีการไปรับน้ำตาไลจากเกษตรกรรายที่ } i \text{ ด้วยรถคันที่ } k \end{cases}$$

$$z_k = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการใช้รถบรรทุกคันที่ } k \text{ ในการไปรับน้ำตาไล} \\ 0 & \text{ถ้าไม่มีการใช้รถบรรทุกคันที่ } k \text{ ในการไปรับน้ำตาไล} \end{cases}$$

$$a_h = \text{เป็นเลขจำนวนจริงที่เชื่อมกับจุด } h \quad \forall h \in H$$

2.2.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ได้แก่

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^M F_k \cdot z_k + \sum_{k=1}^M V_k \sum_{i=1}^{N+1} Q_i y_{ik} + \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^{N+1} \sum_{h=1}^{N+1} P_k \cdot D_{gh} \cdot x_{ghk} \quad (30)$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ คือ เพื่อจัดเส้นทางยานพาหนะในการไปรับน้ำตาไลจากเกษตรกรแต่ละราย โดยใช้รถบรรทุกในการขนส่งน้อยที่สุด เพื่อที่จะได้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งพิจารณาจากต้นทุนคงที่ของรถบรรทุก ต้นทุนผันแปรของรถบรรทุกตามปริมาณ วัตถุประสงค์ที่จัดหาและเชื้อเพลิงการวิ่งรถ

ตารางที่ 9 ต้นทุนการขนส่งต่างๆ ของรถบรรทุกแต่ละคันสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

ต้นทุน	รถบรรทุกคันที่		
	1	2	3
ความจุของรถบรรทุก (ลิตร)	1,800	1,800	1,800
ต้นทุนคงที่ (ค่าจ้างพนักงานและ	800	800	800
ค่าเสื่อมราคาของรถบรรทุกต่อเที่ยว (บาท) (F_k)			
ต้นทุนน้ำมัน (บาท/กม.) (P_k)	6	6	6
ต้นทุนการขนวัสดุดิบ (บาท/ลิตร) (V_k)	4	4	4

หมายเหตุ * หมายถึง เป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยประมาณค่าขึ้นมาสำหรับการวิจัยครั้งนี้

2.2.5 ข้อจำกัด (Constraints) ได้แก่

$$\sum_{k=1}^M \sum_{h=1}^{N+1} x_{ghk} = 1 \quad \forall g \in H, i \neq h \quad (31)$$

$$\sum_{i=2}^{N+1} Q_i \sum_{h=1}^{N+1} x_{ihk} \leq C_k \quad \forall k \in K \quad (32)$$

$$\sum_{g=2}^{N+1} \sum_{h=2, g \neq h}^{N+1} R_g \cdot Q_g \cdot x_{ghk} + \sum_{g=1, h=1, g \neq h}^{N+1} T_{gh} \cdot x_{ghk} \leq 4 \quad \forall k \in K \quad (33)$$

$$\sum_{g=1}^{N+1} x_{hgk} - \sum_{g=1}^{N+1} x_{ghk} = 0 \quad \forall k \in K, h \in H \quad (34)$$

$$a_g - a_h + N \cdot x_{ghk} \leq N - 1 \quad \forall g, h \in H, g \neq h, g \neq 1, k \in K \quad (35)$$

$$\sum_{i=2}^{N+1} Q_i y_{ik} - C_k z_k \leq 0 \quad \forall k \in K \quad (36)$$

$$\sum_{h=1}^{N+1} x_{ihk} = y_{ik} \quad \forall i \in I, i \neq h, k \in K \quad (37)$$

$$x_{ghk} = \text{binary} \quad \forall g, h \in H, k \in K \quad (38)$$

$$y_{ik} = \text{binary} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (39)$$

$$z_k = \text{binary} \quad \forall k \in K \quad (40)$$

$$a_h = \text{เลขจำนวนจริง} \quad \forall h \in H \quad (41)$$

2.2.6 ความหมายสมการข้อจำกัด

สมการ (31) หมายถึง น้ำตาลใสจากเกษตรกรแต่ละรายจะถูกจัดให้มารับโดยรถบรรทุกเพียง 1 คัน

สมการ (32) หมายถึง ปริมาณน้ำตาลใสในรถบรรทุก 1 คัน จะต้องไม่เกินความจุของรถ

สมการ (33) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคัน ต้องใช้เวลาไม่เกิน 4 ชั่วโมงนับตั้งแต่ออกจากโรงงานไปรับน้ำตาลใส ตรวจสอบคุณภาพน้ำตาล ขนถ่ายน้ำตาลขึ้นรถ และกลับมาถึงโรงงาน

สมการ (34) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคัน ต้องเข้าและออกจากจุดจุดเดียวกัน

สมการ (35) ป้องกันการเกิด Subtour

สมการ (36) เชื่อมโยงระหว่าง ตัวแปร y และ z โดยหมายถึง หากมีการจัดสรรรถบรรทุกคันที่ k ไปเกษตรกรรายที่ i ($y_{ik} = 1$) ดังนั้นรถบรรทุกคันที่ k ต้องถูกใช้ ($z_k = 1$) และในทางกลับกันหากไม่มีการจัดสรรรถบรรทุกคันที่ k ไปเกษตรกรรายที่ i ($y_{ik} = 0$) รถบรรทุกคันที่ k จะไม่ถูกใช้ ($z_k = 0$)

สมการ (37) เชื่อมโยงระหว่าง ตัวแปร x และ y โดยหมายถึง หากมีการเดินทางจากเกษตรกรรายที่ i ไปเกษตรกรรายที่ h โดยรถบรรทุกคันที่ k ($x_{ihk} = 1$) ต้องมีการบรรทุกวัตถุดิบจากเกษตรกรรายที่ i ด้วยรถบรรทุกคันที่ k ($y_{ik} = 1$) และในทางกลับกัน หากไม่มีการเดินทางจากเกษตรกรรายที่ i ไปเกษตรกรรายที่ h โดยรถบรรทุกคันที่ k ($x_{ihk} = 0$) จะไม่มีการบรรทุกวัตถุดิบเกษตรกรรายที่ i ด้วยรถบรรทุกคันที่ k ($y_{ik} = 0$)

สมการ (38) ถึง (40) เป็นการกำหนดว่าตัวแปรตัดสินใจ x , y และ z เป็นตัวแปรชนิด Binary

สมการ (41) กำหนดว่าตัวแปร a เป็นเลขจำนวนจริง

2.3 ผลลัพธ์จากการแก้ปัญหา

จากการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ และแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ได้ผลการจัดเส้นทางมารับวัตถุดิบน้ำตาลไอ ของกรณีศึกษาที่ 2 แสดงดังภาพที่ 20 สามารถอธิบายได้ดังนี้

รถบรรทุกคันที่ 1 ออกจากโรงงานไปรับน้ำตาลไอจากเกษตรกรรายที่ 4, 2, 5, 14 และ 15 จากนั้นเดินทางกลับโรงงาน

รถบรรทุกคันที่ 2 ออกจากโรงงานไปรับน้ำตาลไอจากเกษตรกรรายที่ 10, 11, 3, 9, 13, 17, 16, 6, 8, 12, 7 และ 18 จากนั้นเดินทางกลับโรงงาน โดยต้นทุนการรับวัตถุดิบน้ำตาลไอทั้งหมดเท่ากับ 14,082 บาทต่อวัน

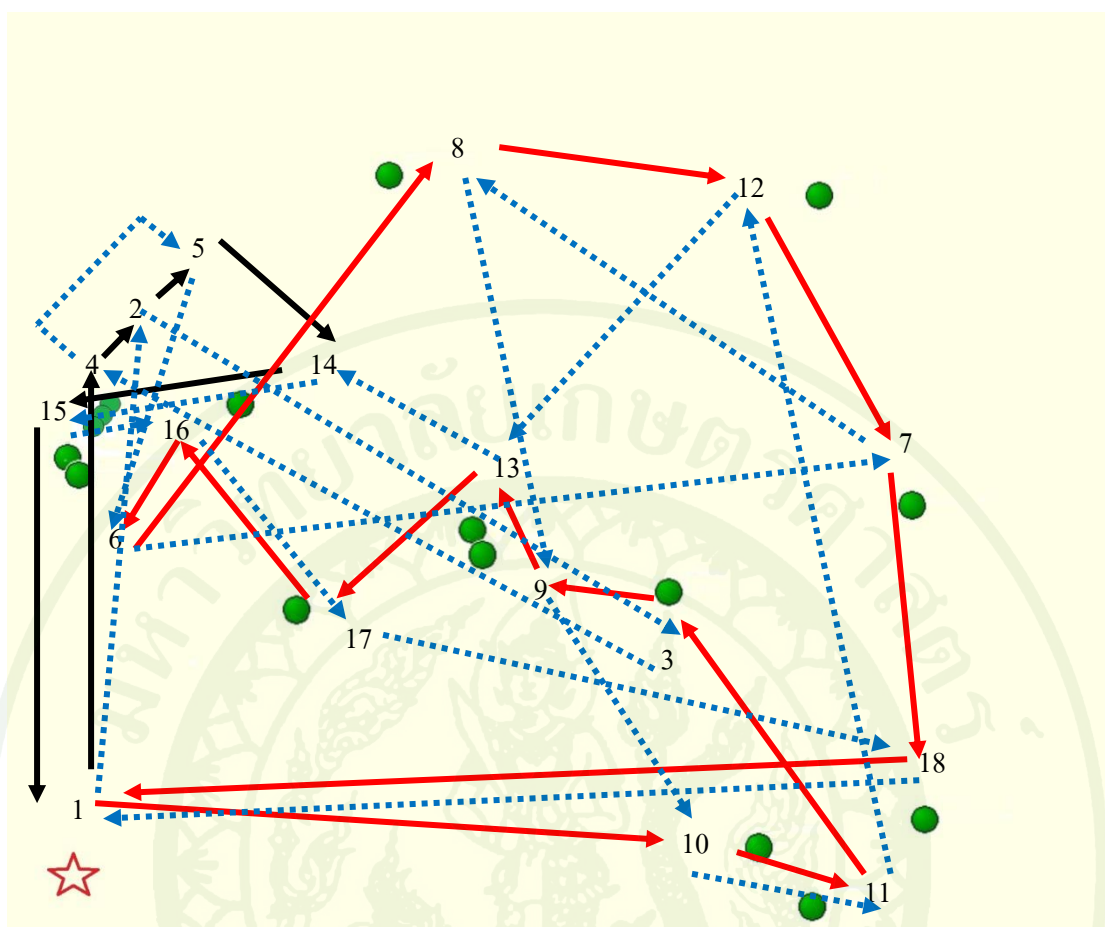
จากผลการจัดเส้นทางมารับวัตถุดิบน้ำตาลไอเวลาในการขนส่งรวมทั้งหมดเท่ากับ 86.4 นาที พบว่าลดลง 10.56% เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่โรงงานใช้ในปัจจุบัน ดังตารางที่ 10 และต้นทุนขนส่งรวมทั้งหมดเท่ากับ 14,082 บาทต่อวัน พบว่าลดลง 0.61% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมการรับวัตถุดิบน้ำตาลไอปัจจุบันของโรงงาน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ผลการจัดเส้นทาง การรับน้ำตาลใสจากเกษตรกร กรณีศึกษาที่ 2

	คันที่			เส้นทาง การรับวัตถุดิบ											
ปัจจุบัน	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1		
	2	1	12	13	14	15	16	17	18	1					
สุกนัท	1	1	4	2	5	14	15	1							
(2557)	2	1	10	11	3	9	13	17	16	6	8	12	7	18	1

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง เวลาที่ใช้จัดเส้นทาง ต้นทุนรวม และเวลาที่ใช้ในการขนส่ง (ชม.) กรณีศึกษาที่ 2

	คันที่	เวลาที่ใช้จัด เส้นทาง (ชม.)	ต้นทุนรวม (บาท)	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง (ชม.)
ปัจจุบัน	1	} 0.5	7,208	53.4
	2		6,960	43.2
	รวม	0.5	14,168	96.6
สุกนัท (2557)	1	} < 0.5	5,193	33.6
	2		8,889	52.8
	รวม	< 0.5	14,082	86.4
ลดลง (%)			0.61	10.56



ภาพที่ 20 เส้นทางของการรับวัตถุดิบน้ำตาลไอศกรณีสึกษาที่ 2

จากภาพที่ 20 จุดสีเขียวแทนตำแหน่งที่ตั้งของสวนซึ่งเป็นตำแหน่งจริงจากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องจับพิกัด GPS รูปดาวแทนตำแหน่งที่ตั้งของโรงงาน ลูกศรสีดำและลูกศรสีแดงหมายถึงเส้นทางการเดินทางจากการแก้ไขปัญหาด้วยแบบจำลองของรถคันที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ลูกศรเส้นประสีฟ้า หมายถึง เส้นทางการเดินทางในปัจจุบันของโรงงาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ การกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังจุดต่างๆ หรือการจัดเส้นทางจากโรงงานเพื่อไปรับวัตถุดิบจากจุดต่างๆ โดยมีเป้าหมายให้ค่าจ่ายค่าที่ต่ำที่สุดโดยคำนึงถึงเวลาในการรับวัตถุดิบหรือส่งสินค้า ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความยากในการตัดสินใจเนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น ขนาดบรรทุกของพาหนะ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า ปริมาณวัตถุดิบ และเวลาในการรับวัตถุดิบและจัดส่งสินค้าให้ตรงตามเวลาที่ต้องการ เพื่อสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันตามเวลา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวโดยมีข้อจำกัดด้านเวลาเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง โดยมีการศึกษาปัญหา 2 รูปแบบ คือ การจัดเส้นทางในการส่งสินค้าสำเร็จรูป และการจัดรถไปรับวัตถุดิบจากบริษัทกรณีศึกษา 2 แห่ง ซึ่งทั้งสองปัญหามีข้อจำกัดในด้านเวลา

กรณีศึกษาแรกเป็นบริษัทกรณีศึกษาผู้ผลิตผงปรุงรสแห่งหนึ่ง มีจำนวนลูกค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลประมาณ 690 ราย ทำให้การจัดเส้นทางขนส่งมีความซับซ้อนและใช้เวลานานในการแก้ปัญหา และวิธีแก้ปัญหาไม่มีระบบ เนื่องจากต้องใช้ประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ในการจัดลำดับการขนส่งสินค้าสำหรับลูกค้าแต่ละกลุ่ม งานวิจัยนี้จึงแก้ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมและแก้ปัญหาคู่สมการเชิงเส้นด้วยซอฟต์แวร์ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4 พบว่า

1. สามารถจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาได้โดยสามารถลดเวลาในการแก้ปัญหาลงได้ 97.87% โดยต้นทุนการขนส่งเป็นแบบเหมาจ่ายเท่ากับของอัตราเฉลี่ย (2555) ซึ่งในอนาคตหากบริษัทมีความต้องการจัดรถบรรทุกสำหรับขนส่งสินค้าเองโดยไม่จ้างบริษัทภายนอกก็อาจทำให้ช่วยลดต้นทุนการขนส่งได้อีก และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ 100%
2. สามารถจัดลำดับการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละรายได้ โดยกำหนดเส้นทางจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่มีข้อจำกัดด้านเวลาระหว่าง 05.00 – 08.00 น. จำนวนไม่เกิน 2 ราย โดยไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ของพนักงานบริษัทร่วมขนส่งทำให้ประหยัดเวลาและมีประสิทธิภาพ สามารถรักษาระดับความพึงพอใจของลูกค้าได้

3. อนาคตหากบริษัทมีการขยายฐานลูกค้า จำนวนลูกค้ามากขึ้นทำให้ปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น จะช่วยให้การจัดเส้นทางขนส่งสินค้ารวดเร็วขึ้น อีกทั้งอาจพิจารณาจัดรถบรรทุกสำหรับส่งสินค้าแทนการว่าจ้างบริษัทภายนอก

กรณีศึกษาที่สองเป็นบริษัทผู้ผลิตน้ำตาลสดบรรจุขวดพร้อมบริโภค ปัจจุบัน บริษัทมีรถที่ใช้ในการบรรทุกน้ำตาลใสจำนวน 3 คัน รถบรรทุกน้ำตาล 1 คัน วางถังขนาด 160 ลิตร ได้ประมาณ 12-13 ถัง โดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดการเวลารถบรรทุก และจัดรายชื่อเกษตรกรในการไปรับวัตถุดิบ ซึ่งแต่ละวันขึ้นกับปริมาณน้ำตาลที่มีในแต่ละสวน เนื่องจากในแต่ละฤดูกาล มะพร้าวจะให้น้ำตาลใสในปริมาณที่แตกต่างกันไป แต่การจัดลำดับการเก็บน้ำตาลขึ้นกับพนักงานขับว่าจะเก็บสวนไหนก่อน และขึ้นกับว่าสวนใดเก็บน้ำตาลเสร็จแล้วซึ่งอาจมีการขับรถวนไปมาเพื่อดู และห้ามเร่งรัดเกษตรกรเด็ดขาด ในการไปรับน้ำตาลใสแต่ละเที่ยวจะต้องนำน้ำตาลกลับมาส่งยังโรงงานรวมเวลาไม่เกิน 4 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำตาล ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากต้องใช้ประสบการณ์ของพนักงานในการจัดเส้นทาง งานวิจัยนี้จึงแก้ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมและแก้ปัญหาด้วยซอฟต์แวร์ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.4 พบว่า

1. เวลาที่ใช้ในการขนส่งรวมทั้งหมดตั้งแต่ออกจากโรงงานถึงการรับวัตถุดิบจากเกษตรกรแต่ละรายและกลับถึงโรงงาน ใช้เวลาไม่เกิน 4 ชั่วโมง ทั้งในแบบปัจจุบันที่โรงงานปฏิบัติ และแบบที่แบบจำลองแก้ปัญหาได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงระยะเวลาที่เก็บข้อมูลงานวิจัยเป็นช่วงที่ผลผลิตน้ำตาลใสมีปริมาณน้อย จึงทำให้เวลาในการขนส่งรวมทั้งหมดไม่เกิน 4 ชั่วโมง แต่หากช่วงเวลาที่ผลผลิตน้ำตาลใสมีปริมาณมากแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะช่วยให้การจัดเส้นทางการเดินทางมีประสิทธิภาพ

2. เวลาที่ใช้ในการขนส่งรวมทั้งหมดลดลง 10.56% ทั้งนี้บริษัทควรมีการวางแผนควบคู่ไปกับเกษตรกรในการวางแผนการเก็บน้ำตาลใสด้วยเพื่อที่เมื่อรถบรรทุกไปรับน้ำตาลใสจะไม่ต้องรอเกษตรกร

3. ต้นทุนการขนส่งในการรับวัตถุดิบน้ำตาลใสลดลง 0.61% อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบด้วย เนื่องจากน้ำตาลใสมีการเสื่อมเสียได้หากมีการจัดการไม่ดีพอ เช่น ตั้งทิ้งรอไว้เป็นเวลานาน

4. ทั้งนี้จากการแก้ปัญหาพบว่าสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้เพียง 0.61% ซึ่งหากบริษัทต้องลงทุนเพื่อซื้อซอฟต์แวร์เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุนในปัจจุบัน แต่หากในอนาคตบริษัทมีเกษตรกรที่ขายวัตถุดิบน้ำตาลไซเพิ่มมากขึ้น เส้นทางมารับซื้อวัตถุดิบซับซ้อนมากขึ้น การนำซอฟต์แวร์มาช่วยแก้ปัญหาก็จะสามารถช่วยให้การจัดเส้นทางมารับวัตถุดิบมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้นและคุ้มค่ากับการลงทุน



ข้อเสนอแนะ

1. ปัญหานี้เป็นปัญหา Operational Problem ที่ต้องแก้ปัญหามิติด่วน หากปัญหามีการขนส่งขนาดใหญ่ขึ้นมากจนกระทั่งไม่สามารถใช้ MIP ในการแก้ปัญหาได้ภายในเวลาอันสั้น บริษัทควรใช้วิธีอื่นที่สามารถหาคำตอบของปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนที่มีตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหามากได้
2. ในการขนส่งสินค้าส่งลูกค้าแต่ละราย เมื่อส่งสินค้าเสร็จแล้ว รถบรรทุกจะวิ่งรถเปล่ากลับบริษัท ซึ่งเป็นการเสียโอกาส จึงควรมีการศึกษากรณีการส่งสินค้าและรับวัตถุดิบกลับในคราวเดียวกันเพื่อเป็นการลดการเสียโอกาส อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการขนส่งอีกด้วย
3. แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้ต้องใช้ร่วมกับการวางแผนติดต่อล่วงหน้ากับลูกค้าและเกษตรกร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แน่นอนทั้งปริมาณสินค้าและวัตถุดิบที่จะส่งมอบและไปจัดหา

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กิตติ ภัคดีวัฒนกุล และ พนิดา พานิชกุล. 2554. การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการตัดสินใจ . เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด. กรุงเทพฯ.
- ณกร อินทร์พยุ. 2548. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมขนส่งและลอจิสติกส์. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- นลินี อุดมสมบัติมีชัย, พิรุทธิ์ ชาญเศรษฐิกุล. 2005. การประยุกต์วิธีศึกษาสำนักสำหรับจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา, น. 131-153. ใน **Proceedings of the 5th GS1/TLAPS/Thai VCML Industrial-Academic Annual Conference on Supply Chain and Logistics Management**, Bangkok, Thailand.
- พนิดา พานิชกุล และ ยุทธภูมิ วงศ์วัฒนกุล. 2546. คัมภีร์การวิเคราะห์และตัดสินใจปัญหาเชิงธุรกิจโดยใช้ Excel. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทเคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์, กรุงเทพฯ.
- พริภา องค์คุณารักษ์. 2553. การจัดการโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมเกษตรเบื้องต้น. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ลัทธเดชฐ์ ่องอาจ. 2555. การใช้วิธีแบ่งเขตและกำหนดการจำนวนเต็มเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านเวลา . การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิชัย ฤตวิรุฬห์. 2555. กำหนดการเชิงเส้นและกำหนดการจำนวนเต็มและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร. อักษรโสภณ, กรุงเทพฯ.
- Agarwal, Y., K. Mathur and H.M. Salkin. 1989. A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem. **Networks**. 19 (7): 731-749.

- Anbuudayasankar, S.P., K. Ganesh and K.Mohandas. 2008. Mixed-Integer Linear Programming for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick- Up with Maximum Route-Length. **The International Journal of Applied Management and Technology**. Vol 6 Issue1.
- Bodin, L. and B. Golden. 1981. Classification in vehicle routing and scheduling. **Network**. 11: 97-108.
- Cetinkaya, C., Karaoglan, I. and H. Gokcen. 2013. Two-stage vehicle routing problem with arc time windows: A mixed integer programming formulation and a heuristic approach. **European Journal of Operational Research**. 230: 539-550.
- Christofides, N. 1985. Vehicle routing, pp. 431-448. *In the traveling salesman problem*, Lawler, Lenstra, R. Kan and Shmoys, eds. **A Guided Tour of Combinatorial Optimization**. John Wiley.
- Christofides, N., A. Mingozzi and P. Toth. 1981. State space relaxation procedures for the computation of bounds to routing problems. **Networks**. 11: 145-164.
- Chen, D.-S., R.G. Batson and Y. Dang. 2010. **Applied Integer Programming Modeling and Solution**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Fisher, M.L. 1993. Vehicle routing, pp. 1-33. *In* M.O. Ball, T.L. Magnanti, C.L. Monma and G.L. Nemhauser, eds. **Handbooks in Operations Research and Management Science**. Elsevier Science.
- Fisher, M.L. and R. Jaikumar. 1981. A generalized assignment heuristic for vehicle routing. **Networks**. 11 (2): 109-124.
- Taha, H.A. 1997. **Operations Research An Introduction**, 6th ed. Prentice-Hall, Inc. United States of America.

- Hillier, F. and G. Lieberman. 2010. **Introduction to Operations Research**, 9th ed. McGraw-hill, New York.
- Kohl, N. and O.B.G. Madsen. 1997. An optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows based on Lagrangian relaxation. **Oper. Res.** 45 (3): 395-406.
- Landrieu, A., Y. Mati and Z. Binder. 2001. A tabu search heuristic for the single vehicle pickup and delivery problem with time windows. **J. Intell. Manuf.** 12: 497-508.
- Laporte, G., F.V. Louveaux and H. Meeuwse. 1992. The vehicle routing problem with stochastic travel times. **Transport. Sci.** 26 (3): 161-170.
- Ongarj, L. and P. Ongkunaruk. 2013. An Integer Programming for a Bin Packing Problem with Time Windows: a Case Study of a Thai Seasoning Company, pp. 826-830. *In* **The 10th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM 13)**. 17-19 July 2013, Hong Kong, China.
- Poonpan, P. and P. Ongkunaruk. 2014. Best Practices for Thai Farmers to Improve Coconut Sap Quality Using Experimental Design. Pp. 138-142. *In* **International Conference on Economics and Management (ICEM 2014)**. 3-5 January 2014, Guangzhou, China.
- Powell, S., Baker, K. 2011. **Management science: The Art of Modeling with Spreadsheets**, 3rd ed. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Sam, R.T. 1995. Vehicle routing with time windows using genetic algorithms. Submitted to the book on **Application Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers**, 253-277.
- Solomon, M.M. 1987. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows constraints. **Oper. Res.** 35 (2): 254-265.

Suwansuksamran, S. and P. Ongkunaruk. 2013. A mixed integer programming for a vehicle routing problem with time windows: a case study of a Thai seasoning company, pp. 861-870. *In Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2013)*. 22-25 October 2013, Bangkok, Thailand.

Tan, K.C., L.H. Lee, Q.L. Zhu and K. Ou. 2001. Heuristic methods for vehicle routing with time windows. **Artif. Intell. Eng.** 15: 281-295.

Thangiah, S.R. 1999. Complex Structures, pp. 347-381. *In* L. Chambers, ed. **Practical Handbook of Genetic Algorithms**. CRC Press, Australia.

Winston, W. L., S. C. Albright and M. Broadif. 2001. **Practical Management Science**. Duxbury, California.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

รหัสคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม CPLEX สำหรับการสร้างแบบจำลอง

1. แบบจำลองคณิตศาสตร์บนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ของกรณีศึกษาที่ 1

1.1 CPLEX Data: Model

```

*****/

// CPX_PARAM_EPGAP (0.1);

int N = ...; // number of customer
int M = ...; // number of truck
range customer_range = 1..N+1; // i, j
range truck_range = 1..M; // k
range customer_depot_range = 1..N+1; // g, h
float D[customer_depot_range][customer_depot_range] = ...; // distance
int Q[customer_range] = ...; // customer demand
float F[truck_range] = ...; // fixed cost of truck
float V[truck_range] = ...; // variable cost per unit
int T[customer_range] = ...; // having time window constraint
int C[truck_range] = ...; // capacity of truck
float P[truck_range] = ...; // cost per mile for each vehicle
dvar int+ x[customer_depot_range][customer_depot_range][truck_range] in 0..1;
dvar int+ y[customer_range][truck_range] in 0..1;
dvar int+ z[truck_range] in 0..1;
dvar float+ a[customer_depot_range];
execute {
    cplex.epgap = 0.015; // mean 1.5% gap from optimal
}
minimize sum( k in truck_range ) F[k] * z[k] +
    (sum( k in truck_range ) V[k] * sum( i in customer_range ) Q[i]*y[i][k]) +
    sum( k in truck_range, g in customer_depot_range, h in customer_depot_range )
    P[k]*D[g][h]*x[g][h][k];
subject to
{
    forall ( i in customer_range: i!=1)

```

```

sum (k in truck_range, h in customer_depot_range: h != i )
    x[i][h][k] == 1;
forall (k in truck_range)
    sum (i in customer_range) Q[i] * sum (h in customer_range) x[i][h][k] <= C[k];
forall (k in truck_range)
    sum (i in customer_range) T[i] * y[i][k] <= 2;
sum (k in truck_range, i in customer_range, j in customer_range: (j!= i)&&(i!=1)&&(j!=1))
T[i] * T[j] * x[i][j][k]
    >= floor(sum (h in customer_range : h!=1) T[h]/2)
sum (k in truck_range, i in customer_range: i!=1) T[i] * x[1][i][k] >= ceil (sum (h in
customer_range : h!=1) T[h]/2);
forall (g in customer_depot_range, h in customer_depot_range: (h != g)&&(g !=1), k in
truck_range )
a[g] - a[h] + N*x[g][h][k] <= N-1;
forall (k in truck_range, h in customer_depot_range )
    sum (g in customer_depot_range) x[h][g][k] -
    sum (g in customer_depot_range) x[g][h][k] == 0;
forall(k in truck_range)
    sum (i in customer_range: i!= 1) Q[i]*y[i][k] - C[k]*z[k] <= 0;
forall (i in customer_range, k in truck_range)
    sum(h in customer_range: h != i ) x[i][h][k] == y[i][k];
};

```


1.2 CPLEX Data:

*****/

ตารางผนวกที่ ก1 การระบุตำแหน่งข้อมูลบนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ของกรณีศึกษาที่ 1

โซน	จำนวน ลูกค้า (N)	จำนวน รถ (M)	การระบุตำแหน่ง
1	15	6	SheetConnection sheet("Spreadsheet.xlsx"); D from SheetRead(sheet, "zone1!E4:T19");//distance Q from SheetRead(sheet, "zone1!C4:C19");// customer demand T from SheetRead(sheet, "zone1!D4:D19");//time window constraint V from SheetRead(sheet, "zone1!C32:H32"); //Variable cost of vehicle C from SheetRead(sheet, "zone1!C23:H23"); F from SheetRead(sheet, "zone1!C26:H26"); // Fixed cost of truck P from SheetRead(sheet, "zone1!C29:H29");
2	11	6	SheetConnection sheet("Spreadsheet.xlsx"); D from SheetRead(sheet, "zone2!E4:P15");//distance Q from SheetRead(sheet, "zone2!C4:C15");// customer demand T from SheetRead(sheet, "zone2!D4:D15");//time window constraint V from SheetRead(sheet, "zone2!C30:H30"); //Variable cost of vehicle C from SheetRead(sheet, "zone2!C21:H21"); F from SheetRead(sheet, "zone2!C24:H24"); // Fixed cost of truck P from SheetRead(sheet, "zone2!C27:H27");

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

โซน	จำนวน ลูกค้า (N)	จำนวน รถ (M)	การระบุตำแหน่ง
3	17	6	SheetConnection sheet("Spreadsheet.xlsx"); D from SheetRead(sheet, "zone3!E4:V21");//distance Q from SheetRead(sheet, "zone3!C4:C21");// customer demand T from SheetRead(sheet, "zone3!D4:D21");//time window constraint V from SheetRead(sheet, "zone3!C36:H36"); //Variable cost of vehicle C from SheetRead(sheet, "zone3!C27:H27"); F from SheetRead(sheet, "zone3!C30:H30"); // Fixed cost of truck P from SheetRead(sheet, "zone3!C33:H33");
4	17	6	SheetConnection sheet("Spreadsheet.xlsx"); D from SheetRead(sheet, "zone4!E4:V21");//distance Q from SheetRead(sheet, "zone4!C4:C21");// customer demand T from SheetRead(sheet, "zone4!D4:D21");//time window constraint V from SheetRead(sheet, "zone4!C36:H36"); //Variable cost of vehicle C from SheetRead(sheet, "zone4!C27:H27"); F from SheetRead(sheet, "zone4!C30:H30"); // Fixed cost of truck P from SheetRead(sheet, "zone4!C33:H33");

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

โซน	จำนวน ลูกค้า (N)	จำนวน รถ (M)	การระบุตำแหน่ง
5	13	6	SheetConnection sheet("Spreadsheet.xlsx"); D from SheetRead(sheet, "zone5!E4:R17");//distance Q from SheetRead(sheet, "zone5!C4:C17");// customer demand T from SheetRead(sheet, "zone5!D4:D17");//time window constraint V from SheetRead(sheet, "zone5!C32:H32"); //Variable cost of vehicle C from SheetRead(sheet, "zone5!C23:H23"); F from SheetRead(sheet, "zone5!C26:H26"); // Fixed cost of truck P from SheetRead(sheet, "zone5!C29:H29");
6	16	6	SheetConnection sheet("Spreadsheet.xlsx"); D from SheetRead(sheet, "zone6!E4:U20");//distance Q from SheetRead(sheet, "zone6!C4:C20");// customer demand T from SheetRead(sheet, "zone6!D4:D20");//time window constraint V from SheetRead(sheet, "zone6!C35:H35"); //Variable cost of vehicle C from SheetRead(sheet, "zone6!C26:H26"); F from SheetRead(sheet, "zone6!C29:H29"); // Fixed cost of truck P from SheetRead(sheet, "zone6!C32:H32");

2. แบบจำลองคณิตศาสตร์บนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ของกรณีศึกษาที่ 2

2.1 CPLEX Data: Model

```

*****/

// CPX_PARAM_EPGAP (0.1);

int N = ...; // number of farmer
int M = ...; // number of truck
range farmer_range = 1..N+1; // i,j
range truck_range = 1..M; // k
range farmer_depot_range = 1..N+1; // g, h
range truck_time_range = 1..N+1; // g,h
float D[farmer_depot_range][farmer_depot_range] = ...; // distance (km)
float T[truck_time_range][truck_time_range] = ...; // travel time (hour)
int Q[farmer_range] = ...; // quantity for coconut-palm sugar of farmer (litre)
float F[truck_range] = ...; // fixed cost of truck
float V[truck_range] = ...; // variable cost per unit
int C[truck_range] = ...; // capacity of truck
float P[truck_range] = ...; // cost per kilometre for each vehicle
float R[farmer_range] = ...; // rate time (hour/litre)
dvar int+ x[farmer_depot_range][farmer_depot_range][truck_range] in 0..1;
dvar int+ y[farmer_range][truck_range] in 0..1;
dvar int+ z[truck_range] in 0..1;
dvar float+ a[farmer_depot_range];
execute {
    cplex.epgap = 0.015; // mean 1.5% gap from optimal
}

minimize sum( k in truck_range ) F[k] * z[k] +
    (sum( k in truck_range ) V[k] * sum( i in farmer_range ) Q[i]*y[i][k]) +
    sum( k in truck_range, g in farmer_depot_range, h in farmer_depot_range )
    P[k]*D[g][h]*x[g][h][k];

subject to

```

```

{
  forall (i in farmer_range:i!=1)
    sum (k in truck_range,h in farmer_depot_range: h != i )
      x[i][h][k] == 1;
  forall (k in truck_range)
    sum (i in farmer_range) Q[i] * sum (h in farmer_range) x[i][h][k] <= C[k];
  forall (k in truck_range)
    sum (g in farmer_depot_range,h in farmer_depot_range:(g!=1)&&(h!=1)&&(g!=h))
      R[i]*Q[i]*x[g][h][k]+
    sum (g in truck_time_range, h in truck_time_range:g!=h) T[g][h]*x[g][h][k] <= 4;
  forall (k in truck_range, h in farmer_depot_range )
    sum (g in farmer_depot_range) x[h][g][k] -
    sum (g in farmer_depot_range) x[g][h][k] == 0;
  forall (g in farmer_depot_range, h in farmer_depot_range: (h != g)&&(g !=1), k in
truck_range )
    a[g] - a[h] + N*x[g][h][k] <= N-1;

  forall(k in truck_range)
    sum (i in farmer_range:i!= 1) Q[i]*y[i][k] - C[k]*z[k] <= 0;
  forall (i in farmer_range, k in truck_range)
    sum(h in farmer_range) x[i][h][k] == y[i][k];
};

```


2.2 CPLEX Data: Coconut-palm Sugar

*****/

ตารางผนวกที่ ก2 การระบุตำแหน่งข้อมูลบนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ของกรณีศึกษาที่ 2

จำนวน เกษตรกร (N)	จำนวน รถ (M)	การระบุตำแหน่ง
17	3	SheetConnection sheet("data coconut-plam.xlsx"); D from SheetRead(sheet, "distance!c4:t21");//distance (km) Q from SheetRead(sheet, "supply!b3:b20");// quantity for coconut-palm sugar of farmer (litre) T from SheetRead(sheet, "time!c4:t21");//travel time (hour) V from SheetRead(sheet, "distance!c23:e23");//variable cost per unit C from SheetRead(sheet, "distance!c24:e24");//capacity of truck F from SheetRead(sheet, "distance!c25:e25");// Fixed cost of truck P from SheetRead(sheet, "distance!c26:e26");// cost per kilometre for each vehicle R from SheetRead(sheet, "distance!c27:t27");// rate time (hour/litre)



1. ตัวอย่างผลการหาคำตอบ ของกรณีศึกษาที่ 1

เขต 1

- คำตอบของสมการวัตถุประสงค์

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective      4478.3281
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective                                           4.4783281000e+003
// MILP solution norm |x| (Total, Max)                     1.27000e+002 1.50000e+001
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max)                 0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x bound error (Total, Max)                         0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max)                   0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max)                     0.00000e+000 0.00000e+000
//
```

- คำตอบของตัวแปรตัดสินใจ

 z_k

truck_range (k)
1
3
5

 y_{ik}

customer_range (i)	truck_range (k)
1	1
1	3
1	5
2	1
3	3
4	1
5	1
6	3
7	1
8	3
9	5
10	5
11	5
12	3
13	5
14	1
15	1
16	1

 x_{ghk}

customer_depot_range (g)	customer_depot_range (h)	truck_range (k)
1	2	1
1	3	3
1	13	5
2	5	1
3	6	3
4	14	1
5	7	1
6	8	3
7	4	1
8	12	3
9	10	5
10	11	5
11	1	5
12	1	3
13	9	5
14	15	1
15	16	1
16	1	1

$a = [15\ 0\ 0\ 11\ 1\ 1\ 10\ 2\ 1\ 2\ 3\ 3\ 0\ 12\ 13\ 14];$

ภาพผนวกที่ ข1 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจ x_{ghk}, y_{ik}, z_k และ a ของกรณีศึกษาที่ 1 โซน 1

- การหาคำตอบบนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX

Tried aggregator 1 time.

MIP Presolve eliminated 90 rows and 98 columns.

MIP Presolve modified 12 coefficients.

Reduced MIP has 1487 rows, 1557 columns, and 11112 nonzeros.

Reduced MIP has 1542 binaries, 0 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.

Probing time = 0.00 sec.

Tried aggregator 1 time.

Presolve time = 0.06 sec.

Probing time = 0.02 sec.

Clique table members: 7921.

MIP emphasis: balance optimality and feasibility.

MIP search method: dynamic search.

Parallel mode: deterministic, using up to 2 threads.

Root relaxation solution time = 0.03 sec.

Node	Nodes Left	Objective	Inf	Best Integer	Cuts/Best Bound	ItCnt	Gap
0	0	4467.594	62	4467.594		293	
0	0	4468.2603	84		Cuts: 15	380	
0	0	4468.3413	93		Cuts: 54	443	
0	0	4468.3413	75		Cuts:31	452	
0	0	4468.3413	69		Cuts:19	495	
0	0	4468.3413	92		Cuts:36	537	
* 0+	0			6136.4718	4468.3413	537	27.18%
0	2	4468.3413	63	6136.4718	4468.3413	537	27.18%
Elapsed real time = 1.90 sec. (tree size = 0.01 MB, solutions = 1)							
* 91	54	integral	0	6033.8636	4468.348	2420	25.95%
* 109	59	integral	0	6033.437	4468.348	2551	25.94%
363	287	4506.8902	73	6033.437	4468.3724	8107	25.94%
671	576	4470.6709	93	6033.437	4468.5795	13123	25.94%
* 698	596	integral	0	4583.6941	4468.5795	13584	2.51%
779	481	4468.3819	65	4583.6941	4468.6968	16112	2.51%
* 782+	321			4583.3992	4468.6968	16446	2.50%
783	322	4468.607	69	4583.3992	4468.6968	16496	2.50%
794	330	4545.7246	66	4583.3992	4468.6968	17274	2.50%
801	331	4470.3274	77	4583.3992	4468.6968	17561	2.50%
1183	467	4469.6564	73	4583.3992	4469.6226	24178	2.48%
Elapsed real time = 11.37 sec. (tree size = 0.89 MB, solutions = 5)							
* 1480	598	integral	0	4478.3281	4469.6727	27874	0.19%

GUB cover cuts applied: 1

Clique cuts applied: 3

Cover cuts applied: 7

Implied bound cuts applied: 13

Mixed integer rounding cuts applied: 5

Zero-half cuts applied: 5

Gomory fractional cuts applied: 7

Root node processing (before b&c):

Real time = 1.79

Parallel b&c, 2 threads:

Real time = 10.31

Sync time (average) = 0.00

Wait time (average) = 0.00

Total (root+branch&cut) = 12.11 sec.

2. ตัวอย่างผลการหาคำตอบ ของกรณีศึกษาที่ 2

- คำตอบของสมการวัตถุประสงค์

```
// solution (integer optimal, tolerance) with objective 14082.186
// Quality Incumbent solution:
// MILP objective 1.4078786000e+004
// MILP solution norm |x| (Total, Max) 1.28000e+002 1.20000e+001
// MILP solution error (Ax=b) (Total, Max) 5.16254e-015 3.05311e-016
// MILP x bound error (Total, Max) 0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP x integrality error (Total, Max) 0.00000e+000 0.00000e+000
// MILP slack bound error (Total, Max) 0.00000e+000 0.00000e+000
//
```

- คำตอบของตัวแปรตัดสินใจ

 z_k

truck_range (k)
1
2

 y_{ik}

farmer_range (i)	truck_range (k)
1	1
1	2
2	1
3	2
4	1
5	1
6	2
7	2
8	2
9	2
10	2
11	2
12	2
13	2
14	1
15	1
16	2
17	2
18	2

 x_{ghk}

farmer_depot_range (g)	farmer_depot_range (h)	truck_range (k)
1	4	1
1	10	2
2	5	1
3	9	2
4	2	1
5	14	1
6	8	2
7	18	2
8	12	2
9	13	2
10	11	2
11	3	2
12	7	2
13	17	2
14	15	1
15	1	1
16	6	2
17	16	2
18	1	2

$a = [12 \ 1 \ 2 \ 0 \ 2 \ 7 \ 10 \ 8 \ 3 \ 0 \ 1 \ 9 \ 4 \ 3 \ 4 \ 6 \ 5 \ 11];$

ภาพผนวกที่ ข2 คำตอบของตัวแปรตัดสินใจ x_{ghk}, y_{ik}, z_k ของกรณีศึกษาที่ 2

- การหาคำตอบบนโปรแกรม IBM ILOG CPLEX

Tried aggregator 1 time.

MIP Presolve eliminated 51 rows and 2 columns.

MIP Presolve modified 24276 coefficients.

Reduced MIP has 998 rows, 1046 columns, and 20409 nonzeros.

Reduced MIP has 1029 binaries, 0 generals, 0 SOSs, and 0 indicators.

Probing time = 0.00 sec.

Tried aggregator 1 time.

Presolve time = 0.09 sec.

Probing time = 0.02 sec.

Clique table members: 3307.

MIP emphasis: balance optimality and feasibility.

MIP search method: dynamic search.

Parallel mode: deterministic, using up to 2 threads.

Root relaxation solution time = 0.00 sec.

Node	Nodes Left	Objective	lInf	Best Integer	Cuts/ Best Bound	ItCnt	Gap
0	0	12564.9264	69		12564.9264	151	
0	0	12569.1414	76		Cuts: 43	198	
0	0	12572.7744	85		Cuts: 77	289	
0	0	12572.7744	86		Cuts: 70	339	
0	0	12572.7744	59		Cuts: 12	352	
0	0	12572.7744	63		Cuts: 56	384	
* 0+	0			16353.7180	12572.7744	384	23.12%
0	2	12572.7744	53	16353.7180	12572.7744	384	23.12%
Elapsed real time = 1.54 sec. (tree size = 0.01 MB, solutions = 1)							
* 99	87	integral	0	14154.7100	12572.7744	3060	11.18%
508	465	12599.4133	60	14154.7100	12572.8186	9918	11.18%
* 785+	718			14148.7280	12572.8627	13847	11.14%
786	715	12572.7744	51	14148.7280	12572.8627	14454	11.14%
801	661	13868.3888	37	14148.7280	12572.8627	14860	11.14%
876	648	13902.3093	31	14148.7280	12572.8627	15419	11.14%
* 907	466	integral	0	14103.6620	12572.8627	15710	10.85%
1024	498	13874.1009	28	14103.6620	12572.9781	16731	10.85%
1248	604	12574.5120	59	14103.6620	12573.0744	18011	10.85%
1451	688	13872.9133	37	14103.6620	12574.3209	19231	10.84%
3015	2020	13884.8630	53	14103.6620	12576.7159	31380	10.83%
Elapsed real time = 9.61 sec. (tree size = 1.49 MB, solutions = 4)							
5379	4142	12595.5003	35	14103.6620	12594.1035	54175	10.72%
8205	6660	13908.4089	25	14103.6620	12594.8164	84950	10.70%
11078	9211	13914.9196	20	14103.6620	12598.5274	115422	10.67%
13447	11282	13957.1265	34	14103.6620	12600.9838	141827	10.65%
16101	13570	13902.8452	15	14103.6620	12606.8581	172797	10.61%
* 16498+	13912			14102.7620	12608.0151	177789	10.60%
* 16498+	13912			14102.6780	12608.0151	177789	10.60%
* 16498+	13912			14102.6600	12608.0151	177789	10.60%
* 16498+	13912			14101.5500	12608.0151	177789	10.59%
* 16498+	13912			14093.2520	12608.0151	177789	10.54%
* 16498+	13912			14080.1600	12608.0151	177789	10.46%
* 16498+	13912			14079.2780	12608.0151	177789	10.45%
* 16498+	13912			14078.7860	12608.0151	177789	10.45%
16498	13914	13905.4794	35	14078.7860	12608.0151	177789	10.45%
18883	15857	13921.1335	40	14078.7860	12619.6429	205909	10.36%
21550	18096	13900.9273	33	14078.7860	12663.3198	237452	10.05%
24105	20138	14027.0522	4	14078.7860	12727.4402	267576	9.60%

GUB cover cuts applied: 1

Clique cuts applied: 50

Cover cuts applied: 14

Implied bound cuts applied: 17

Mixed integer rounding cuts applied: 18

Zero-half cuts applied: 19

Gomory fractional cuts applied: 6

Root node processing (before b&c):

Real time = 1.44

Parallel b&c, 2 threads:

Real time = 32.10

Sync time (average) = 0.01

Wait time (average) = 0.00

Total (root+branch&cut) = 33.54 sec.





ภาคผนวก ค

ตารางเมตริกซ์ข้อมูลที่ใช้ในการหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX
Optimization Studio version 12.4 ของกรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1

ตารางผนวกที่ ค1 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 1

สถานที่	คลังสินค้า (นครปฐม)	พุทธมณฑล	ศาลายา	ทวีวัฒนา	คลังชั้น	บางกอกน้อย	บางพลัด	บางอ้อ	บางกอกใหญ่	วงเวียนใหญ่	คลองสาน	ภาษีเจริญ	บางแค	หนองแขม	อ้อมน้อย	อ้อมใหญ่
คลังสินค้า(นครปฐม)	0	57.1	46.36	56.08	65.16	70.18	67.66	70.71	73.13	67.66	68.45	64.8	58.77	54.96	50.19	42.11
พุทธมณฑล	57.1	0	9.62	15.43	24.79	29.81	27.29	30.34	32.75	34.47	34.24	31.4	31.98	24.8	25.84	27.71
ศาลายา	46.36	9.62	0	11.21	21.04	26.06	23.54	26.59	29.01	30.73	30.49	27.66	28.24	20.58	21.63	23.49
ทวีวัฒนา	56.08	15.43	11.21	0	15.79	20.82	20.27	23.34	23.76	25.48	22.62	15.99	16.85	13.72	14.84	16.7
คลังชั้น	65.16	24.79	21.04	15.79	0	9.98	7.46	10.5	11.22	14.82	14.58	11.93	19.51	23.58	27.53	29.39
บางกอกน้อย	70.18	29.81	26.06	20.82	9.98	0	6.47	8.34	4.27	8.35	5.77	8.68	16.74	20.33	24.39	26.15
บางพลัด	67.66	27.29	23.54	20.27	7.46	6.47	0	3.31	9.34	13.41	10	18.8	24.52	27.69	32.39	33.51
บางอ้อ	70.71	30.34	26.59	23.34	10.5	8.34	3.31	0	11.44	15.51	12.1	21.17	23.9	30.07	34.77	35.89
บางกอกใหญ่	73.13	32.75	29.01	23.76	11.22	4.27	9.34	11.44	0	5.84	4.87	6.17	13.74	17.82	21.77	23.64
วงเวียนใหญ่	67.66	34.47	30.73	25.48	14.82	8.35	13.41	15.51	5.84	0	3.32	8.54	15.47	20.19	24.15	26.01
คลองสาน	68.45	34.24	30.49	22.62	14.58	5.77	10	12.1	4.87	3.32	0	8.99	16.81	20.64	24.59	26.46
ภาษีเจริญ	64.8	31.4	27.66	15.99	11.93	8.68	18.8	21.17	6.17	8.54	8.99	0	13.24	14.39	18.34	20.2
บางแค	58.77	31.98	28.24	16.85	19.51	16.74	24.52	23.9	13.74	15.47	16.81	13.24	0	13.4	17.36	19.22
หนองแขม	54.96	24.8	20.58	13.72	23.58	20.33	27.69	30.07	17.82	20.19	20.64	14.39	13.4	0	11.02	12.89
อ้อมน้อย	50.19	25.84	21.63	14.84	27.53	24.39	32.39	34.77	21.77	24.15	24.59	18.34	17.36	11.02	0	6.83
อ้อมใหญ่	42.11	27.71	23.49	16.7	29.39	26.15	33.51	35.89	23.64	26.01	26.46	20.2	19.22	12.89	6.83	0

ตารางผนวกที่ ค2 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 2

สถานที่	คลังสินค้า (นครปฐม)	กระทุ่มแบน	บางบอน	จอมทอง	ราษฎร์บูรณะ	พระประแดง	บางมด	ทุ่งครุ	พระสมุทรเจดีย์	ท่าข้าม	บางขุนเทียน	มหาชัย
คลังสินค้า(นครปฐม)	0	34.04	50.94	61.15	65.94	73.57	67.69	72.77	83.24	69.51	65.53	37.05
กระทุ่มแบน	34.04	0	16.95	41.3	46.09	53.71	47.83	52.92	63.39	36.26	32.27	16.9
บางบอน	50.94	16.95	0	14.6	19.39	29.89	21.13	29.1	39.57	21.43	17.44	17.23
จอมทอง	61.15	41.3	14.6	0	9.35	15.89	11.09	15.16	23.07	22.42	18.43	31.24
ราษฎร์บูรณะ	65.94	46.09	19.39	9.35	0	9.57	3.72	7.79	15.7	23.46	19.47	32.27
พระประแดง	73.57	53.71	29.89	15.89	9.57	0	20.03	17.35	27.82	41.3	37.31	40.99
บางมด	67.69	47.83	21.13	11.09	3.72	20.03	0	5.16	13.07	24.85	20.86	33.67
ทุ่งครุ	72.77	52.92	29.1	15.16	7.79	17.35	5.16	0	11.36	14.71	16.23	36.05
พระสมุทรเจดีย์	83.24	63.39	39.57	23.07	15.7	27.82	13.07	11.36	0	19.07	25.99	42.98
ท่าข้าม	69.51	36.26	21.43	22.42	23.46	41.3	24.85	14.71	19.07	0	4.96	25.27
บางขุนเทียน	65.53	32.27	17.44	18.43	19.47	37.31	20.86	16.23	25.99	4.96	0	30.13
มหาชัย	37.05	16.9	17.23	31.24	32.27	40.99	33.67	36.05	42.98	25.27	30.13	0

ตารางผนวกที่ ๓3 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 3

สถานที่	คลังสินค้า (นครปฐม)	บางซื่อ	บางซื่อน	เตาปูน	คูสิต	สามเสน	เทเวศร์	มหานาค	เขาวราช	ป้อมปราบ	สัมพันธวงศ์	บางคอแหลม	ยานนาวา	สาทร	พญาไท	ดินแดง	วัฒนา	คลองเตย
คลังสินค้า (นครปฐม)	0	76.32	76.32	76.32	71.58	80.32	71.58	71.86	72.99	72.38	72.99	65.8	70.58	70.84	79.78	82.73	77.28	74.88
บางซื่อ	76.32	0	1.46	1.46	5.56	7.58	5.56	10.61	12.07	10.61	12.07	16.27	19.5	15.9	7.58	9.16	19.81	21.44
บางซื่อน	76.32	1.46	0	0.5	8.79	8.25	8.79	16.17	17.31	16.69	17.31	23.65	23.39	21.14	12.63	13.41	21.11	19.84
เตาปูน	76.32	1.46	0.5	0	9.29	8.75	9.29	16.67	17.81	17.19	17.81	24.15	23.89	21.64	13.13	13.91	21.61	20.34
คูสิต	71.58	5.56	8.79	9.29	0	4.81	2.2	4.39	6.59	4.39	6.59	10.79	14.02	10.42	4.81	6.16	12.02	15.04
สามเสน	80.32	7.58	8.25	8.75	4.81	0	4.98	7.27	8.73	7.27	8.73	12.93	13.41	13.51	5.4	3.27	13.22	13.15
เทเวศร์	71.58	5.56	8.79	9.29	2.2	4.98	0	3.75	6.59	4.26	5.68	12.93	14.02	10.42	4.81	6.78	12.02	12.14
มหานาค	71.86	10.61	16.17	16.67	4.39	7.27	3.75	0	3.03	0.8	2.73	8.33	11.46	8.77	7.03	8.64	10.28	8.36
เขาวราช	72.99	12.07	17.31	17.81	6.59	8.73	6.59	3.03	0	2.25	2.8	6.53	8.42	5.74	9.31	10.59	18.55	8.1
ป้อมปราบ	72.38	10.61	16.69	17.19	4.39	7.27	4.26	0.8	2.25	0	1.62	7.77	11.01	8.33	8.93	8.6	10.23	7.91
สัมพันธวงศ์	72.99	12.07	17.31	17.81	6.59	8.73	5.68	2.73	2.8	1.62	0	7.85	10.8	8.11	8.72	10.2	17.96	7.7
บางคอแหลม	65.8	16.27	23.65	24.15	10.79	12.93	12.93	8.33	6.53	7.77	7.85	0	11.53	9.85	16.1	17.58	16.46	12.65
ยานนาวา	70.58	19.5	23.39	23.89	14.02	13.41	14.02	11.46	8.42	11.01	10.8	11.53	0	4.19	14.53	13.1	12.05	6.54
สาทร	70.84	15.9	21.14	21.64	10.42	13.51	10.42	8.77	5.74	8.33	8.11	9.85	4.19	0	11.23	10.53	9.57	5.76
พญาไท	79.78	7.58	12.63	13.13	4.81	5.4	4.81	7.03	9.31	8.93	8.72	16.1	14.53	11.23	0	5.71	12.84	9.86
ดินแดง	82.73	9.16	13.41	13.91	6.16	3.27	6.78	8.64	10.59	8.6	10.2	17.58	13.1	10.53	5.71	0	9.15	9.32
วัฒนา	77.28	19.81	21.11	21.61	12.02	13.22	12.02	10.28	18.55	10.23	17.96	16.46	12.05	9.57	12.84	9.15	0	6.63
คลองเตย	74.88	21.44	19.84	20.34	15.04	13.15	12.14	8.36	8.1	7.91	7.7	12.65	6.54	5.76	9.86	9.32	6.63	0

ตารางผนวกที่ ๑๔ เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 4

สถานที่	คลังสินค้า (นครปฐม)	บางใหญ่	บางกรวย	นนทบุรี	บางบัวทอง	ลาดหลุมแก้ว	ปทุมธานี	สามโคก	ไทรน้อย	รังสิต	ตลาดไท	นวนคร	ประตูน้ำพระอินทร์	ลำลูกกา	ชัยบุรี	คลองหลวง	สีมมเมือง	วังน้อย
คลังสินค้า(นครปฐม)	0	59.58	69.98	79.58	87.36	88.3	98.14	98.99	85.29	120.5	84	106.8	114.6	119.2	123.6	128.9	73.9	127.8
บางใหญ่	59.58	0	25.43	22.66	28.76	29.7	36.23	42.09	24.36	54.44	67.5	52.56	56.01	62.19	57.81	61.89	51.3	69.22
บางกรวย	69.98	25.43	0	11.76	38.45	39.39	30.83	36.91	36.37	42.43	47.5	39.42	54.55	49.61	45.8	52.08	26.8	63.57
นนทบุรี	79.58	22.66	11.76	0	30.78	31.72	27.62	33.69	28.71	41.9	39.7	36.21	51.34	45.84	45.27	45.54	23.8	62.93
บางบัวทอง	87.36	28.76	38.45	30.78	0	10.77	29.46	30.08	9.49	47.67	52.7	44.79	44.03	64	51.05	57.32	39.5	57.51
ลาดหลุมแก้ว	88.3	29.7	39.39	31.72	10.77	0	24.4	24.01	23.69	46.38	43.9	38.89	38.22	62.71	49.76	48.22	48.6	51.43
ปทุมธานี	98.14	36.23	30.83	27.62	29.46	24.4	0	8.69	32.78	29.42	26.9	26.54	33.23	45.76	32.8	39.07	31.8	50.56
สามโคก	98.99	42.09	36.91	33.69	30.08	24.01	8.69	0	38.56	30.95	30.8	23.45	23.26	47.28	34.32	32.79	36.2	36.46
ไทรน้อย	85.29	24.36	36.37	28.71	9.49	23.69	32.78	38.56	0	51.62	62.3	48.74	51.73	67.96	55	61.27	47.6	64.94
รังสิต	120.5	54.44	42.43	41.9	47.67	46.38	29.42	30.95	51.62	0	30	21.57	33.64	15.48	4.29	16.88	23	24.59
ตลาดไท	84	67.5	47.5	39.7	52.7	43.9	26.9	30.8	62.3	30	0	4.4	26.6	36.1	15.6	16.4	20.3	28.9
นวนคร	106.8	52.56	39.42	36.21	44.79	38.89	26.54	23.45	48.74	21.57	4.4	0	16.86	38.21	24.7	12.03	27.6	29.42
ประตูน้ำพระอินทร์	114.6	56.01	54.55	51.34	44.03	38.22	33.23	23.26	51.73	33.64	26.6	16.86	0	50.27	37.67	27.72	36.9	21.45
ลำลูกกา	119.2	62.19	49.61	45.84	64	62.71	45.76	47.28	67.96	15.48	36.1	38.21	50.27	0	11.36	33.16	33	42.7
ชัยบุรี	123.6	57.81	45.8	45.27	51.05	49.76	32.8	34.32	55	4.29	15.6	24.7	37.67	11.36	0	22.67	22.67	35.86
คลองหลวง	128.9	61.89	52.08	45.54	57.32	48.22	39.07	32.79	61.27	16.88	16.4	12.03	27.72	33.16	22.67	0	34.7	20.02
สีมมเมือง	73.9	51.3	26.8	23.8	39.5	48.6	31.8	36.2	47.6	23	20.3	27.6	36.9	33	22.67	34.7	0	52.2
วังน้อย	127.8	69.22	63.57	62.93	57.51	51.43	50.56	36.46	64.94	24.59	28.9	29.42	21.45	42.7	35.86	20.02	52.2	0

ตารางภาคผนวกที่ ค5 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 5

สถานที่	คลังสินค้า (นครปฐม)	ปากเกร็ด	ดอนเมือง	สายไหม	สะพานใหม่	บางเขน	คลองสามวา	หนองจอก	มีนบุรี	คันนายาว	บึงกุ่ม	ลาดพร้าว	จตุจักร	หลักสี่
คลังสินค้า(นครปฐม)	0	86.61	98.49	104.4	99.51	98.95	111.4	125	100.3	100.3	96.9	91.31	78.36	83.33
ปากเกร็ด	86.61	0	13.2	23.18	16.63	18.91	34.24	49.38	31.68	25.79	26.33	21.91	15.9	14.71
ดอนเมือง	98.49	13.2	0	9.99	15.2	17.48	31.68	47.94	30.24	24.35	28.98	25.92	17.24	10.91
สายไหม	104.4	23.18	9.99	0	12.99	13.38	16.54	35.82	22.12	20.44	21.96	25.95	18.9	16.72
สะพานใหม่	99.51	16.63	15.2	12.99	0	10.74	26.06	41.2	23.5	17.61	16.09	13.03	9.21	8.77
บางเขน	98.95	18.91	17.48	13.38	10.74	0	18.53	33.67	15.97	10.08	10.62	12.72	14.01	13.66
คลองสามวา	111.4	34.24	31.68	16.54	26.06	18.53	0	23.74	13.19	15.67	19.7	26.83	31.15	27.37
หนองจอก	125	49.38	47.94	35.82	41.2	33.67	23.74	0	22.48	24.96	28.99	36.12	40.43	42.25
มีนบุรี	100.3	31.68	30.24	22.12	23.5	15.97	13.19	22.48	0	11.16	13.73	22.32	26.64	28.45
คันนายาว	100.3	25.79	24.35	20.44	17.61	10.08	15.67	24.96	11.16	0	8.63	13.17	19.65	19.22
บึงกุ่ม	96.9	26.33	28.98	21.96	16.09	10.62	19.7	28.99	13.73	8.63	0	11.7	16.01	21.26
ลาดพร้าว	91.31	21.91	25.92	25.95	13.03	12.72	26.83	36.12	22.32	13.17	11.7	0	12.58	17.82
จตุจักร	78.36	15.9	17.24	18.9	9.21	14.01	31.15	40.43	26.64	19.65	16.01	12.58	0	10.13
หลักสี่	83.33	14.71	10.91	16.72	8.77	13.66	27.37	42.25	28.45	19.22	21.26	17.82	10.13	0

ตารางภาคผนวกที่ ๑๖ เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง ลูกค้า และลูกค้า ถึง ลูกค้า เขต 6

สถานที่	คลังสินค้า (นครปฐม)	วังทองหลาง	บางกะปิ	สะพานสูง	ลาดกระบัง	สุวรรณภูมิ	บางบ่อ	บางเสาธง	บางพลี	บางปู	สมุทรปราการ	ลำโรง	ปู่เจ้าสมิงพราย	บางนา	พระโขนง	ประเวศ	สวนหลวง
คลังสินค้า(นครปฐม)	0	87.69	90.5	106.2	101.8	76.2	110.1	105.1	92.54	106.7	84.62	77.55	77.68	86.43	80.06	99.68	81.66
วังทองหลาง	87.69	0	6.74	13.47	21.93	37.76	45.44	40.46	38.7	49.01	30.05	16.67	20.47	23.82	13.8	15.11	10.89
บางกะปิ	90.5	6.74	0	7.54	15.67	31.45	42.62	37.64	34.18	46.2	27.16	21.89	25.7	15.98	13.71	9.64	7.73
สะพานสูง	106.2	13.47	7.54	0	11.99	27.94	42.67	37.69	34.23	46.24	39.4	24.18	39.3	28.52	19.78	16.53	13.51
ลาดกระบัง	101.8	21.93	15.67	11.99	0	18.08	30.84	25.86	19.75	33.88	25.74	27.99	32.75	21.97	19.76	9.13	16.48
สุวรรณภูมิ	76.2	37.76	31.45	27.94	18.08	0	25.4	20.42	12.75	28.97	34	29.01	33.89	22.99	27.57	27.93	35.99
บางบ่อ	110.1	45.44	42.62	42.67	30.84	25.4	0	21.52	25.82	30.2	36.2	42.13	47.01	36.11	40.69	41.05	44.82
บางเสาธง	105.1	40.46	37.64	37.69	25.86	20.42	21.52	0	18.15	22.52	28.52	34.45	39.33	28.44	33.02	33.37	41.43
บางพลี	92.54	38.7	34.18	34.23	19.75	12.75	25.82	18.15	0	21.28	14.92	20.05	24.89	14.03	18.61	18.97	23.53
บางปู	106.7	49.01	46.2	46.24	33.88	28.97	30.2	22.52	21.28	0	19.15	31.95	32.08	31.5	36.08	36.44	40.99
สมุทรปราการ	84.62	30.05	27.16	39.4	25.74	34	36.2	28.52	14.92	19.15	0	16.32	16.44	19.22	22.14	25.18	27.77
ลำโรง	77.55	16.67	21.89	24.18	27.99	29.01	42.13	34.45	20.05	31.95	16.32	0	3.17	9.06	7.64	25.87	13.41
ปู่เจ้าสมิงพราย	77.68	20.47	25.7	39.3	32.75	33.89	47.01	39.33	24.89	32.08	16.44	3.17	0	11.65	10.22	31.09	16
บางนา	86.43	23.82	15.98	28.52	21.97	22.99	36.11	28.44	14.03	31.5	19.22	9.06	11.65	0	5.59	23.82	11.37
พระโขนง	80.06	13.8	13.71	19.78	19.76	27.57	40.69	33.02	18.61	36.08	22.14	7.64	10.22	5.59	0	24.29	9.14
ประเวศ	99.68	15.11	9.64	16.53	9.13	27.93	41.05	33.37	18.97	36.44	25.18	25.87	31.09	23.82	24.29	0	8.87
สวนหลวง	81.66	10.89	7.73	13.51	16.48	35.99	44.82	41.43	23.53	40.99	27.77	13.41	16	11.37	9.14	8.87	0

กรณีศึกษาที่ 2

ตารางผนวกที่ ค7 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร และเกษตรกร ถึงเกษตรกร

	โรงงาน	ราชันี	อำพล	บ้งอร	สมพงษ์	ฉวีวรรณ	หนึ่งฤทัย	ฉันทนา (2)	วิทยา	ฉันทนา (1)	สมหมาย	อัญชลี	รติมา	ศรีศักดิ์	วิมล	สมพร	ฉัตรชัย	เกรียงศักดิ์
โรงงาน	0.0	10.7	10.8	10.6	10.7	10.5	11.8	12.0	10.2	9.0	9.2	13.1	10.3	11.2	10.5	10.5	9.6	9.6
ราชันี	10.7	0.0	2.4	0.0	0.0	0.2	3.4	3.6	1.8	3.2	3.4	4.7	1.9	0.5	0.1	0.1	1.0	7.9
อำพล	10.8	2.4	0.0	2.3	2.4	2.2	3.0	3.2	0.6	0.9	1.0	3.6	0.7	2.9	2.2	2.2	1.4	8.1
บ้งอร	10.6	0.0	2.3	0.0	0.1	0.2	3.3	3.5	1.8	3.2	3.4	4.6	1.8	0.6	0.1	0.1	1.0	7.9
สมพงษ์	10.7	0.0	2.4	0.1	0.0	0.2	3.4	3.6	1.8	3.2	3.4	4.7	1.9	0.5	0.2	0.2	1.1	8.0
ฉวีวรรณ	10.5	0.2	2.2	0.2	0.2	0.0	3.2	3.3	1.6	3.0	3.2	4.5	1.7	0.7	0.1	0.1	0.8	7.7
หนึ่งฤทัย	11.8	3.4	3.0	3.3	3.4	3.2	0.0	3.4	2.4	3.9	4.0	1.1	2.5	3.9	3.3	3.3	2.4	5.5
ฉันทนา(2)	12.0	3.6	3.2	3.5	3.6	3.3	3.4	0.0	2.6	4.0	4.2	2.7	2.7	4.0	3.4	3.4	2.5	8.6
วิทยา	10.2	1.8	0.6	1.8	1.8	1.6	2.4	2.6	0.0	1.4	1.6	3.1	0.1	2.3	1.7	1.7	0.8	7.5
ฉันทนา(1)	9.0	3.2	0.9	3.2	3.2	3.0	3.9	4.0	1.4	0.0	0.2	5.1	1.5	3.7	3.1	3.1	2.2	6.3
สมหมาย	9.2	3.4	1.0	3.4	3.4	3.2	4.0	4.2	1.6	0.2	0.0	5.3	1.7	3.9	3.3	3.3	2.4	6.5
อัญชลี	13.1	4.7	3.6	4.6	4.7	4.5	1.1	2.7	3.1	5.1	5.3	0.0	3.1	5.2	3.9	3.9	3.0	6.5
รติมา	10.3	1.9	0.7	1.8	1.9	1.7	2.5	2.7	0.1	1.5	1.7	3.1	0.0	2.4	1.8	1.8	0.9	7.6
ศรีศักดิ์	11.2	0.5	2.9	0.6	0.5	0.7	3.9	4.0	2.3	3.7	3.9	5.2	2.4	0.0	0.6	0.6	1.5	8.4
วิมล	10.5	0.1	2.2	0.1	0.2	0.1	3.3	3.4	1.7	3.1	3.3	3.9	1.8	0.6	0.0	0.0	0.9	7.8
สมพร	10.5	0.1	2.2	0.1	0.2	0.1	3.3	3.4	1.7	3.1	3.3	3.9	1.8	0.6	0.0	0.0	0.9	7.8
ฉัตรชัย	9.6	1.0	1.4	1.0	1.1	0.8	2.4	2.5	0.8	2.2	2.4	3.0	0.9	1.5	0.9	0.9	0.0	6.9
เกรียงศักดิ์	9.6	7.9	8.1	7.9	8.0	7.7	5.5	8.6	7.5	6.3	6.5	6.5	7.6	8.4	7.8	7.8	6.9	0.0

ตารางผนวกที่ ๑๘ เมตริกซ์เวลาที่ใช้เดินทาง (ชั่วโมง) ระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร และเกษตรกร ถึงเกษตรกร

โรงงาน	ราชินี	อำพล	บึงอร	สมพงษ์	ฉวีวรรณ	หนึ่งฤทัย	ฉันทนา(2)	วิทยา	ฉันทนา(1)	สมหมาย	อัญชลี	ธิดิมา	ศรีศักดิ์	วิมล	สมพร	ถวัลย์	เกรียงศักดิ์
โรงงาน	0.00	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.30	0.30	0.26	0.23	0.23	0.33	0.26	0.28	0.26	0.26	0.24
ราชินี	0.27	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.09	0.09	0.05	0.08	0.09	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.20
อำพล	0.27	0.06	0.00	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.02	0.02	0.03	0.09	0.02	0.07	0.06	0.06	0.20
บึงอร	0.27	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.05	0.08	0.09	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.20
สมพงษ์	0.27	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.09	0.09	0.05	0.08	0.09	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.20
ฉวีวรรณ	0.26	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00	0.08	0.08	0.04	0.08	0.08	0.11	0.04	0.02	0.00	0.00	0.19
หนึ่งฤทัย	0.30	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08	0.00	0.09	0.06	0.10	0.10	0.03	0.06	0.10	0.08	0.08	0.14
ฉันทนา(2)	0.30	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.00	0.07	0.10	0.11	0.07	0.07	0.10	0.09	0.09	0.22
วิทยา	0.26	0.05	0.02	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.00	0.04	0.04	0.08	0.00	0.06	0.04	0.04	0.19
ฉันทนา(1)	0.23	0.08	0.02	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.04	0.00	0.00	0.13	0.04	0.09	0.08	0.08	0.16
สมหมาย	0.23	0.09	0.03	0.09	0.09	0.08	0.10	0.11	0.04	0.00	0.00	0.13	0.04	0.10	0.08	0.08	0.16
อัญชลี	0.33	0.12	0.09	0.12	0.12	0.11	0.03	0.07	0.08	0.13	0.13	0.00	0.08	0.13	0.10	0.10	0.16
ธิดิมา	0.26	0.05	0.02	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.00	0.04	0.04	0.08	0.00	0.06	0.05	0.05	0.19
ศรีศักดิ์	0.28	0.01	0.07	0.01	0.01	0.02	0.10	0.10	0.06	0.09	0.10	0.13	0.06	0.00	0.02	0.02	0.21
วิมล	0.26	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.04	0.08	0.08	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.20
สมพร	0.26	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.04	0.08	0.08	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.20
ถวัลย์	0.24	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.06	0.06	0.02	0.06	0.06	0.08	0.02	0.04	0.02	0.02	0.17
เกรียงศักดิ์	0.24	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.14	0.22	0.19	0.16	0.16	0.16	0.19	0.21	0.20	0.20	0.00



วันที่/...../.....

พิกัด GPS โรงงาน ค่า X ค่า Y.....

1.

ทะเบียนรถ	เลขไมล์ออกจากโรงงาน	เวลาออกจากโรงงาน	เวลามาถึงโรงงาน	เลขไมล์ถึงโรงงาน

2.

สวน	เวลาถึง	เลขไมล์	พิกัด		เวลาที่ใช้ ขนถ่าย	เวลา QC	ปริมาณ น้ำตาล	เวลาออก	หมายเหตุ
			ค่า X	ค่า Y					

ภาพผนวกที่ ง1 แบบเก็บข้อมูลบริษัทกรณีศึกษาที่ 2



ภาคผนวก จ
ตารางเมตริกซ์ข้อมูลที่ใช้ในการหาคำตอบโดยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM ILOG CPLEX
Optimization Studio version 12.4 ของกรณีศึกษาที่ 2

ตารางผนวกที่ ๑1 เมตริกซ์ระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร และเกษตรกร ถึงเกษตรกร

	โรงงาน	รัชนี	อำพล	บึงอร	สมพงษ์	ฉวีวรรณ	หนึ่งฤทัย	ฉันทนา(2)	วิทยา	ฉันทนา(1)	สมหมาย	อัญชลี	ธิดิมา	ศรีศักดิ์	วิมล	สมพร	นัศรชัย	เกรียงศักดิ์
โรงงาน	0.0	10.7	10.8	10.6	10.7	10.5	11.8	12.0	10.2	9.0	9.2	13.1	10.3	11.2	10.5	10.5	9.6	9.6
รัชนี	10.7	0.0	2.4	0.0	0.0	0.2	3.4	3.6	1.8	3.2	3.4	4.7	1.9	0.5	0.1	0.1	1.0	7.9
อำพล	10.8	2.4	0.0	2.3	2.4	2.2	3.0	3.2	0.6	0.9	1.0	3.6	0.7	2.9	2.2	2.2	1.4	8.1
บึงอร	10.6	0.0	2.3	0.0	0.1	0.2	3.3	3.5	1.8	3.2	3.4	4.6	1.8	0.6	0.1	0.1	1.0	7.9
สมพงษ์	10.7	0.0	2.4	0.1	0.0	0.2	3.4	3.6	1.8	3.2	3.4	4.7	1.9	0.5	0.2	0.2	1.1	8.0
ฉวีวรรณ	10.5	0.2	2.2	0.2	0.2	0.0	3.2	3.3	1.6	3.0	3.2	4.5	1.7	0.7	0.1	0.1	0.8	7.7
หนึ่งฤทัย	11.8	3.4	3.0	3.3	3.4	3.2	0.0	3.4	2.4	3.9	4.0	1.1	2.5	3.9	3.3	3.3	2.4	5.5
ฉันทนา(2)	12.0	3.6	3.2	3.5	3.6	3.3	3.4	0.0	2.6	4.0	4.2	2.7	2.7	4.0	3.4	3.4	2.5	8.6
วิทยา	10.2	1.8	0.6	1.8	1.8	1.6	2.4	2.6	0.0	1.4	1.6	3.1	0.1	2.3	1.7	1.7	0.8	7.5
ฉันทนา(1)	9.0	3.2	0.9	3.2	3.2	3.0	3.9	4.0	1.4	0.0	0.2	5.1	1.5	3.7	3.1	3.1	2.2	6.3
สมหมาย	9.2	3.4	1.0	3.4	3.4	3.2	4.0	4.2	1.6	0.2	0.0	5.3	1.7	3.9	3.3	3.3	2.4	6.5
อัญชลี	13.1	4.7	3.6	4.6	4.7	4.5	1.1	2.7	3.1	5.1	5.3	0.0	3.1	5.2	3.9	3.9	3.0	6.5
ธิดิมา	10.3	1.9	0.7	1.8	1.9	1.7	2.5	2.7	0.1	1.5	1.7	3.1	0.0	2.4	1.8	1.8	0.9	7.6
ศรีศักดิ์	11.2	0.5	2.9	0.6	0.5	0.7	3.9	4.0	2.3	3.7	3.9	5.2	2.4	0.0	0.6	0.6	1.5	8.4
วิมล	10.5	0.1	2.2	0.1	0.2	0.1	3.3	3.4	1.7	3.1	3.3	3.9	1.8	0.6	0.0	0.0	0.9	7.8
สมพร	10.5	0.1	2.2	0.1	0.2	0.1	3.3	3.4	1.7	3.1	3.3	3.9	1.8	0.6	0.0	0.0	0.9	7.8
นัศรชัย	9.6	1.0	1.4	1.0	1.1	0.8	2.4	2.5	0.8	2.2	2.4	3.0	0.9	1.5	0.9	0.9	0.0	6.9
เกรียงศักดิ์	9.6	7.9	8.1	7.9	8.0	7.7	5.5	8.6	7.5	6.3	6.5	6.5	7.6	8.4	7.8	7.8	6.9	0.0

ตารางผนวกที่ ๑2 เมตริกซ์เวลาที่ใช้เดินทาง (ชั่วโมง) ระหว่างโรงงาน ถึง เกษตรกร และเกษตรกร ถึงเกษตรกร

	โรงงาน	ราชินี	อำพล	บึงอร	สมพงษ์	ฉวีวรรณ	หนึ่งฤทัย	ฉันทนา(2)	วิทยา	ฉันทนา(1)	สมหมาย	อัญชลี	ธิดิมา	ศรีศักดิ์	วิมล	สมพร	ฉัตรชัย	เกรียงศักดิ์
โรงงาน	0.00	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.30	0.30	0.26	0.23	0.23	0.33	0.26	0.28	0.26	0.26	0.24	0.24
ราชินี	0.27	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.09	0.09	0.05	0.08	0.09	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.03	0.20
อำพล	0.27	0.06	0.00	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08	0.02	0.02	0.03	0.09	0.02	0.07	0.06	0.06	0.04	0.20
บึงอร	0.27	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.05	0.08	0.09	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.03	0.20
สมพงษ์	0.27	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.09	0.09	0.05	0.08	0.09	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.03	0.20
ฉวีวรรณ	0.26	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00	0.08	0.08	0.04	0.08	0.08	0.11	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.19
หนึ่งฤทัย	0.30	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08	0.00	0.09	0.06	0.10	0.10	0.03	0.06	0.10	0.08	0.08	0.06	0.14
ฉันทนา(2)	0.30	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.00	0.07	0.10	0.11	0.07	0.07	0.10	0.09	0.09	0.06	0.22
วิทยา	0.26	0.05	0.02	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.00	0.04	0.04	0.08	0.00	0.06	0.04	0.04	0.02	0.19
ฉันทนา(1)	0.23	0.08	0.02	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.04	0.00	0.00	0.13	0.04	0.09	0.08	0.08	0.06	0.16
สมหมาย	0.23	0.09	0.03	0.09	0.09	0.08	0.10	0.11	0.04	0.00	0.00	0.13	0.04	0.10	0.08	0.08	0.06	0.16
อัญชลี	0.33	0.12	0.09	0.12	0.12	0.11	0.03	0.07	0.08	0.13	0.13	0.00	0.08	0.13	0.10	0.10	0.08	0.16
ธิดิมา	0.26	0.05	0.02	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.00	0.04	0.04	0.08	0.00	0.06	0.05	0.05	0.02	0.19
ศรีศักดิ์	0.28	0.01	0.07	0.01	0.01	0.02	0.10	0.10	0.06	0.09	0.10	0.13	0.06	0.00	0.02	0.02	0.04	0.21
วิมล	0.26	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.04	0.08	0.08	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.20
สมพร	0.26	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.04	0.08	0.08	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.20
ฉัตรชัย	0.24	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.06	0.06	0.02	0.06	0.06	0.08	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00	0.17
เกรียงศักดิ์	0.24	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.14	0.22	0.19	0.16	0.16	0.16	0.19	0.21	0.20	0.20	0.17	0.00

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายศุภนัท สุวรรณสุขสำราญ
เกิดวันที่ 8 กันยายน 2526
สถานที่เกิด อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีหม่อนไหม กรมหม่อนไหม
ผลงานดีเด่น/หรือรางวัลทางวิชาการ รางวัล Best Paper จากงานประชุมวิชาการ The 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management. October 23 — 25, Bangkok, Thailand.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ -