



ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมของโลจิสติกส์ขาออก
ในอุตสาหกรรมน้ำตาล



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมของโลจิสติกส์ขาออก
ในอุตสาหกรรมน้ำตาล



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมของโลจิสติกส์ขาออกในอุตสาหกรรมน้ำตาล"

ของ ธนัชพร สมใส

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชชัย เทพกรณ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โพธิ์งาม สมกุล)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ดร.ศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ)

อนุมัติ

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมของโลจิสติกส์ขาออกในอุตสาหกรรมน้ำตาล
ผู้วิจัย	ธนัชพร สมใส
ประธานที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2563
คำสำคัญ	ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะที่พิจารณาประเด็นสิ่งแวดล้อม, อุตสาหกรรมน้ำตาล, ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

บทคัดย่อ

ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย ประกอบไปด้วย เกษตรกรปลูกอ้อยหลังจากนั้นจึงขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน นำอ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิตได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาล และหลังจากนั้นจะเป็นการกระจายผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงานสู่ลูกค้า โดยการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงานเพื่อกระจายไปสู่ลูกค้า ถือเป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่ง โดยการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลมักจะใช้รถบรรทุกทุกขนาดใหญ่ ที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง จึงทำให้การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจก เนื่องจาก ณ ปัจจุบันนี้ทั่วโลกต่างหันมาให้ความสำคัญและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้น หากประเทศไทยมีนโยบายในการแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยการหันมาเก็บภาษีจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อาจส่งผลกระทบต่อโรงงานทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยสำหรับการตัดสินใจเพื่อการวางแผนในระดับกลยุทธ์ สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อส่งออกไปยังต่างประเทศ โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ 1) กรณีที่พิจารณาเพื่อหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด 2) กรณีที่พิจารณาเพื่อหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับเงื่อนไขด้านความจุของคลังเก็บสินค้า และ 3) กรณีที่พิจารณาเพื่อหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด โดยพิจารณาด้านทุนสำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูก

นำเสนอจะพิจารณารูปแบบการขนส่งทั้งหมด 3 รูปแบบด้วยกัน ประกอบไปด้วย รูปแบบการขนส่งทางถนน รูปแบบการขนส่งทางน้ำ และรูปแบบการขนส่งทางราง

ผลเฉลี่ยที่ได้รับ พบว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานกรณีศึกษา ไปยังท่าเรือเพื่อทำการส่งออกไปยังประเทศปลายทาง ด้วยรูปแบบการขนส่งทางราง ส่งผลให้มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด นอกเหนือจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล สำหรับรูปแบบการขนส่งทางรางที่ได้รับจากผลเฉลี่ย กับรูปแบบการขนส่งทางถนน และรูปแบบการขนส่งทางถนนร่วมกับรูปแบบการขนส่งทางน้ำ ที่โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน พบว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยรูปแบบการขนส่งทางรางมีต้นทุนต่ำกว่าร้อยละ 45.62 และ 42.90 ตามลำดับ



Title	GREEN VEHICLE ROUTING PROBLEM OF OUTBOUND LOGISTICS IN SUGAR INDUSTRY
Author	THANATPORN SOMSAI
Advisor	Assistant Professor Pongpong Pongcharoen, Ph.D.
Academic Paper	Thesis M.Eng. in Management Engineering, Naresuan University, 2020
Keywords	Green vehicle routing problem, Sugar industry, Mathematical model

ABSTRACT

The supply chain of Thailand sugar industry consists of harvesting the sugar cane, transporting the sugar cane to the factory, producing process after that the sugar product is distributed to the customer. Transporting sugar product to customers usually use heavy-duty truck which high rate of carbon dioxide emission. Due to the environmental situation affect every organization turn to focus on their process to improve the process in a sustainable way. Therefore, if Thailand has a policy to solve environmental problems by collecting carbon dioxide emissions will affect the total cost of sugar products.

The mathematical model proposed is divided into 3 scenarios: 1) considering the route and the mode of transportation for exporting sugar product with the lowest carbon dioxide emission rates; 2) considering the route and the mode of transportation for exporting sugar product with the lowest carbon dioxide emission with warehouse capacity constraint; and 3) considering the route and mode of transportation for exporting sugar products with the lowest total costs including the cost of carbon dioxide emissions. The modes of transportation that are considered consist of road, water, and rail.

Besides, the compared the total cost incurred in transported sugar product by rail with transported sugar product by road and road combined with water that performed in currently found that the cost of transported by rail lower than the transported sugar product by road and road combined with water 45.62% and 42.90%, respectively.



ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้สละเวลาอันมีค่าคอยให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและชี้แนะถึงแนวทางที่ถูกต้องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่เริ่มต้นค้นหาหัวข้อวิทยานิพนธ์ตลอดจนระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการศึกษาสำหรับนิสิตปริญญาโท ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในระดับปริญญาโทตลอดหลักสูตรการศึกษานอกจากนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงบุคคลในครอบครัวและกัลยาณมิตรทุกท่าน ของผู้วิจัยที่ทำให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา ขอขอบพระคุณพี่น้อง ทั้งที่เรียนอยู่และจบไปแล้วในสาขาวิศวกรรมการจัดการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พี่เก่ง พี่กาญจน์ และพี่ต๋อย ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจอยู่เสมอ

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแต่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในปัญหาลักษณะนี้ไม่มากนัก

ธัชพร สมใส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
ประกาศคุุณุปการ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการศึกษา.....	5
ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	6
สมมติฐานของการวิจัย.....	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management).....	7
การจัดการโลจิสติกส์ (Logistics Management).....	9
โลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก (Inbound Internal and Outbound Logistics).....	10
ห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล (Supply Chain in Cane and Sugar Industry).....	11

รูปแบบการขนส่ง (Mode of Transportation)	13
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission)	15
แนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่ง (Guidelines For Reducing Greenhouse Gas in Transport Sector)	17
ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem)	18
ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green Vehicle Routing Problem)	21
กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) และการตัดสินใจ (Decision Making).....	57
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	60
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	60
ขั้นตอนการดำเนินงาน	60
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	70
ผลการศึกษากระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล.....	70
ผลการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล.....	74
ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	83
การหาผลเฉลยและอภิปรายผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	84
บทที่ 5 บทสรุป.....	118
สรุปผลการวิจัย.....	118
ข้อเสนอแนะ	119
บรรณานุกรม	120
ประวัติผู้วิจัย	145

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงความแตกต่างระหว่างโลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก.....	10
ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (GVRP).....	27
ตาราง 3 ทบทวนวรรณกรรมปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้แบบจำลองเชิงเส้น	48
ตาราง 4 คุณลักษณะของยานพาหนะที่พิจารณา	62
ตาราง 5 ประเด็นที่ถูกพิจารณาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบ่งตามกรณี	74
ตาราง 6 ข้อมูลความจุของยานพาหนะ (ตัน).....	85
ตาราง 7 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังท่าเรือด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร).....	86
ตาราง 8 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปคลังเก็บสินค้าด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร).....	86
ตาราง 9 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้าไปยังท่าเรือด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร).....	87
ตาราง 10 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้งด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร).....	88
ตาราง 11 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้งไปยังท่าเรือด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร).....	88
ตาราง 12 ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า ลงเรือโป๊ะ (บาท/ตัน).....	89
ตาราง 13 ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านเรือโป๊ะไปยังท่าเรือ (บาท/ตัน).....	89

ตาราง 14	ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นเรือเดินสมุทร (บาท/ตัน)	89
ตาราง 15	จำนวนรอบที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของยานพาหนะชนิดต่าง ๆ.....	90
ตาราง 16	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ε_{ikv} ที่ได้รับจากโปรแกรมในกรณีที่ 1	92
ตาราง 17	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ μ_{ijv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 1	93
ตาราง 18	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ρ_{jkv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 1	94
ตาราง 19	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ σ_{imv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 1	95
ตาราง 20	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ω_{mlv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 1	96
ตาราง 21	ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง และปริมาณในการขนส่ง	98
ตาราง 22	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ Q_{ikv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2	100
ตาราง 23	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ R_{ijv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2	101
ตาราง 24	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ S_{jkv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2	102
ตาราง 25	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ T_{imv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2	104
ตาราง 26	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ U_{mlv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2	104
ตาราง 27	ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง	106
ตาราง 28	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ε_{ikv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3	108
ตาราง 29	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ μ_{ijv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3	109
ตาราง 30	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ρ_{jkv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3	110
ตาราง 31	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ σ_{imv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3	112
ตาราง 32	ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ω_{mlv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3	112
ตาราง 33	ทางเลือกสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล กรณีที่ 3	114
ตาราง 34	ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง	115

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้พลังงานของประเทศไทย . 1	1
ภาพ 2 ปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย ไทย	2
ภาพ 3 แนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทยในแต่ละปี และ สัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบ่งตามภาคเศรษฐกิจ	3
ภาพ 4 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำตาล	4
ภาพ 5 กิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมน้ำตาล.....	5
ภาพ 6 ขั้นตอนต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน.....	8
ภาพ 7 ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นภายในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน	9
ภาพ 8 โลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก ของอุตสาหกรรมน้ำตาล	11
ภาพ 9 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาล.....	12
ภาพ 10 ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล.....	12
ภาพ 11 รูปแบบการขนส่งแบบถึงที่ (Door to Door) และรูปแบบการขนส่งแบบถึงท่า (Door to Port).....	15
ภาพ 12 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ.....	16
ภาพ 13 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ	20
ภาพ 14 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม	21

ภาพ 15 ปริมาณบทความที่ศึกษาการจัดเส้นทางยานพาหนะทั้งแบบพิจารณา และไม่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม.....	24
ภาพ 16 สัดส่วนของบทความวิจัยในฐานข้อมูลต่าง ๆ.....	25
ภาพ 17 แนวโน้มของบทความในกลุ่มปัญหา GVRP.....	26
ภาพ 18 แนวโน้มของวิธีการค้นหาคำตอบ	40
ภาพ 19 อัตราส่วนของวิธีการในกลุ่มวิธีแบบประมาณค่า.....	41
ภาพ 20 อัตราส่วนของขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบแม่นยำ.....	42
ภาพ 21 สัดส่วนของวัตถุประสงค์ที่พิจารณาในบทความ.....	43
ภาพ 22 แนวโน้มรูปแบบการขนส่งที่ถูกพิจารณา.....	44
ภาพ 23 รูปแบบการขนส่งที่ถูกนำมาพิจารณา.....	45
ภาพ 24 แนวโน้มของประเภทยานพาหนะที่ถูกนำไปพิจารณา.....	46
ภาพ 25 อัตราส่วนของลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม.....	46
ภาพ 26 สัดส่วนของประเภทโลจิสติกส์ที่ได้รับการพิจารณา และสัดส่วนของประเภทข้อมูลที่ถูกใช้พิจารณา.....	51
ภาพ 27 สัดส่วนของรูปแบบการขนส่งที่ถูกพิจารณา.....	52
ภาพ 28 สัดส่วนของฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ถูกพิจารณา.....	53
ภาพ 29 สัดส่วนของต้นทุนที่ถูกนำมาพิจารณา.....	54
ภาพ 30 แสดงสัดส่วนของประเภทยานพาหนะที่ถูกพิจารณา.....	56
ภาพ 31 ระดับของการตัดสินใจ.....	58
ภาพ 32 กระบวนการหาคำตอบจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยภาษา AMPL.....	59
ภาพ 33 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	61

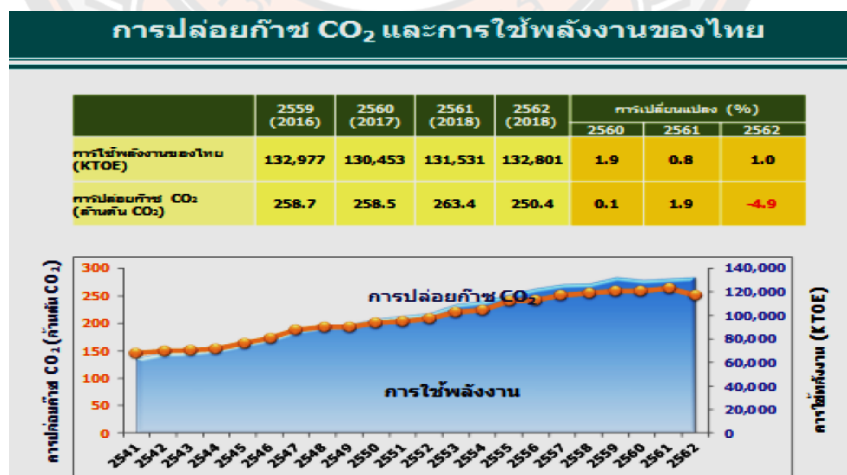
ภาพ 34 แสดงโครงข่ายการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในปัจจุบัน.....	64
ภาพ 35 ตัวอย่างไฟล์นามสกุล .mod	67
ภาพ 36 ตัวอย่างไฟล์นามสกุล .dat	67
ภาพ 37 การแจ้งเตือนข้อผิดพลาดของโปรแกรม Gurobi.....	68
ภาพ 38 กระบวนการดำเนินงานของโรงงานน้ำตาล	70
ภาพ 39 โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาในปัจจุบัน.....	72
ภาพ 40 โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกที่ถูกพิจารณาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์	73
ภาพ 41 ผลการประมวลหาค่าที่เหมาะสมที่สุดตามฟังก์ชันจุดประสงค์.....	84
ภาพ 42 ผลเฉลยของตัวแปรตัดสินใจ	84
ภาพ 43 แผนภาพผลลัพธ์โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกสำหรับกรณีที่ 1	97
ภาพ 44 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง กรณีที่ 1	99
ภาพ 45 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณในการขนส่ง กรณีที่ 1	99
ภาพ 46 แผนภาพผลลัพธ์โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกสำหรับกรณีที่ 2	105
ภาพ 47 วิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณในการขนส่ง กรณีที่ 2..	107
ภาพ 48 แผนภาพผลลัพธ์โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกสำหรับกรณีที่ 3	113
ภาพ 49 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง กรณีที่ 3	116
ภาพ 50 สัดส่วนของต้นทุนที่เกิดขึ้น.....	117
ภาพ 51 เปรียบเทียบต้นทุนโดยรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในแต่ละรูปแบบ .	117

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

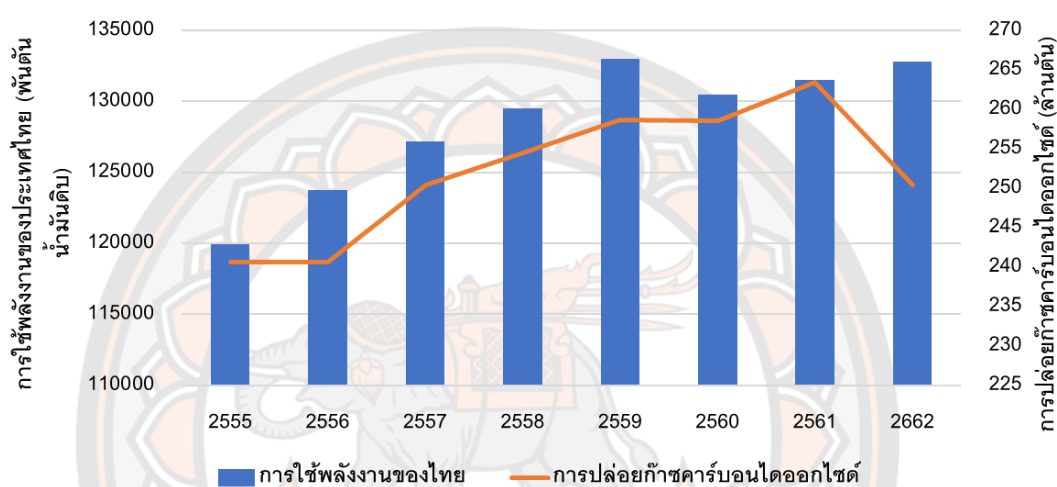
จากรายงาน “การสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศไทย ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2559 (Thailand’s Second Assessment Report on Climate 2016: TARC)” ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการรวบรวมความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยในปัจจุบัน พบว่า ประเทศไทยมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น 0.96 0.92 และ 1.04 องศาเซลเซียสตามลำดับ สาเหตุสำหรับการเพิ่มขึ้นอุณหภูมิที่กล่าวมาข้างต้น มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ซึ่งชนิดของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 69 โดยภาพรวมของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้พลังงานของประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังแสดงในภาพ 1 จนกระทั่งเมื่อปี พ.ศ. 2562 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดจ็ร้อยละ 4.9 อันเนื่องมาจากทุกภาคส่วนหันมาให้ความสำคัญต่อการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามนโยบายของรัฐบาล



ภาพ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้พลังงานของประเทศไทย

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562

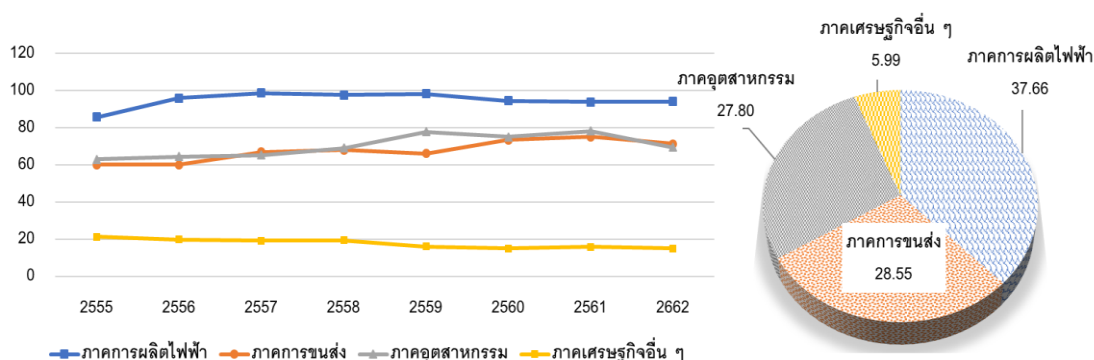
เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของประเทศระหว่างปี พ.ศ. 2561 และปี พ.ศ. 2562 พบว่า การใช้พลังงานของประเทศเพิ่มขึ้นจาก 131,531 พันตันน้ำมันดิบ (KTOE) ในปี พ.ศ. 2561 เป็น 132,801 KTOE ในปี พ.ศ. 2562 โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 1.0 อันเนื่องมาจากการขยายตัวต่อเนื่อง ในการลงทุนของภาคเอกชน ซึ่งปัจจัยนี้ส่งผลต่อการใช้พลังงานที่ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นหรือลดลง สำหรับภาพ 2 แสดงปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย



ภาพ 2 ปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในประเทศไทย

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562

จากภาพ 2 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของประเทศไทยมีปริมาณลดลงในปี พ.ศ. 2560 แต่ในปี พ.ศ. 2561 และ ปี พ.ศ. 2562 การใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น สำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงาน โดยแบ่งตามภาคเศรษฐกิจ พบว่า ปี พ.ศ. 2562 ที่ผ่านมามีแนวโน้มลดลงจากปีก่อน ๆ อาจเป็นเพราะนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนหันมาใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น หากแยกอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกตามภาคเศรษฐกิจต่าง ๆ จะพบว่า ในภาคการผลิตไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 37.66 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ส่วนภาคการขนส่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันดับที่สอง คิดเป็นร้อยละ 28.55 ซึ่งใกล้เคียงกับภาคอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 27.80 ดังแสดงในภาพ 3



ภาพ 3 แนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทยในแต่ละปี และสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบ่งตามภาคเศรษฐกิจ

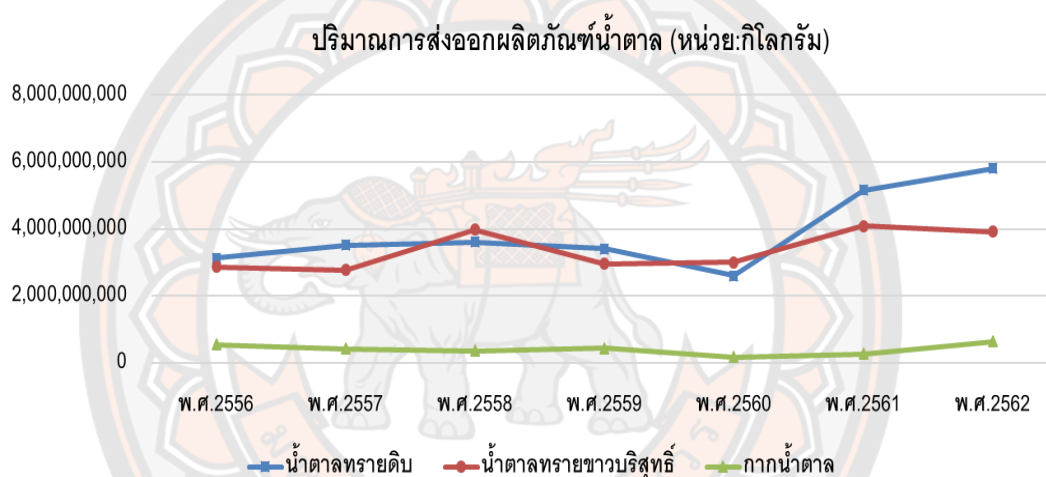
ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2562

จากภาพ 3 แสดงให้เห็นได้ว่าภาคการขนส่งยังมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างคงที่ ยังไม่มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยส่วนใหญ่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาจากการขนส่งทางบก เนื่องจากมีการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เป็นต้น ปัจจุบันภาครัฐและภาคเอกชนได้หันมาสนใจ และเล็งเห็นความสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอย่างมาก โดยมีการจัดทำแผนพัฒนาระบบขนส่งอย่างยั่งยืน (Sustainable Transport) เพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งในต่างประเทศมีมาตรการในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีมาตรการในการเก็บภาษีคาร์บอน ได้แก่ ประเทศฟินแลนด์ ประเทศเนเธอร์แลนด์ ประเทศเดนมาร์ก ประเทศสวีเดน สหราชอาณาจักร ประเทศอินเดีย เป็นต้น เพื่อจูงใจและรณรงค์ให้ประชาชนลดการใช้พลังงาน

ในปี ค.ศ. 2020 ประเทศสิงคโปร์จะเริ่มมาตรการการเก็บภาษีคาร์บอน โดยจะคิดเป็นจำนวนเงิน 5 ดอลลาร์สิงคโปร์ หรือประมาณ 120 บาทต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหนึ่งตัน โดยจะเรียกเก็บจากผู้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า 25,000 ตันต่อปีขึ้นไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อบริษัทหลายแห่ง สำหรับประเทศไทยนั้นยังไม่มีมาตรการในการเก็บภาษีคาร์บอน เนื่องจากรัฐบาลยังไม่ต้องการเพิ่มภาระให้กับประชาชน แต่ในอนาคต กรมสรรพสามิตและกระทรวงพลังงานอาจจะต้องพิจารณาเรื่องเก็บภาษีคาร์บอนอีกครั้ง อันเนื่องมาจากรัฐบาลไทยได้ทำข้อตกลงการเป็นภาคสมาชิกกับนานาชาติในการร่วมลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นผู้ประกอบการ หรือภาคเอกชนจึงควรเริ่มหันมาใส่ใจในเรื่องการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในองค์กรของตนเอง เพราะหากใน

อนาคตรัฐบาลอาจจะเริ่มมีมาตรการในการเรียกเก็บภาษีคาร์บอน จะทำให้องค์กรสามารถรับมือต่อมาตรการต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น เพื่อลดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม

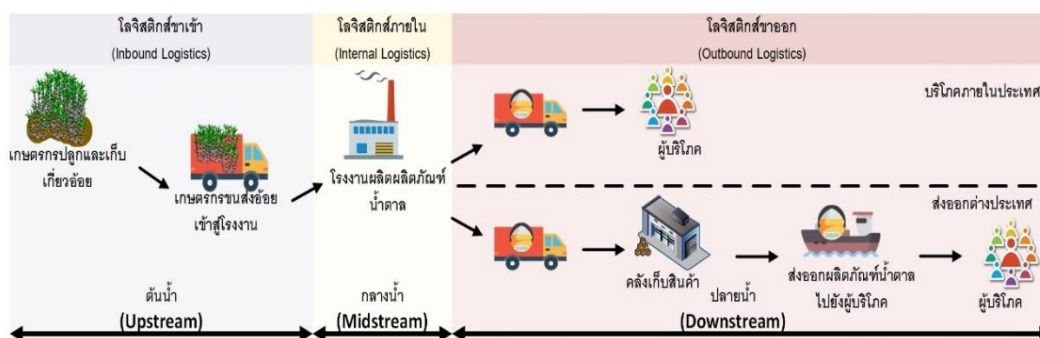
ในอุตสาหกรรมน้ำตาลของประเทศไทยเน้นการส่งออกในปริมาณร้อยละ 70 ถึง 75 ของปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลทั้งหมด โดยตลาดหลักสำหรับการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำตาลในภูมิภาคเอเชีย ได้แก่ อินโดนีเซีย เมียนมา จีน และญี่ปุ่น สำหรับส่วนที่เหลือจากการส่งออก จะเป็นการบริโภคภายในประเทศ แบ่งออกเป็น การบริโภคในครัวเรือนร้อยละ 55 ที่เหลือจากนั้นจะเป็นการนำผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น เครื่องดื่ม อาหาร และผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น โดยปริมาณการส่งออกของผลิตภัณฑ์น้ำตาลแสดงดังภาพ 4



ภาพ 4 ปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำตาล

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562

สำหรับกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมน้ำตาล จะเริ่มตั้งแต่เกษตรกรทำการปลูกอ้อย เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยว เกษตรกรจะนำอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยวไปขายให้กับโรงงานหลังจากโรงงานได้รับอ้อยแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล เมื่อได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลแล้ว โรงงานจึงนำผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปจัดเก็บที่คลังสินค้า หรือจุดกระจายสินค้า และหลังจากนั้นจึงทำการขนส่งไปยังลูกค้า โดยกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานน้ำตาล แสดงดังภาพ 5



ภาพ 5 กิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมน้ำตาล

สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังลูกค้า ถือเป็นกระบวนการที่โรงงานจะต้องให้ความสำคัญ ซึ่งการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลส่วนมากจะทำการขนส่งด้วยรถบรรทุกเป็นหลัก โดยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถบรรทุกมีอัตราที่ค่อนข้างสูง หากในอนาคตรัฐบาลมีการรณรงค์การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการนำมาตรการในการเก็บภาษีคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ อาจส่งผลกระทบต่อโรงงานน้ำตาลเป็นอย่างมาก ดังนั้นโรงงานน้ำตาลจึงควรตระหนักและหันมาใส่ใจการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น และเนื่องจากโรงงานน้ำตาลยังไม่มี การนำระบบราง ซึ่งมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าการขนส่งด้วยรถบรรทุก เข้ามาใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อช่วยในการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังลูกค้าปลายทาง

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) เป็นเครื่องมือในการหารูปแบบและเส้นทางการขนส่งและเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลส่งออกต่างประเทศโดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) ในการหารูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล โดยพิจารณาที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด
2. ภาพโครงข่ายโลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics Network) ของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ต่ำที่สุดในแต่ละรูปแบบของการขนส่ง

ขอบเขตของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากโครงการ “การพัฒนารูปแบบการขนส่งที่เพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขัน สำหรับผลิตภัณฑ์น้ำตาล” ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และคณะ (2561)
2. งานวิจัยนี้ศึกษาการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเท่านั้น
3. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาเท่านั้น
4. การพิจารณาการจัดเส้นทางยานพาหนะในงานวิจัยนี้ พิจารณาเฉพาะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานกรณีศึกษา จนกระทั่งถึงท่าเรือเท่านั้น

ข้อตกลงเบื้องต้น

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่จัดทำขึ้น เพื่อหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออกเท่านั้น โดยพิจารณารูปแบบการขนส่งทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการขนส่งทางถนน รูปแบบการขนส่งทางน้ำ และรูปแบบการขนส่งทางราง

สมมติฐานของการวิจัย

การใช้รูปแบบการขนส่งแบบต่อเนื่องหลายรูปเข้ามาช่วย ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออกจะส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่า การขนส่งที่ใช้รูปแบบทางถนนเพียงอย่างเดียว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รูปแบบและเส้นทางของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด
2. ได้แนวทางในการพิจารณาในการนำระบบรางเข้ามาใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

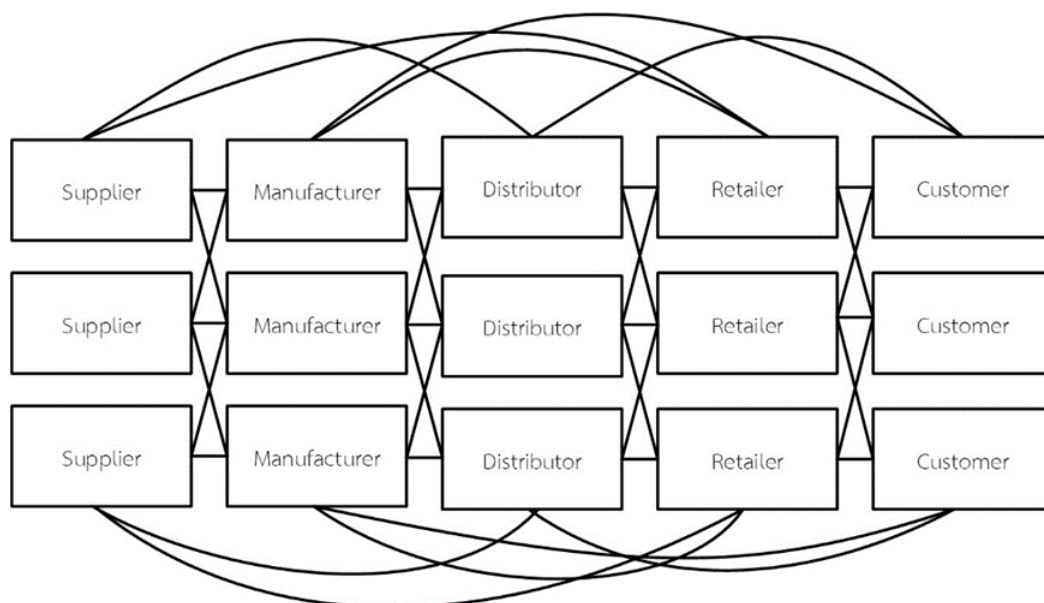
ในบทนี้จะกล่าวถึง การจัดการห่วงโซ่อุปทาน การจัดการโลจิสติกส์ ประเภทของโลจิสติกส์ ห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ประเภทและรูปแบบการขนส่ง การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่ง ปัญหาการออกแบบเส้นทางยานพาหนะ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management)

ห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ประกอบไปด้วยทุก ๆ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรง และทางอ้อมในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ไม่เพียงแต่ขั้นตอนการผลิต หรือขั้นตอนการจัดส่งวัตถุดิบเท่านั้น แต่ห่วงโซ่อุปทานยังรวมถึง ผู้ขนส่ง คลังสินค้า ผู้ค้าปลีก และลูกค้า (Chopra, & Meindl, 2016)

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) คือ กลุ่มของวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการรวมผู้จัดสรรสินค้า (Supplier) โรงงานผลิต คลังสินค้า และร้านค้าให้ดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สินค้าที่ถูกผลิตขึ้นมีปริมาณที่เหมาะสมที่สุด กระจายไปยังจุดกระจายสินค้าได้อย่างถูกต้อง และตรงเวลา เพื่อลดต้นทุนของระบบหรือองค์กร ตลอดจนตอบสนองต่อความพึงพอใจในระดับบริการ (Simchi-Levi et al., 2003)

ห่วงโซ่อุปทานมีลักษณะแบบพลวัต เกี่ยวข้องกับการไหลของข้อมูล ผลิตภัณฑ์ และเงินลงทุน ในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกัน โดยกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานจะเริ่มต้นเมื่อเกิดคำสั่งซื้อของลูกค้า และจะสิ้นสุดลงเมื่อลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ และจ่ายเงินในการซื้อผลิตภัณฑ์เหล่านั้น เมื่อกล่าวถึงห่วงโซ่อุปทาน จะเกิดภาพของผลิตภัณฑ์ไหลจากผู้จัดส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิตเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิต และได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะไหลจากผู้ผลิตไปยังผู้ค้าปลีก และลูกค้า ซึ่งเห็นได้ว่าแต่ละขั้นตอนในห่วงโซ่อุปทาน จะมีผู้ที่เกี่ยวข้องกันเพียงรายเดียว แต่ในความเป็นจริงนั้น โดยทั่วไปผู้ผลิตและสั่งวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบหลายราย และจะส่งผลิตภัณฑ์ไปยังตัวแทนจำหน่าย หรือผู้ค้าปลีกหลาย ๆ แห่งด้วย ดังนั้นห่วงโซ่อุปทานส่วนใหญ่ จึงมีลักษณะเป็นเครือข่าย ห่วงโซ่อุปทานโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ โดยแสดงดังภาพ 6



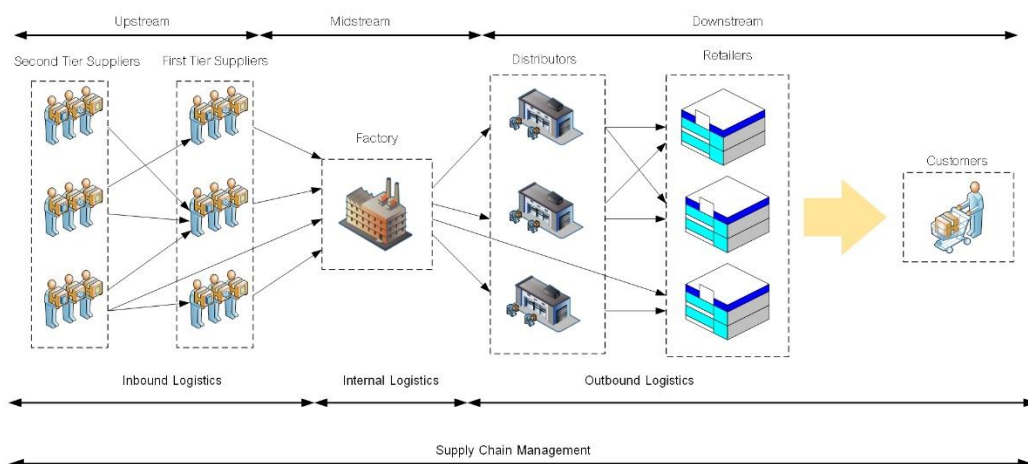
ภาพ 6 ขั้นตอนต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน

ที่มา: Chopra, & Meindl 2016

โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของห่วงโซ่อุปทาน คือ การเพิ่มคุณค่าโดยรวมให้มากที่สุด ซึ่งคุณค่าที่กล่าวมาก็คือ ความแตกต่างระหว่างคุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่ส่งไปให้ลูกค้า กับต้นทุนที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของห่วงโซ่อุปทานที่ใช้ในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า สำหรับห่วงโซ่อุปทานเชิงธุรกิจคุณค่าจะสัมพันธ์กับความสามารถในการเพิ่มผลกำไรของห่วงโซ่อุปทาน โดยความสามารถในการเพิ่มผลกำไรของห่วงโซ่อุปทาน จะเป็นผลประโยชน์โดยรวมที่จะถูกแบ่งให้กับทุก ๆ ขั้นตอนในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งค่าความสามารถในการเพิ่มผลกำไร จะแสดงถึงความสำเร็จของห่วงโซ่อุปทานนั้นด้วย สิ่งสำคัญที่จะทำให้ห่วงโซ่อุปทานเกิดความสำเร็จ คือ การจัดการที่เหมาะสมที่สุดต่อการไหลของข้อมูล ผลิตภัณฑ์ และเงินลงทุน ดังนั้นการจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) คือ การจัดการการไหลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในห่วงโซ่อุปทาน ไม่ว่าจะเป็น ข้อมูล ผลิตภัณฑ์ และเงินลงทุน เพื่อให้เกิดความสามารถในการเพิ่มผลกำไรของห่วงโซ่อุปทานให้มากที่สุด

Christopher (2013) กล่าวว่า โลจิสติกส์เป็นหลักการวางแผนและกรอบการทำงานที่มุ่งวางแผนสำหรับการไหลของผลิตภัณฑ์และข้อมูลผ่านทางธุรกิจ โดยการจัดการห่วงโซ่อุปทานเกิดขึ้นจากกรอบงานนี้ โดยการจัดการห่วงโซ่อุปทานเป็นการพยายามที่จะทำให้การเชื่อมโยงและการประสานงานระหว่างกระบวนการอื่น ๆ ในห่วงโซ่อุปทานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นผู้

จัดสรรสินค้า ลูกค้า หรือฝ่ายต่าง ๆ ในองค์กร โดยภาพ 7 ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นภายในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน



ภาพ 7 ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นภายในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน

ที่มา: ปรับปรุงจาก Chopra, & Meindl, 2016; Serdaris et al., 2014

การจัดการโลจิสติกส์ (Logistics Management)

การจัดการโลจิสติกส์เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการห่วงโซ่อุปทาน ที่มีการวางแผน การดำเนินการ และการควบคุมการไหลของสินค้า หรือบริการ การจัดเก็บสินค้า รวมไปถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดบริโภคเพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า Taylor (2008)

ขอบเขตและความสัมพันธ์ของการจัดการโลจิสติกส์

สำหรับการจัดการโลจิสติกส์โดยทั่วไปจะรวมถึงการจัดการในการขนส่งสินค้าทั้งขาเข้าและขาออก การจัดการยานพาหนะ คลังสินค้า การจัดการวัสดุ การเติมเต็มคำสั่ง การออกแบบโครงข่ายโลจิสติกส์ การจัดการสินค้าคลังคลัง การวางแผนอุปสงค์และอุปทาน และการบริหารจัดการบุคคลที่สามที่เป็นผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ ในระดับที่แตกต่างกัน การจัดการโลจิสติกส์ยังรวมถึงการจัดซื้อและจัดหา การวางแผนการผลิตและการจัดตาราง การออกแบบบรรจุภัณฑ์ การประกอบ และการให้บริการแก่ลูกค้า ซึ่งมีความสัมพันธ์ในทุกะดับของการวางแผนและปฏิบัติ ยุทธศาสตร์การดำเนินงานและยุทธวิธี

การจัดการโลจิสติกส์เป็นการบูรณาการ ที่มีการประสานงาน และการเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมโลจิสติกส์ โดยรวมไปถึงการบูรณาการกิจกรรมโลจิสติกส์เข้ากับฟังก์ชันอื่น ๆ เช่น การตลาด การขาย การผลิต การเงิน และเทคโนโลยีสารสนเทศ Council of Supply Chain Management Professionals (2010)

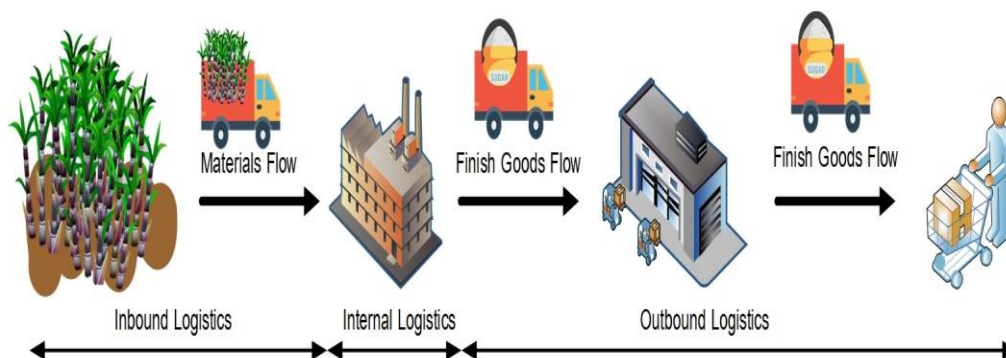
โลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก (Inbound Internal and Outbound Logistics)

โลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistics) คือการไหลเข้าของวัตถุดิบและชิ้นส่วนจากผู้จัดหา ไปจนถึงโรงงานผลิต ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการจัดการและการจัดซื้อวัตถุดิบ โดยโลจิสติกส์ขาเข้าจะมุ่งเน้นไปที่การใช้ทรัพยากรและวัตถุดิบภายในโรงงานผลิต โดยมีการติดต่อระหว่างผู้จัดหาและโรงงานผลิต ส่วนโลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics) คือ การไหลออกของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจากโรงงานผลิตไปยังผู้ใช้ปลายทาง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการบริการลูกค้าและช่องทางการจัดจำหน่าย โลจิสติกส์ขาออกจะมุ่งเน้นไปที่การขนส่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจากโรงงานผลิตไปยังผู้ใช้ปลายทาง โดยมีการติดต่อระหว่างโรงงานผลิตและลูกค้า (Surbhi S, 2017)

นอกจากนี้ยังมีโลจิสติกส์ภายใน (Internal Logistics) คือ การไหลของวัตถุดิบภายในโรงงาน มุ่งเน้นไปที่การจัดการภายในของโรงงาน โดยจะมีการติดต่อกันระหว่างแต่ละแผนกภายในโรงงานผลิต สำหรับโลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก ของอุตสาหกรรมน้ำตาล จะแสดงดัง ภาพ 8 และในตาราง 1 แสดงความแตกต่างระหว่างโลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก โดยเปรียบเทียบตามเกณฑ์ต่าง ๆ

ตาราง 1 แสดงความแตกต่างระหว่างโลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก

เกณฑ์การเปรียบเทียบ	โลจิสติกส์ขาเข้า	โลจิสติกส์ภายใน	โลจิสติกส์ขาออก
ความหมาย	การไหลของวัตถุดิบจากผู้จัดสรรของสินค้าไปยังผู้ผลิต	การไหลของวัตถุดิบภายในกระบวนการผลิต เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป	การไหลของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากผู้ผลิตไปยังจุดกระจายสินค้า
เกี่ยวข้องกับ	การจัดการวัตถุดิบ การจัดซื้อจัดจ้าง	กระบวนการผลิต	การกระจายสินค้า และการบริการลูกค้า
มุ่งเน้นกับ	การบริหารจัดการวัตถุดิบ	การไหลของวัตถุดิบในกระบวนการผลิต	การกระจายผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปไปยังลูกค้า
มีปฏิสัมพันธ์	ระหว่างผู้จัดสรรของสินค้าและผู้ผลิต	ภายในองค์กรของผู้ผลิต	ผู้ผลิตและลูกค้า



ภาพ 8 โลจิสติกส์ขาเข้า โลจิสติกส์ภายใน และโลจิสติกส์ขาออก ของอุตสาหกรรมน้ำตาล

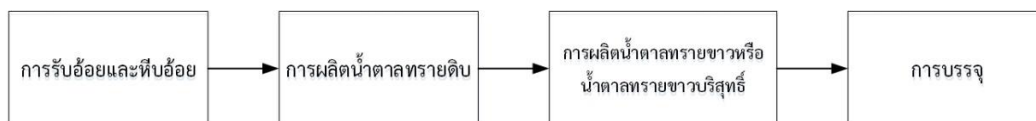
ห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล (Supply Chain in Cane and Sugar Industry)

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ถือเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่สำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล สามารถสร้างรายได้จากการจำหน่ายน้ำตาลให้แก่ประเทศปีละประมาณ 80,000 ล้านบาท โดยมีสัดส่วนการส่งออกเป็น 2 ใน 3 ของผลผลิตน้ำตาล และอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลยังช่วยให้เกิดงาน และสร้างรายได้ต่อเกษตรกรชาวไร่อ้อยอีกด้วย (วาริรัตน์ เพชรสีช่วง, 2559)

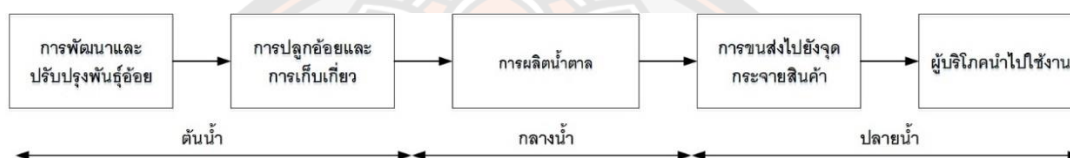
สำหรับห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ตั้งแต่ต้นน้ำไปจนถึงปลายน้ำ จะเริ่มจากการปรับปรุงพันธุ์อ้อย โดยศูนย์ส่งเสริมพันธุ์อ้อย จากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ซึ่งเกิดจากความร่วมมือของทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน การปลูกอ้อยและการเก็บเกี่ยว จะมีผู้เกี่ยวข้องหลัก คือ เกษตรกรชาวไร่อ้อย ซึ่งเมื่อทำการปลูกอ้อย และเก็บเกี่ยวแล้ว เกษตรกรชาวไร่อ้อย จะนำอ้อยที่ได้มาขายให้กับโรงงานน้ำตาล เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งโดยส่วนมากแล้วการขนส่งอ้อยมายังโรงงานน้ำตาลจะใช้รถบรรทุกหลายประเภทในการขนส่ง เมื่อได้รับวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาลแล้วทางโรงงานจึงเริ่มกระบวนการผลิต

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตน้ำตาลจะแบ่งออกเป็นทั้งหมด 4 กระบวนการ ดังนี้ 1) การรับอ้อยและหีบอ้อย 2) การผลิตน้ำตาลทรายดิบ 3) การผลิตน้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 4) การบรรจุ โดยกระบวนการผลิตน้ำตาลจะแสดงดังภาพ 9 เมื่อโรงงานผลิตน้ำตาลได้แล้วจึงทำการขนส่งน้ำตาลที่ได้ไปยังลูกค้าของโรงงาน ส่วนมากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลจะมีลูกค้าอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ 1) กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้น้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะมีการทำสัญญาซื้อขาย และชำระเงินไว้ล่วงหน้าอยู่แล้ว โดยน้ำตาลที่ขายให้ลูกค้ากลุ่มนี้จะเป็นน้ำตาลโควต ก. 2) กลุ่มพ่อค้าคนกลาง คือ กลุ่มลูกค้าที่มารับซื้อเพื่อนำไปขายต่อให้แก่ลูกค้าของตัวเองจะมี

ปริมาณไม่มากนัก และ 3) กลุ่มตัวแทนจำหน่าย คือ บริษัทที่ทำสัญญาการเป็นตัวแทนจำหน่ายให้แก่โรงงาน จะมีหน้าที่ติดต่อกับลูกค้า ทั้งในและต่างประเทศ สำหรับห่วงโซ่อุปทานของอ้อยและน้ำตาล จะแสดงดังภาพ 10



ภาพ 9 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาล



ภาพ 10 ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล

ที่มา: สำนักนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, ม.ป.ป.

ในอดีตการจำหน่ายน้ำตาลทรายขาวภายในประเทศสามารถทำได้อย่างเสรี รัฐบาลจะทำหน้าที่ในการกำหนดปริมาณน้ำตาลทรายขาวไว้ให้โรงงานทำการผลิตเพื่อการบริโภคอย่างเพียงพอเท่านั้น ด้านราคารัฐบาลก็ได้กำหนดเพียงราคาขั้นสูง เพื่อคุ้มครองผู้บริโภคโดยอาศัยพระราชบัญญัติป้องกันการค้ากำไรเกินควร พ.ศ.2509 และแก้ไขเพิ่มเติม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2517) ส่วนราคาที่เกิดขึ้นจริง และปริมาณในการจำหน่ายจะเป็นไปตามกลไกของตลาด โดยในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 รัฐบาลได้ผลักดันร่างพระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาลฉบับใหม่ ซึ่งสาระสำคัญของร่างพระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาล ฉบับล่าสุด เป็นไปดังนี้

1. มีการแก้ไขคำนิยามของคำว่า “น้ำตาลทราย” โดยจะครอบคลุมไปถึง “น้ำอ้อย” ไม่ว่าจะถูกนำไปผลิตเป็นน้ำตาลทรายหรือไม่ เพื่อเปิดทางให้แก่โรงงานน้ำตาลนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ มีการเพิ่มเติมคำนิยามของคำว่า “ผลพลอยได้” โดยกำหนดให้ กากอ้อย กับกากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้ จากเดิมที่กำหนดกากน้ำตาลอย่างเดียว

2. มีการเพิ่มบทนิยามของคำว่า “สมาคมโรงงาน” โดยมีความหมายว่า สมาคมโรงงานน้ำตาลทรายที่ได้รับการจดทะเบียนเป็นนิติบุคคล และได้จดทะเบียนไว้ตามระเบียบที่คณะกรรมการ

น้ำตาลทรายกำหนดเพื่อรองรับการมีอยู่จริงของสมาคมโรงงานน้ำตาลในปัจจุบัน และมีการกำหนดให้ชาวไร่อ้อยสังกัดสถาบันชาวไร่อ้อยได้เพียงแห่งเดียว

3. มีการเพิ่มอำนาจของรัฐมนตรีรักษาการตาม พระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาล ให้มีอำนาจในการกำหนดระเบียบ กฎ และประกาศ จากเดิมที่มีอำนาจเพียงแค่การกำหนดระเบียบเท่านั้น

4. มีการแก้ไขวัตถุประสงค์ของ พระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาลทราย โดยให้ครอบคลุมต่อการบริหารจัดการ การพัฒนาและส่งเสริมการผลิตและจำหน่ายอ้อยและน้ำตาลทราย

5. อำนาจและหน้าที่ของคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย จะเปลี่ยนไปเป็นทำหน้าที่ในการเสนอยุทธศาสตร์ นโยบาย และแผนแม่บท สำหรับบริหารจัดการระบบอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย เสนอแนวทางสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้ปฏิบัติตามยุทธศาสตร์ที่ถูกกำหนดไว้ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้ดุลยภาพด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

6. มีการแก้ไของค์ประกอบและจำนวนของกรรมการใน คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย

7. มีการถ่ายโอนอำนาจเดิมของคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ไปสู่คณะกรรมการบริหาร เช่น การตรวจสอบคุณภาพอ้อย กำหนดประสิทธิภาพในการผลิตของโรงงาน วันเริ่มต้นและวันปิดหีบอ้อย เงื่อนไขของการนำเข้าและการส่งออกน้ำตาลทราย

8. มีการตัดเรื่องการรักษาเสถียรภาพของราคาน้ำตาลทรายที่ใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศ และยกเลิกเงินอุดหนุนของรัฐบาล

9. กำหนดให้ราคาอ้อยขั้นต่ำและผลตอบแทนการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายขั้นต่ำต้อง “ไม่น้อย” กว่าร้อยละ 80 และไม่เกินร้อยละ 95 ของประมาณการรายได้ที่คำนวณได้ โดยจะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตอ้อยและน้ำตาลทราย

10. ในกรณีที่ราคาอ้อยขั้นสุดท้ายและผลตอบแทนการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายขั้นสุดท้าย “สูงกว่า” ราคาอ้อยและผลการการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายขั้นต่ำ ให้โรงงานชำระค่าอ้อยที่เพิ่มให้แก่ชาวไร่อ้อยจนครบ

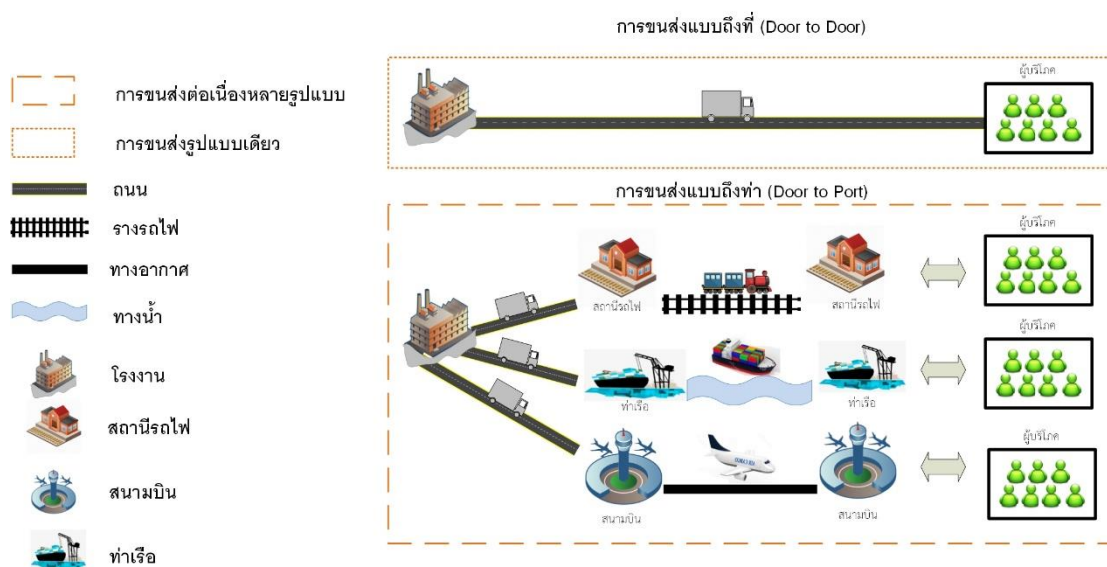
11. การปรับปรุงบทกำหนดโทษใหม่ด้วยการแยกอัตราโทษของชาวไร่อ้อย และหัวหน้ากลุ่มชาวไร่อ้อยออกจากกัน โดยเพิ่มโทษปรับจากเดิมอีก 4 เท่า

12. มีการยกเลิกระบบการจัดสรรน้ำตาล โควตา ก. สำหรับบริโภคภายในประเทศ น้ำตาล โควตา ข คือ น้ำตาลทรายดิบที่ส่งมอบให้แก่บริษัทอ้อยและน้ำตาลไทย จำกัด (อนท.) และน้ำตาล โควตา ค. คือ น้ำตาลที่โรงงานส่งออก

รูปแบบการขนส่ง (Mode of Transportation)

สำหรับรูปแบบของการขนส่ง Díaz-Parra et al. (2014) ได้แบ่งรูปแบบของการขนส่งออกเป็นทั้งหมด 7 รูปแบบดังนี้

1. การขนส่งทางทะเล/น้ำ โดยส่วนใหญ่จะใช้ในการขนส่งสินค้าที่มีระยะทางที่ไกล โดยจะใช้มหาสมุทร ทะเล ทะเลสาบ แม่น้ำ เป็นเส้นทางที่ใช้ในการเดินเรือเพื่อขนส่งสินค้าไปยังผู้รับ ซึ่งต้นทุนการขนส่งทางทะเล/น้ำอยู่ที่ 0.65 บาท/ตัน-กิโลเมตร
 2. การขนส่งทางอากาศ จะใช้ในการขนส่งสินค้าที่มีระยะสั้น ปานกลาง และยาว โดยใช้เครื่องบิน ซึ่งการขนส่งประเภทนี้ค่อนข้างจะมีต้นทุนสูงโดยการขนส่งทางอากาศมีต้นทุนอยู่ที่ 10 บาท/ตัน-กิโลเมตร
 3. การขนส่งทางบก จะใช้ในการขนส่งสินค้าที่มีระยะสั้น ปานกลาง และยาว โดยจะใช้เส้นทางทางถนน ขนสินค้าด้วยรถยนต์ โดยในประเทศไทยการขนส่งทางบกจะได้รับความนิยมมากที่สุด ซึ่งต้นทุนการขนส่งทางบกอยู่ที่ 2.12 บาท/ตัน-กิโลเมตร
 4. การขนส่งทางราง เป็นการขนส่งสินค้าที่มีระยะสั้น ปานกลาง และยาวโดยใช้ยานพาหนะที่มีล้อวิ่งอยู่บนราง (รถไฟ) ซึ่งต้นทุนการขนส่งทางรางอยู่ที่ 0.95 บาท/ตัน-กิโลเมตร
 5. การขนส่งทางอวกาศ เป็นการขนส่งสินค้าไปยังชั้นบรรยากาศโดยใช้อากาศ
 6. การขนส่งทางท่อและทางสายเคเบิล เป็นการขนส่งสินค้าโดยใช้ท่อและสายเคเบิล โดยส่วนใหญ่จะใช้ขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติ
 7. การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ เป็นการขนส่งสินค้าจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งโดยใช้ รูปแบบการขนส่งที่กล่าวมาข้างต้น ตั้งแต่ 2 รูปแบบขึ้นไป
- รูปแบบการขนส่งจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบหลัก ๆ ได้แก่ การขนส่งแบบถึงที่ (Door to Door) และการขนส่งแบบถึงท่า (Door to Port) ซึ่งการขนส่งสินค้าแบบถึงที่ จะหมายถึง การขนส่งสินค้าจากผู้ขายสินค้า ไปจนถึงมือผู้รับโดยส่วนมากจะใช้บริการขนส่งทางบกเป็นหลัก เช่น การส่งไปรษณีย์ การส่งหนังสือพิมพ์ และการขนส่งแบบถึงท่าจะหมายถึง การขนส่งที่จำเป็นต้องอาศัยท่าเทียบในการขนถ่ายสินค้าระหว่างพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้บริการขนส่งทางราง ทางน้ำ และทางอากาศเป็นหลัก ภาพ 11 จะแสดงรูปแบบการขนส่งทั้ง 2 รูปแบบที่กล่าวมาข้างต้น



ภาพ 11 รูปแบบการขนส่งแบบถึงที่ (Door to Door) และรูปแบบการขนส่งแบบถึงท่า (Door to Port)

จากภาพ 11 แสดงรูปแบบการขนส่งแบบถึงที่ และรูปแบบการขนส่งแบบถึงท่า จะเห็นได้ว่ารูปแบบการขนส่งแบบถึงที่จะเป็นการขนส่งที่ใช้รูปแบบการขนส่งเดียว (Single Mode) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ทางถนนเป็นหลัก และการขนส่งแบบถึงท่าจะเป็นการขนส่งที่ใช้รูปแบบการขนส่งตั้งแต่ 2 รูปแบบขึ้นไป (Multimodal Transport)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission)

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับความร้อน หรือรังสีอินฟราเรด ก๊าซเรือนกระจกนี้เป็นส่วนสำคัญในการรักษาอุณหภูมิของโลกให้คงที่ หากในชั้นบรรยากาศโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกแล้ว จะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันร้อนจัด และในตอนกลางคืนอากาศจะหนาวจัด อันเนื่องมาจากก๊าซเรือนกระจกจะดูดคลื่นรังสีไว้ในเวลากลางวัน แล้วจึงค่อยๆ แผ่รังสีออกมาในตอนกลางคืน เป็นสาเหตุที่อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศของโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2557)

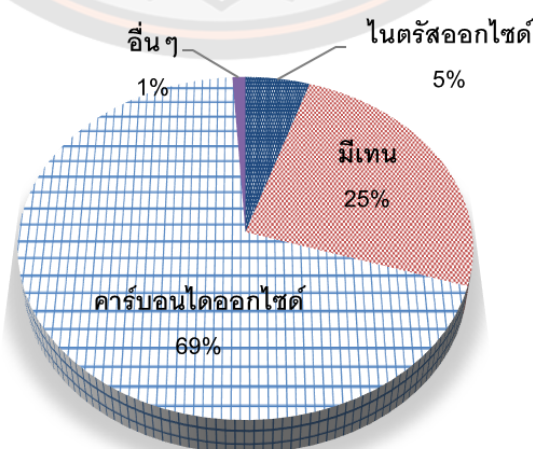
สาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เกิดขึ้นจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์ ซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่ที่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรม โดยมนุษย์มีการใช้พลังงานจากฟอสซิลเป็นอย่างมากในทุกกิจกรรม นักวิทยาศาสตร์พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นถึง 100 PPM (Part Per Million) จากก่อนหน้าที่จะมีการปฏิวัติอุตสาหกรรม (สิรินทรเทพ เต้าประยูร และคณะ, 2554)

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก (Types of Greenhouse Gas)

มีก๊าซจำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน และถูกจัดอยู่ในกลุ่มก๊าซเรือนกระจก โดยมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเอง และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 7 ชนิด ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Greenhouse Gas Emission) เท่านั้น ได้แก่

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)
2. ก๊าซมีเทน (CH₄)
3. ก๊าซไนตรัสออกไซด์ N₂O
4. ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC)
5. ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆)
6. ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC)
7. ก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃)

ชนิดของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยมากที่สุด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 69 ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่มาจาก 3 ภาคหลัก คือ ภาคพลังงาน ภาคกระบวนการอุตสาหกรรม และภาคการเปลี่ยนแปลงพื้นที่และป่าไม้ รองลงมาคือก๊าซมีเทนมีส่วนในการปล่อยร้อยละ 25 ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด โดยก๊าซมีเทนจะถูกปล่อยจากภาคการเกษตรเป็นหลักประมาณร้อยละ 70 ในส่วนของก๊าซไนตรัสออกไซด์มีส่วนปริมาณการปล่อยร้อยละ 5 โดยสาขาที่มีการปล่อยไนตรัสออกไซด์มากที่สุด คือ สาขาดินที่ใช้สำหรับการเกษตร ส่วนก๊าซอื่น ๆ มีสัดส่วนที่น้อยมาก โดยภาพ 12 จะแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ



ภาพ 12 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ

แนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการขนส่ง (Guidelines For Reducing Greenhouse Gas in Transport Sector)

ภาคการขนส่งเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับที่ 2 รองจากภาคพลังงาน โดยส่วนใหญ่เป็นการปล่อยก๊าซที่มาจากภาคการขนส่งทางบก สำหรับกิจกรรมที่ส่งผลต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจก คือ การเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศมากที่สุด

สำหรับแนวทางในการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในองค์กร (Carbon Footprint for Organization) ซึ่งเป็นวิธีการในการแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานขององค์กร เพื่อสามารถกำหนดแนวทางในการบริหารจัดการ เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับสมการในการหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) จะแสดงดัง สมการ (ก) (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2557)

$$\text{GHG Emission} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (\text{ก})$$

จากสมการที่ 1 สามารถอธิบายสัญลักษณ์ และความหมายได้ดังนี้

GHG Emission หมายถึง ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity Data หมายถึง ข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง

Emission Factor หมายถึง ค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยนข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ยกตัวอย่างการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการขนส่งขย่น้ำหนัก 10 ตัน ในระยะทางไป - กลับเฉลี่ย 100 กิโลเมตร จะมีค่าเท่ากับ 494 kgCO₂e แสดงดังต่อไปนี้

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \underbrace{100 \text{ (ton)}}_{\text{Activity Data}} \times \underbrace{100 \text{ km}}_{\text{Emission Factor}} \times 0.0494 \text{ kgCO}_2\text{e/ton-km}$$

โดยค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยนข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับยานพาหนะประเภทต่าง ๆ จะแสดงดัง ตาราง 4

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ถูกพัฒนาจากปัญหา “The Truck Dispatching Problem” โดย Dantzig and Ramser (1959) ได้นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการขนส่งน้ำมันจากคลังเก็บน้ำมัน ไปยังสถานีที่ให้บริการน้ำมันหลายแห่งที่กระจายอยู่รอบ ๆ คลังเก็บน้ำมัน โดยมีจุดประสงค์ คือ การหาต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำที่สุด ผ่านการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการขนส่งน้ำมัน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบดั้งเดิม (Classical Vehicle Routing Problem) โดยทั่วไปมักมีเป้าประสงค์ในการวางแผนเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด สำหรับยานพาหนะที่มีลักษณะเดียวกัน ความจุเท่ากัน หรือเรียกอีกชื่อว่า ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านความจุ (Capacitate Vehicle Routing Problem) สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านความจุ ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lin et al. (2009) ตามสมการดังต่อไปนี้

ดัชนี (Indices)

i, j ลูกค้า i^{th} โดยที่ $(i, j = 0, 1, 2, \dots, N)$

k ยานพาหนะ k^{th} โดยที่ $(k = 1, 2, \dots, K)$

ตัวแปรทราบค่า (Parameters)

C_{ij} ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า i ถึงลูกค้า j

Q_k ความจุของยานพาหนะ

D_i ความต้องการของลูกค้า i

T^k ระยะทางการขนส่งที่มากที่สุดของยานพาหนะ k

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

X_{ijk} มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อยานพาหนะ k ขนส่งสินค้าจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min}Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ijk} \quad (1)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N X_{ijk} D_i \leq Q_k \quad , 1 \leq k \leq K \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ijk} = \sum_{j=1}^N X_{jik} \leq 1 \quad , \text{for } i=0 \text{ and } k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N X_{ijk} = 1 \quad , \text{for } j=1, \dots, N, i \neq j \quad (4)$$

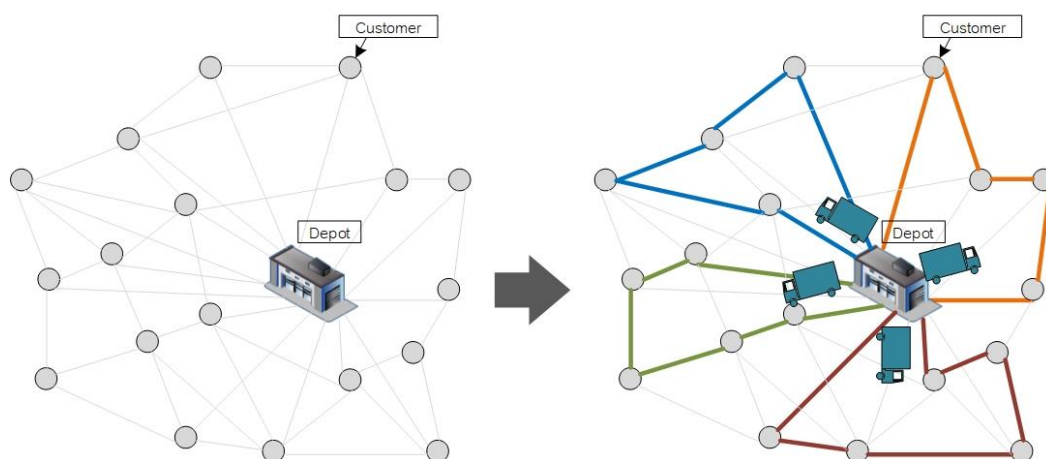
$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^N X_{ijk} = 1 \quad , \text{for } i=1, \dots, N, i \neq j \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^N X_{ijk} \leq K \quad , \text{for } i=0 \quad (6)$$

$$X_{ijk} \in [0, 1] \quad , i \neq j \text{ and } i, j \in \{0, 1, \dots, N\} \quad (7)$$

สำหรับสมการที่ (1) เป็นวัตถุประสงค์ โดยมีจุดประสงค์ในการหาเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด สำหรับสมการที่ (2) เป็นข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับความจุของยานพาหนะ โดยที่ความต้องการของลูกค้าต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ สมการที่ (3) เป็นเงื่อนไขบังคับสำหรับจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของยานพาหนะ โดยยานพาหนะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้า สมการที่ (4) และ (5) เป็นเงื่อนไขบังคับของการรับบริการของลูกค้า โดยลูกค้าสามารถรับบริการได้จากยานพาหนะเพียงคันเดียวเท่านั้น สมการที่ (6) เงื่อนไขบังคับของจำนวนเส้นทางที่สูงสุดที่ออกจากคลังสินค้า และสมการที่ (7) เป็นเงื่อนไขของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบดั้งเดิม เป็นการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งมอบสินค้า โดยมีเงื่อนไขว่าแต่ละยานพาหนะสามารถเดินทางได้เพียงเส้นทางเดียว ลักษณะของยานพาหนะจะต้องเหมือนกัน มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียวเท่านั้น ยานพาหนะแต่ละคันจะเริ่มต้นและสิ้นสุดเส้นทางที่คลังสินค้า เป้าหมายของปัญหาการออกแบบเส้นทางยานพาหนะ คือ การหาเส้นทางสำหรับส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าที่มีต้นทุนต่ำที่สุด (Xiao et al., 2012) ภาพ 13 แสดงตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ



ภาพ 13 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

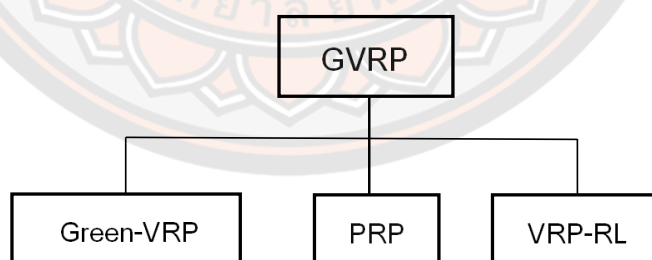
ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะได้ถูกนำไปพัฒนาต่อยอดให้แตกต่างออกไปจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาช่วงเวลาในการเดินทาง (Time-Dependent Vehicle Routing Problem) คือ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีเงื่อนไขในการพิจารณาถึงเวลาในการเดินทาง โดยทั่วไปมักคำนึงถึงระยะห่างระหว่างตำแหน่งของลูกค้า และ ตำแหน่งของคลังสินค้า ชั่วโมงเร่งด่วน และสภาพอากาศ (Cooke and Halsey, 1966; Lin et al., 2014a) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับคลังสินค้าที่มีมากกว่า 1 แห่ง (Multi Depot Vehicle Routing Problem) คือ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปสู่ลูกค้า โดยคลังสินค้ามีจำนวนมากกว่า 1 แห่ง ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่อยู่ภายใต้ความไม่แน่นอน (Stochastic Vehicle Routing Problem) สำหรับความไม่แน่นอนที่ถูกกล่าวถึงนี้ เกิดจากปริมาณความต้องการของลูกค้าที่ไม่คงที่ เวลาที่ใช้ในการเดินทางสำหรับการขนส่ง หรือแม้กระทั่งความไม่เท่ากันของจำนวนลูกค้าในแต่ละรอบของการขนส่ง Gendreau et al. (1996) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่ยานพาหนะไม่ต้องกลับไปยังคลังสินค้า (Open Vehicle Routing Problem: OVRP) คือ ปัญหาที่ยานพาหนะที่ต้องย้อนกลับไปทีคลังสินค้าหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนในกระบวนการขนส่งสินค้า

สำหรับปัญหาที่ถูกกล่าวมาข้างต้น เป้าประสงค์ของการวิจัยในหัวข้อปัญหาเหล่านี้มักคำนึงถึงผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจเป็นสำคัญ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2550 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเริ่มถูกนำมาบูรณาการร่วมกับประเด็นด้านโลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อม (Green Logistics) โดย Sbihi, & Eglese (2007) จึงก่อให้เกิดความสนใจต่อนักวิจัย และกลายเป็นประเด็นที่ได้รับความนิยมนับหลายปีที่ผ่านมา

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green Vehicle Routing Problem)

ในปี พ.ศ. 2550 งานวิจัยของ Sbihi and Eglese (2007) นำเสนอการบูรณาการประเด็นด้านโลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อมร่วมกับปัญหาอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น ปัญหาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (Reverse Logistics: RL) ปัญหาการจัดการของเสีย (Waste Management) และปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะและกำหนดเวลาของการขนส่ง (Vehicle Routing and Scheduling Problem) เพื่อสร้างเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimisation Problems)

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม เริ่มเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในปี พ.ศ. 2555 โดย Erdogan, & Miller-Hooks (2012) ที่พัฒนาเทคนิคในการแก้ปัญหาสำหรับองค์กรที่มีการใช้งานยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก (Alternative Fuel Vehicle: AFV) ซึ่งสำหรับยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกนี้ จะมีข้อจำกัดในด้านระยะทางการขับขี่และโครงสร้างพื้นฐานการเติมเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมนั้น มีจุดประสงค์เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งทางด้านเศรษฐกิจและทางด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเท่าเทียมกัน โดยผ่านการวางแผนเส้นทางที่มีประสิทธิภาพเพื่อตอบสนองต่อข้อกำหนดในด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐกิจ ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะถูกจำแนกโดย Lin et al. (2014a) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ดังภาพ 14 แสดงลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม



ภาพ 14 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

1. ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green-VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม คือ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับกลุ่มของยานพาหนะที่ให้บริการในการขนส่งสินค้าแก่ลูกค้า โดยมีการคำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกับต้นทุนทางด้านเศรษฐกิจร่วมกัน โดยผ่านการหา

เส้นทางที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับการใช้ในการขนส่งสินค้า เพื่อก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันยังมีต้นทุนทางด้านเศรษฐกิจที่สามารถยอมรับได้ (Affi et al., 2018)

2. ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้น (Pollution Routing Problem: PRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้นนี้ เป็นปัญหาที่ต่อยอดมาจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบดั้งเดิม ที่มีจุดประสงค์ที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ไม่เพียงแต่การหาระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุดเท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงานเชื้อเพลิง ระยะเวลาในการเดินทาง และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางอีกด้วย (Bektas and Laporte, 2011; Lin et al., 2014a)

3. ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (Vehicle Routing Problem in Reverse Logistics)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ มุ่งเน้นความสำคัญไปที่การกระจายสินค้าของโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ โดยส่วนใหญ่ปัญหานี้ จะศึกษาเกี่ยวกับการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ หรือการนำสินค้าที่หมดอายุกลับมาเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง (Lin et al., 2014a) ปัญหา VRP ประเภท RL เป็นปัญหาที่เน้นการพิจารณาการไหลแบบย้อนกลับ (Backward Stream) ในระบบการขนส่งสินค้า หมายถึง การนำประเด็นด้านโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ เข้ามาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Coelho et al., 2016)

สำหรับโลจิสติกส์แบบย้อนกลับมุ่งเน้นการบูรณาการระหว่างการไหลของสินค้าจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภค และการไหลย้อนกลับของของเสีย (Waste) หรือสินค้าที่ถูกใช้แล้วจากผู้บริโภคสู่คลังสินค้าสำหรับการนำสินค้าที่ถูกใช้แล้ว หรือสินค้าที่ไม่สามารถใช้ได้แล้วเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ หรือเรียกว่าการรีไซเคิล Dell'Amico et al. (2006) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้ดังต่อไปนี้

3.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ประเภทการเลือกรับสินค้าจากกลับ แบบพิจารณาค่าบริการ (Selective Pickups and Pricing) เป็นปัญหาที่พิจารณาเพื่อหาเส้นทางสำหรับขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าเพื่อให้บริการแก่ลูกค้า โดยในเที่ยวกลับยานพาหนะขนส่งอาจมีการรับสินค้าจากลูกค้าบางราย กลับไปยังคลังสินค้าหากน้ำหนักของสินค้าที่รับจากลูกค้าไม่เกินความจุของยานพาหนะ และการรับสินค้าเหล่านั้นกลับไปยังก่อให้เกิดรายได้อีกด้วย (Coelho et al., 2016)

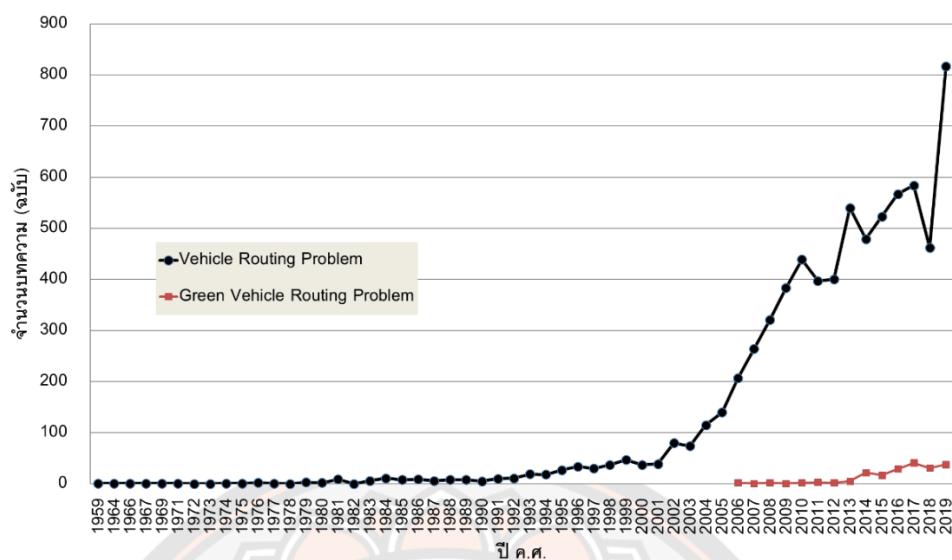
3.2 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ ประเภทการเก็บรวบรวมของเสีย (Waste Collection) เป็นปัญหาที่พิจารณาเพื่อเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดการขยะ งานวิจัยของ Idrus et al. (2017) ได้แบ่งประเภทของขยะนี้ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

3.2.1 ขยะที่เกิดจากแหล่งชุมชน/แหล่งที่พักอาศัย หรือบ้านส่วนบุคคล (Residential Waste) โดยยานพาหนะเคลื่อนที่ไปตามถนนเพื่อทำการเก็บขยะจากถังขยะขนาดเล็ก สำหรับความถี่ในการเก็บขยะนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิศาสตร์ และค่าบริการ

3.2.2 ขยะเชิงพาณิชย์ (Commercial Waste) เป็นขยะที่เกิดจากห้างสรรพสินค้า ร้านอาหาร และอาคารสำนักงานขนาดเล็ก ซึ่งมีถังขยะขนาดใหญ่สำหรับรองรับขยะที่เกิดขึ้น สำหรับความถี่ในการเก็บขยะประเภทนี้จะค่อนข้างคงที่

3.2.3 ขยะอุตสาหกรรม (Industrial Waste) เป็นขยะที่เกิดจากพื้นที่ก่อสร้าง ขยะจากพื้นที่ย่านกลางเมือง และห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ การเก็บขยะอุตสาหกรรมแตกต่างจากขยะเชิงพาณิชย์ คือ ขนาดของภาชนะที่ใช้ในการบรรจุ และเส้นทางการสำหรับกระบวนการในการเก็บรวบรวมขยะอุตสาหกรรม สำหรับกระบวนการเก็บขยะอุตสาหกรรมนั้นเริ่มจากยานพาหนะนำภาชนะเปล่าไปยังตำแหน่งของลูกค้า เพื่อแทนที่ภาชนะที่ใช้บรรจุขยะเต็มความจุ จากนั้นจึงนำขยะที่ได้ไปยังสถานที่กำจัด

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมจะยังมีไม่มากนัก หากเทียบกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ เนื่องจากปัญหานี้เพิ่งเป็นที่รู้จักเมื่อปี ค.ศ. 2012 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี ภาพ 15 แสดงปริมาณบทความที่ศึกษาการจัดเส้นทางยานพาหนะทั้งแบบพิจารณา และไม่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม โดยภาพจะเห็นได้ว่าปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม เป็นปัญหาที่ค่อนข้างใหม่ และยังมีบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหานี้ไม่มากนัก หากเทียบกับบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดการเส้นทางยานพาหนะซึ่งเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจมาเป็นเวลานาน และมีปริมาณบทความที่ค่อนข้างมาก ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมากในปี ค.ศ. 2003 จนถึงปี ค.ศ. 2010 สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของบทความเมื่อปี ค.ศ. 2015 และเพิ่มขึ้นเรื่อยมา จนถึงปี ค.ศ. 2017 ซึ่งเป็นปีที่มีจำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหานี้มากที่สุดตั้งแต่ปัญหานี้เป็นที่รู้จัก



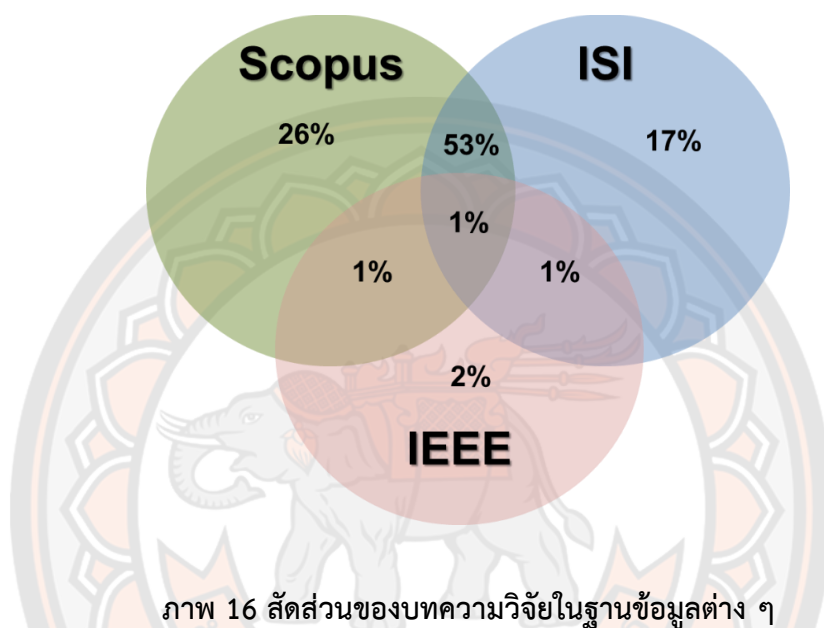
ภาพ 15 ปริมาณบทความที่ศึกษาการจัดเส้นทางยานพาหนะทั้งแบบพิจารณา และไม่พิจารณา ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green vehicle routing problem)

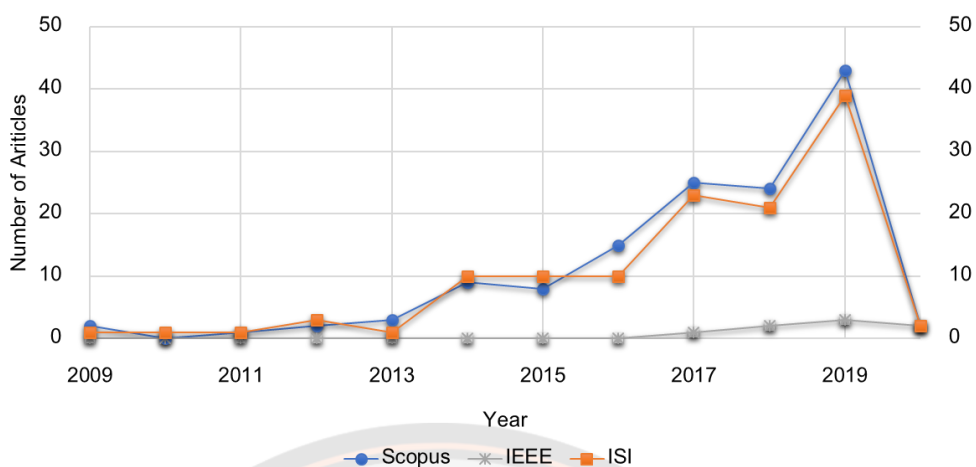
การรวบรวมและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ถูกสืบค้นจากฐานข้อมูลทางวิชาการในระดับนานาชาติ ได้แก่ Scopus, ISI Web of Science และ IEEE Xplore กำหนดช่วงเวลาการสืบค้น คือ ทุกปี ตั้งแต่เริ่มมีบทความในกลุ่มของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ที่ถูกตีพิมพ์ในฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติ จนกระทั่งถึงปัจจุบัน ณ วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2563 คำสำคัญที่กำหนดในการสืบค้น คือ Green และ Vehicle Routing สืบค้นจากชื่อเรื่อง (Article Title) บทคัดย่อ (Abstract) หรือคำสำคัญ (Keywords) โดยในฐานข้อมูล Scopus พบทั้งสิ้น 289 บทความ หลังจากนั้นคัดกรองเฉพาะบทความที่เกี่ยวข้องกับด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) ด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics) และด้านวิทยาศาสตร์สำหรับการตัดสินใจ (Decision Science) ทั้งหมด 151 บทความ

สำหรับฐานข้อมูล ISI Web of Science พบทั้งสิ้น 196 บทความ หลังจากนั้นคัดกรองเฉพาะ บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) ด้านคณิตศาสตร์ (Mathematics) และด้านการจัดการการดำเนินงาน (Operations Research Management Science) ทั้งหมด 144 บทความ ฐานข้อมูล IEEE Xplore พบทั้งสิ้น 69 บทความ คัดเลือกประเภทของบทความที่ลงในวารสาร (Journal) ทั้งหมด 6 บทความ

หลังจากนั้นทำการตัดความซ้ำซ้อนของบทความที่เหมือนกันจากทั้ง 3 ฐานข้อมูล สุดท้ายพบจำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งหมด 175 บทความ ซึ่งเป็นบทความที่ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม โดยวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาที่มีความแตกต่างกันออกไป โดยสัดส่วนของบทความวิจัยที่ถูกรวบรวมในฐานข้อมูลต่าง ๆ แสดงดังภาพ 16



จากบทความที่ถูกสืบค้นดังกล่าว พบว่า เป็นบทความที่มีอยู่ในฐานข้อมูลทั้ง Scopus และ ฐานข้อมูล ISI Web of Science ร้อยละ 47 รองลงมาคือ บทความที่อยู่ในฐานข้อมูล Scopus เพียงฐานข้อมูลเดียวคิดเป็นร้อยละ 27 ถัดมาคือ บทความที่อยู่ในฐานข้อมูล ISI Web of Science เพียงฐานข้อมูลเดียวคิดเป็นร้อยละ 21 สำหรับฐานข้อมูล IEEE Xplore พบเพียงร้อยละ 2 โดยแนวโน้มของปริมาณบทความในช่วงอดีตและปัจจุบันจากฐานข้อมูลทั้ง 3 ฐานข้อมูล แสดงดังภาพ 17



ภาพ 17 แนวโน้มของบทความในกลุ่มปัญหา GVRP

จากภาพ 17 พบว่า ในอดีตบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมเริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2552 ปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ถูกตีพิมพ์ลงในฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติ และเริ่มเป็นที่นิยมเรื่อยมา จนกระทั่งช่วงปัจจุบันตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 จนถึงปัจจุบัน ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก สำหรับตาราง 2 บทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (GVRP)

Authors (year)	Database	Methods	Objective		Mode of Transport						Types of Vehicle		Types of GVRP	
			Cost	Others	Road	Rail	Water	Air	Non-AFV	AFV	Green-VRP	PPRP		
			Operation/Transfer	Transportation	GHG Emission	Fuel Consumption	Distance	Time	Fuel Consumption	Green	GHG Emission			
Gen et al. (2009)	/		/	/								/	/	/
Simao et al. (2009)	/	HGA	/	/								/	/	/
Madden et al. (2010)	/	ADP	/	/								/	/	/
Ubeda et al. (2011)	/	TS	/	/								/	/	/
Erdogan and Miller-Hooks (2012)	/	SRB and NNI	/	/								/	/	/
Hollis and Green (2012)	/	MCVS and DBC	/	/								/	/	/
Jabali et al. (2012)	/	SIA and GLSA	/	/								/	/	/
Mohammadi et al. (2013)	/	TS	/	/								/	/	/
Adiba et al. (2013a)	/	MOWA	/	/								/	/	/
Adiba et al. (2013b)	/	GA	/	/								/	/	/
Gajananand and Narendran (2013)	/	HACS	/	/								/	/	/
Cirovic et al. (2014)	/	CG	/	/								/	/	/
Felipe et al. (2014)	/	SA	/	/								/	/	/
Jovanovic et al. (2014)	/	SA	/	/								/	/	/
Juan et al. (2014)	/	Fuzzy	/	/								/	/	/
Kim et al. (2014)	/	MIRH	/	/								/	/	/
Kopfer et al. (2014)	/	RFID	/	/								/	/	/
		MILP	/	/								/	/	/

Authors (year)	Database			Methods		Objective										Mode of Transport			Types of Vehicle					
	Scopus	ISI	IEEE	Approximate	Exact	Cost	Operation/Transfer	Transportation	GHG Emission	Fuel Consumption	Distance	Time	Fuel Consumption	Green	GHG Emission	Road	Rail	Water	Air	Non-AFV	AFV	Green-VRP	PPP	RL
Leggieri and Haouari (2017)	/	/			MINLP										/					/		/		
Liao (2017)	/			GA and TS											/					/		/		
Lu et al. (2017)	/	/		MCMC-ROBO											/					/		/		
Majidi et al. (2017)	/	/		ALNS											/					/		/		
Mancini (2017)	/			LNS											/					/		/		
Munoz-Villamizar et al. (2017)	/				MILP										/					/		/		
Nakjijikan and Mokhtab Raiee (2017)	/			GA		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Norouzi et al. (2017)	/	/		MPSO											/					/		/		
Sawik et al. (2017a)	/				MOIP										/					/		/		
Sawik et al. (2017b)	/			LG											/					/		/		
Schiffer and Wauther (2017)	/	/			LR										/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Soyyal and Çimen (2017)	/	/		RDP											/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Sundar et al. (2017)	/				BC	/									/					/		/		
Toro et al. (2017a)	/	/			EC	/									/					/		/		
Toro et al. (2017b)	/	/			MILP	/									/					/		/		
Turkmenste (2017)	/	/			GMEM	/									/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Xiao and Konak (2017)	/	/			GA-DP										/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Yavuz (2017)	/	/			IBS										/					/		/	/	/
Yu et al. (2017)	/	/			SA-RS										/					/		/	/	/

Authors (year)	Database		Methods	Objective	Mode of Transport						Types of Vehicle			Types of GVFP		
	Scopus	ISI			IEEE	Cost	Non-Cost	Green	Road	Rail	Water	Air	Non-AFV		AFV	Green-VRP
Kazemian et al. (2018)	/			Others	Operation/Transfer								/	/		
Kumar and Kumar (2018)	/		Approximate	Exact	Cost								/	/		/
Kong et al. (2018)	/		GA		Transportation								/	/		
Li and Sun (2018)	/		PTO		Operation/Transfer								/	/		
Liu et al. (2018)	/		GA		Transportation								/	/		
Liu et al. (2018)	/		C-HOA		Operation/Transfer								/	/		
Madankumar and Rajendran (2018)	/			MILP	Cost								/	/		
Niu et al. (2018a)	/		HTS		Transportation								/	/		
Niu et al. (2018b)	/		HTS		Transportation								/	/		
Poonthahir and Nadarajan (2018)	/		TVa-PSOGMO		Transportation								/	/		
Rabbani et al. (2018)	/		SA		Transportation								/	/		
Soleimani et al. (2018)	/			Fuzzy	Transportation								/	/		/
Sousa Matos et al. (2018)	/		ILS		Operation/Transfer								/	/		/
Soysal et al. (2018)	/			MINLP	Cost								/	/		/
Wang et al. (2018)	/		IPSO and ACO		Cost								/	/		/
Wensing (2018)	/		EA		Transportation								/	/		/
Zhang et al. (2018)	/		NNC and ACS		Transportation								/	/		/
Abu Al Hila et al. (2019)	/		GIN		Transportation								/	/		/
Almira et al. (2019)	/		INS		Cost								/	/		/

Authors (year)	Database		Methods		Objective		Mode of Transport				Types of Vehicle			Types of GVFP											
	Scopus	ISI	IEEE	Approximate	Exact	Others	Cost	Operation/Transfer	Transportation	GHG Emission	Fuel Consumption	Distance	Time	Fuel Consumption	Green	Road	Rail	Water	Air	Non-AFV	AFV	Green-VRP	PPP	RL	
Schroder and Cabral (2019)	/	/	/		DEM															/					/
Serrano-Hernandez and Faulin (2019)	/	/	/	BRS			/													/					/
Soon et al. (2019a)	/	/	/			PHMAS														/					/
Soon et al. (2019b)	/	/	/		MD k-SP															/					/
Siuthi et al. (2019)	/	/	/		GA															/					/
Wang et al. (2019a)	/	/	/		TS			/												/					/
Wang and Lu (2019)	/	/	/		MAC															/					/
Wang et al. (2019b)	/	/	/		HGA															/					/
Wang et al. (2019c)	/	/	/		CWSHA, SWA and MOPSO			/												/					/
Xiao et al. (2019)	/	/	/		MILP			/												/					/
Xin et al. (2019)	/	/	/		CG			/												/					/
Xu et al. (2019)	/	/	/		MSGAll															/					/
Yu et al. (2019b)	/	/	/		BAP															/					/
Yu et al. (2019c)	/	/	/		MNLP															/					/
Yu et al. (2019a)	/	/	/		DRL															/					/
Zhang et al. (2019)	/	/	/		LANDCOST			/												/					/
Zhen et al. (2019)	/	/	/		IPSO															/					/
Zhu and Hu (2019)	/	/	/		HH															/					/
Zhou et al. (2019)	/	/	/		GA and PSO			/												/					/
(Granada-Echeverri et al., 2020)	/	/	/		MILP			/												/					/
(Su and Fan, 2020)	/	/	/		ACO			/												/					/

Authors (year)	Database		Methods		Objective		Mode of Transport				Types of Vehicle		Types of GVFP				
	Scopus	ISI	IEEE	Approximate	Exact	Cost	Non-Cost	Green	Road	Rail	Water	Air	Non-AFV	AFV	Green-VRP	PP	RL
(Mehlawat et al., 2020)	/	/	/	GA		/	/						/	/			
(Zulvia et al., 2020)	/	/		MOGE	Others	/	/						/	/			

หมายเหตุ: HGA = Hybrid Genetic Algorithm; ADP = Approximate Dynamic Programming; ALNS = Adaptive Large Neighborhood Search; TS = Tabu Search; SH = Saving Heuristic; MRH = Multi Round Heuristic; SRB and NNI = Sequential route building and the nearest neighbor insertion; ILS = Iterated Local Search; HACS = Hybrid Ant Colony System; PF = Pareto Front; MOIWA = Multi Objective Invasive Weed Optimization; SA = Simulated Annealing; CG = Column Generation; MILP = Mixed Integer Linear Programming; VNS with TS = Variable Neighborhood Search with Tabu Search; MCWS and DBC = The Modified Clark and Wright Saving Heuristics and Density-Based Clustering; GA = Genetic Algorithm; ABC = A Hybrid Artificial Bee Colony; DP = Dynamic Programming; SIA and GLSA = Sequential Insertion Algorithm and Guided Local Search; PPES = Predator Prey Evolutionary Strategy; PSO = Particle Swarm Optimization; ACO = Ant Colony Optimization; BR = Block Recombination; IGF = Improved Gaussian Firefly; BCP = Branch-Cut and Price Algorithm; MOGA = Multi Objective Genetic Algorithm; MOGE = A Many Objective Gradient Evolution; MACO = Multimetric Ant Colony Algorithm; AVCAS and SIDRA = Ant-Based Vehicle Congestion Avoidance System Signalized Intersection Design and Research Aid; ACS = Ant Colony System; BC = Branch and Cut ; ILS-SOA-SP = Integrated Iterated Local Search with

A Set Partitioning Procedure and A Speed Optimization Algorithm; GEET = Greening via Energy and Emission in Transportation;
 AVNS with TS = An Adaptive Variable Neighborhood Search with Tabu Search; MSH = Multi-Space Sampling Heuristic; FN-VNS =
 Four-Neighborhood Variable Neighborhood Search P-MIP-INS = A Hybrid Algorithm of Partial MIP Optimization and Iterative
 Neighborhood Search; BAP = Branch and Price Algorithm; IPSO = Improved Particle Swarm Optimization AMABC = An Adaptive
 Memory Artificial Bee Colony; VNSB = Variable Neighborhood Search Local Branching; NSGA – II = Non-Dominated Sorting Genetic
 Algorithm II; EC = Epsilon Constraint; MOSPOOLS = Multi-Objective Smart Pool Search; MIQP = Mixed Integer Quadratic
 Programming; PS = Path Selection Algorithm; RO = Robust Optimization; DEM = Digital Elevation Model; TPH = Three-Phase
 Heuristic; HACO = Hybrid Ant Colony Optimization; MCMC-RORO = Multicompartment Roll-on and Roll-off ; AIS and PSO =
 Artificial Immune System and Particle Swarm Optimization; K – PC = K – Path Cuts; MINLP = Mixed Integer Nonlinear Programming;
 LG = Lexicographic Method; LNS = Large Neighborhood Search; MOIP = Multi Objective Integer Programming; RDP = Restricted
 Dynamic Programming; MPSO = Modified Particle Swarm Optimization; CMEM = Comprehensive Modal Emission Model; GA-DP
 = Genetic Algorithm with dynamic programming; IBS = Iterated Beam Search; PG = Path Generation; SA- RS = Simulated Annealing
 with A Re-Strategy; MOPSO = Multi Objective Particle Swarm Optimization; PLS = Pareto Local Search; AHP = Analytic Hierarchy
 Process; NRGGA = Non Dominated Ranking Genetic Algorithm; HSAA = A hybrid Tabu Search Improved Simulated Annealing; GT
 = Graph Transformation; EA = Evolution Algorithm; SA and SMPSA = Simulated Annealing and The Self-Modifier of Probability
 of Section Approach; RTSP = Real Time Shortest Path; HTS = Hybrid Tabu Search; C-HQIA = Hybrid Quantum Immune Algorithm
 Based on Cloud Model; PTO = Polynomial Time Optimization; VND = Variable Neighborhood Descent; CP =Cutting Planes; GTS
 = Granular Tabu Search; TVa-PSOGMO = Particle Swarm Optimization with Greedy Mutation Operator and Time Varying
 Acceleration Coefficient; HH = Hybrid Heuristic; GIN = Greedy and The Intra-Route Neighborhood; NNC and ACS = Nearest

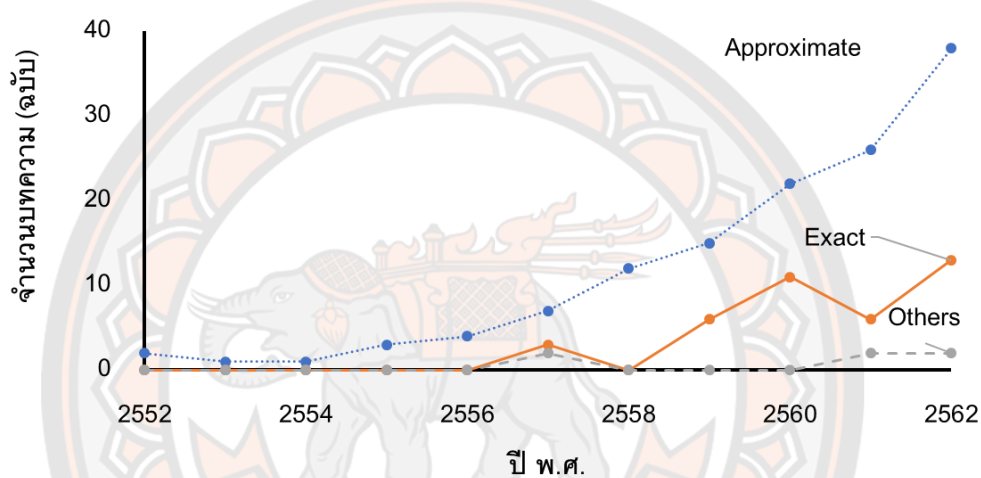
Neighbor Criteria and Ant Colony System; MSLS = Multi-Start Local Search Heuristic ; DE = Differential Evolution; GRASP = Greedy Randomized Adaptive Search Procedure and Simulated Annealing; IDE = Improved Differential Evolution Algorithm; DRL = Deep Reinforcement Learning Algorithm; PHMAS = Pheromone-Based Hierarchical Multi Agent System; HLNS = Hybrid Large Neighborhood Search; GrA = Greedy Algorithm; BRS = A Biased Randomization Saving Algorithm; e-CRO = Enhanced Chemical Reaction Optimization; IACO = Improved Ant Colony Optimization; Swa = Sweep Algorithm; MD k-SP = Modified Dynamic K – Shortest Path Algorithm; MAC = Memetic Algorithm with Competition; CWSHA = Clarke and Wright Saving Heuristic; MOGE = A Many-Objective Gradient Evolution Algorithm



จากตาราง 2 เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งออกเป็นทั้งหมด 5 ประเด็นหลัก ดังต่อไปนี้

1 วิธีการค้นหาคำตอบ (Methods)

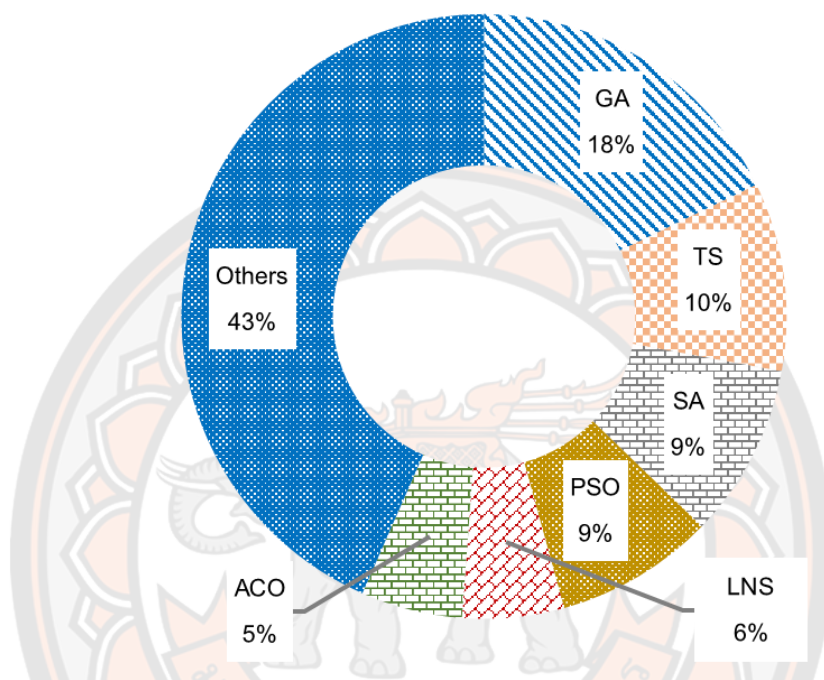
วิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม สำหรับวิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหานี้ จากการทบทวนวรรณกรรม สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ดังต่อไปนี้ โดยภาพ 18 แสดงถึงแนวโน้มของวิธีการค้นหาคำตอบในแต่ละกลุ่ม



ภาพ 18 แนวโน้มของวิธีการค้นหาคำตอบ

1.1 วิธีแบบประมาณค่า (Approximation Methods) เป็นวิธีที่มีขั้นตอนสำหรับวิเคราะห์หาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้รับจากวิธีการนี้นั้น ไม่สามารถรับประกันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่ถือว่าเป็นคำตอบที่มีประสิทธิภาพ ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด จากการทบทวนวรรณกรรม ดังภาพ 18 พบว่า วิธีแบบประมาณค่านี้เป็นวิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ได้รับความนิยมน้อยมากในการนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานี้คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 18 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Adiba et al. (2013a) Qian, & Eglese (2014) Naoum-Sawaya et al. (2015) Liao (2017) และ Rezaei et al. (2019) รองลงมา คือ วิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search: TS) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 10 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Maden et al. (2010) Jabali et al. (2012) และ Wang et al. (2019a) ถัดมาคือ วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Cirovic et al. (2014) Felipe

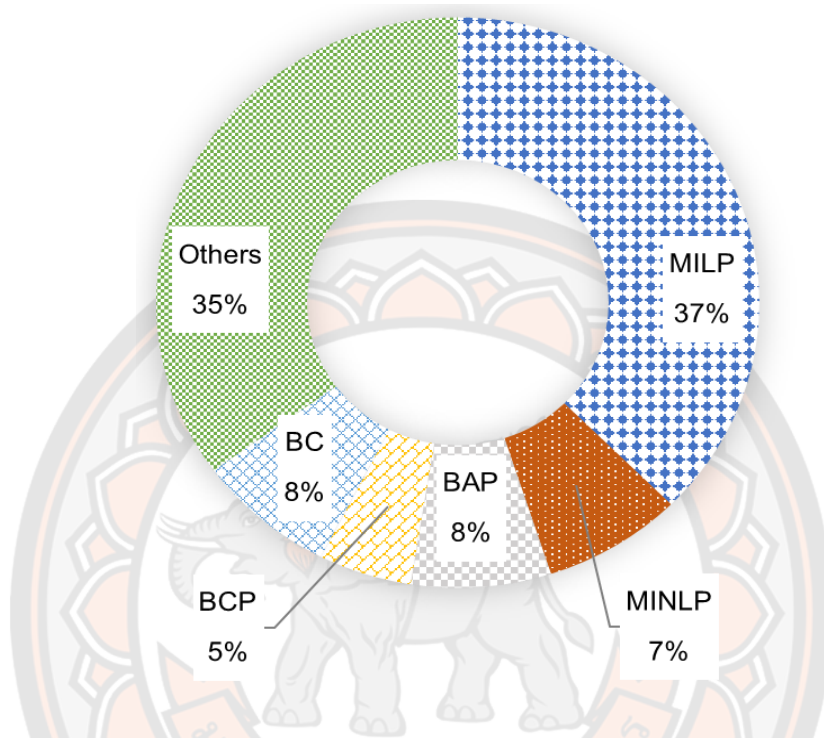
et al. (2014) และRabbani et al. (2018) ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 9 เช่นเดียวกันกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimisation: PSO) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 9 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Norouzi et al. (2017) และKumar et al. (2017) สำหรับภาพ 19 แสดงอัตราส่วนของวิธีการในกลุ่มวิธีแบบประมาณที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา



ภาพ 19 อัตราส่วนของวิธีการในกลุ่มวิธีแบบประมาณค่า

1.2 วิธีแบบแม่นยำ (Exact Methods) สำหรับวิธีการหาค่าตอบด้วยวิธีแบบแม่นยำนี้ คำตอบที่ได้รับนั้นจะเป็นคำตอบที่มีประสิทธิภาพ และสามารถรับรองได้ว่าคำตอบที่ได้นั้น เป็นคำตอบที่ดีที่สุด จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า วิธีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานี้มากที่สุด คือ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แบบ Mixed Integer Linear Programming (MILP) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 37 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kopfer et al. (2014) Munoz-Villamizar et al. (2017) และ Ferro et al. (2018) รองลงมา คือ วิธีการหาค่าตอบแบบ Branch and Cut (BC) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 8 เช่น งานวิจัยของ Koc, & Karaoglan (2016) เช่นเดียวกันกับ วิธีการหาค่าตอบแบบ Branch, & Price (BAP) ที่คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 8 เช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Yu et al. (2019b) ถัดมา คือ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แบบ Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Soysal et al. (2018) และ Yu et al. (2019c) และนอกจากนี้ยังมีวิธีการหาค่าตอบแบบ Branch-Cut and

Price (BCP) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 5 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Fukasawa et al. (2018) สำหรับภาพ 20 แสดงอัตราส่วนของขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบแม่นยำที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา



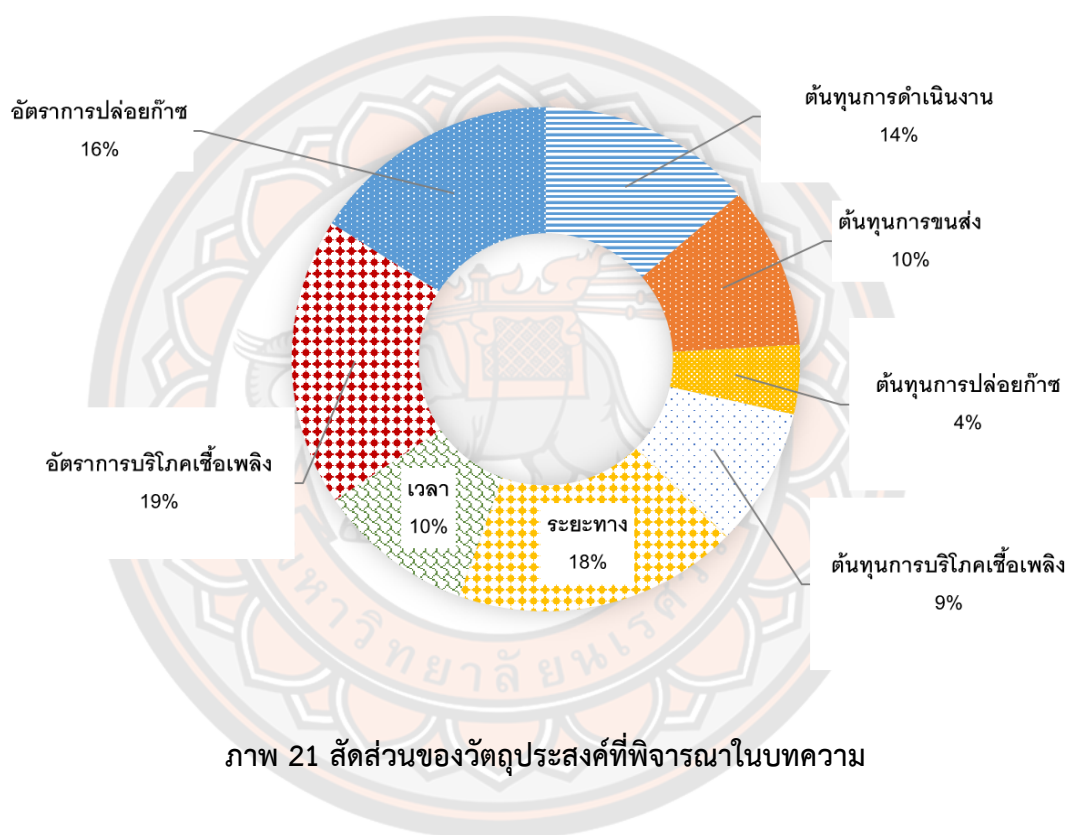
ภาพ 20 อัตราส่วนของขั้นตอนวิธีในกลุ่มวิธีแบบแม่นยำ

1.3 วิธีอื่น ๆ (Other Methods) นอกเหนือจากกลุ่มวิธีการค้นหาคำตอบที่ถูกกล่าวมาข้างต้นแล้ว ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ยังมีวิธีอื่น ๆ ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานี้ ยกตัวอย่างเช่น การนำเทคโนโลยี Radio Frequency Identification (RFID) เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหา เช่น งานวิจัยของ Kim et al. (2014) หรือทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) เช่น งานวิจัยของ Jovanovic et al. (2014) และ Soleimani et al. (2018)

2. วัตถุประสงค์ของบทความวิจัย (Objectives)

สำหรับวัตถุประสงค์ของบทความวิจัยของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ปัญหา GVRP ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน ยกตัวอย่างเช่น การหาผลเฉลยที่มีต้นทุนที่เกิดจากการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด หรือการหาผลเฉลยที่มีต้นทุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด 2) ปัญหา

GVRP ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลี่ยไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน เช่น การหาระยะทางที่ต่ำที่สุด หรือ การหาเวลาที่ใช้ในการขนส่งต่ำที่สุด และ 3) ปัญหา GVRP ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาผลเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น การหาอัตราการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด หรืออัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำที่สุด สำหรับวัตถุประสงค์ที่ถูกพิจารณามากที่สุดในปีปัญหา GVRP 3 อันดับแรก ได้แก่ การหาอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 19 รองลงมาคือ การหาระยะทางสำหรับการขนส่งที่ต่ำที่สุด คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 18 และสุดท้าย คือ การหาอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำที่สุด คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 16 ดังแสดงในภาพ 21

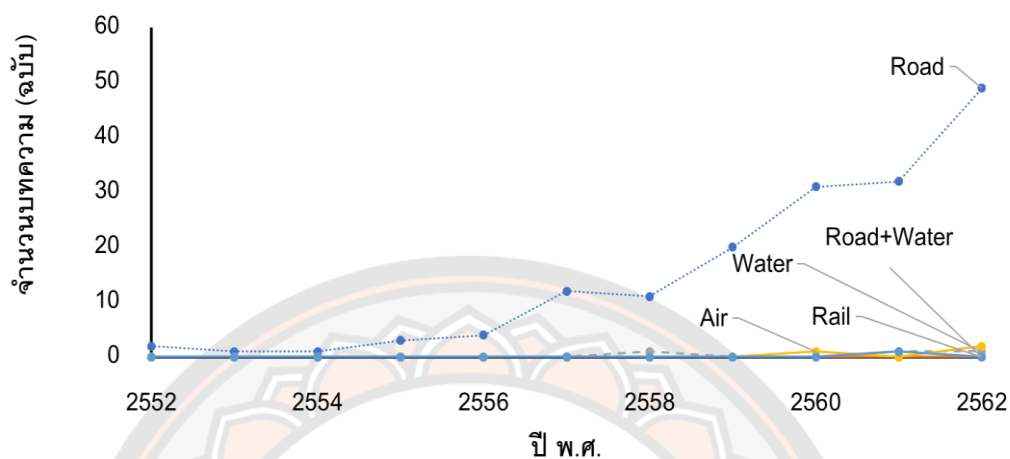


ภาพ 21 สัดส่วนของวัตถุประสงค์ที่พิจารณาในบทความ

3. รูปแบบการขนส่งที่พิจารณา (Mode of Transportation)

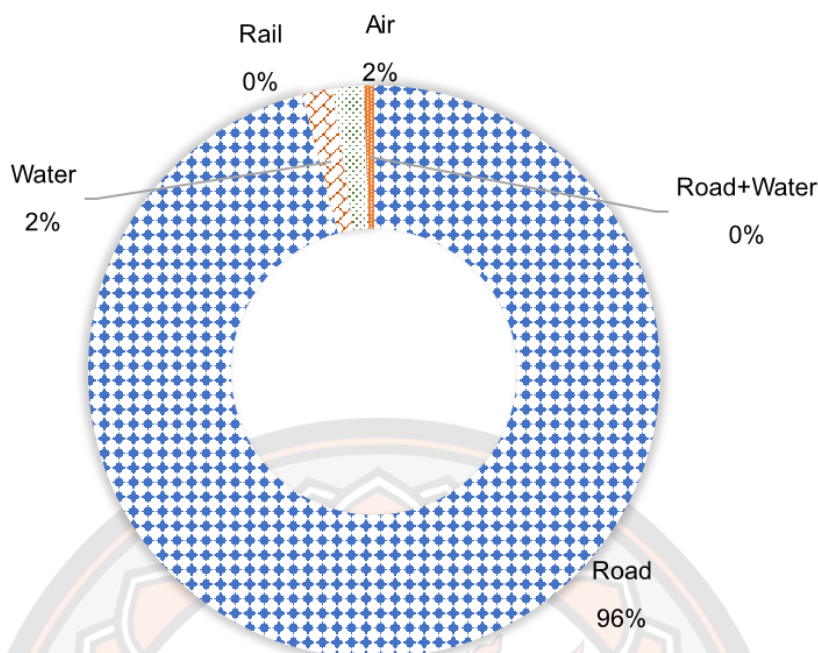
รูปแบบการขนส่งโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบหลัก ได้แก่ 1) ทางถนน การขนส่งที่ผ่านทางถนน ถือเป็นการขนส่งที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถขนส่งได้รวดเร็ว และทันตามกำหนดเวลา มีความยืดหยุ่นสูง และเป็นการขนส่งแบบถึงที่หรือถึงมือผู้รับได้ในทันที (Door to door) 2) ทางน้ำ การขนส่งที่ผ่านทางน้ำหรือทางทะเล โดนส่วนใหญ่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่ระยะทางที่ไกล ซึ่งใช้มหาสมุทร ทะเล ทะเลสาบ หรือแม่น้ำ เป็นเส้นทางในการเดินเรือ เพื่อขนส่งสินค้าไปยังปลายทาง 3) ทางราง การขนส่งผ่านทางราง คือ การขนส่งที่ผ่านทางรางโดยใช้ที่มีล้อวิ่งติดกับราง (รถไฟ) และ 4) ทางอากาศ การขนส่งประเภทนี้ใช้เครื่องบินเป็นยานพาหนะในการขนส่ง

การขนส่งประเภทนี้มีต้นทุนการขนส่งที่ค่อนข้างสูง โดยแนวโน้มของรูปแบบการขนส่งที่ถูกนำมาพิจารณาแสดงดังภาพ 22



ภาพ 22 แนวโน้มรูปแบบการขนส่งที่ถูกพิจารณา

สำหรับรูปแบบการขนส่งได้ที่ถูกนำมาพิจารณาในปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า รูปแบบการขนส่งทางถนนถูกนำมาพิจารณาในปัญหานี้มากที่สุด คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 95.95 รองลงมา คือ รูปแบบการขนส่งทางน้ำ และทางอากาศ ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนที่เท่ากัน คือ ร้อยละ 1.73 และนอกเหนือจากนี้ยังมีการพิจารณารูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transportation) ถูกนำมาพิจารณาในปัญหานี้ด้วย คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 0.58 เป็นการพิจารณารูปแบบการขนส่งทางถนน ร่วมกันกับรูปแบบการขนส่งทางน้ำ นอกเหนือจากนี้ พบว่า การขนส่งด้วยรูปแบบการขนส่งทางราง ยังไม่ถูกนำมาพิจารณาร่วมกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ดังภาพ 23

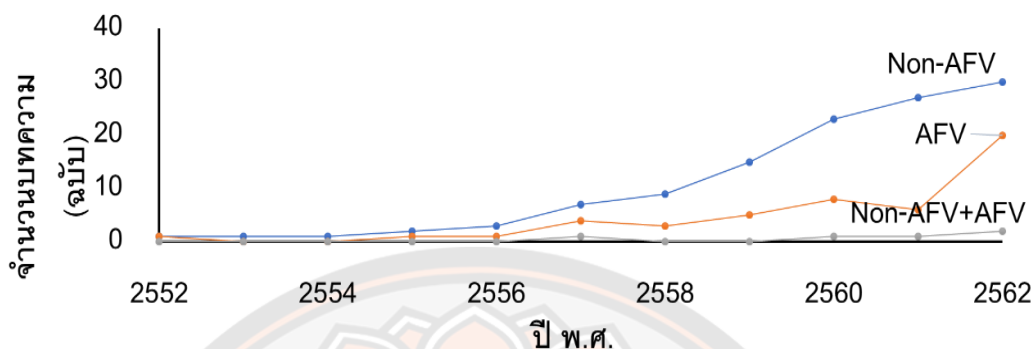


ภาพ 23 รูปแบบการขนส่งที่ถูกนำมาพิจารณา

4. ประเภทของยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณา

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า บทความวิจัยมีการพิจารณาประเภทยานพาหนะที่แตกต่างกัน โดยสามารถสรุปได้ว่า การพิจารณาประเภทยานพาหนะในปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มบทความวิจัยที่พิจารณายานพาหนะประเภทที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม หมายถึง กลุ่มบทความวิจัยที่พิจารณายานพาหนะที่ใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง (Gasoline of Diesel Vehicle: GDV/Non-AFV) ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Simao et al. (2009) Jabali et al. (2012) และ Ehmke et al. (2018) 2) กลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก (Alternative Fuel Vehicle: AFV) โดยข้อแตกต่าง ของยานพาหนะทั้ง 2 ประเภทนี้ คือ ยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกมีระยะในการขับขี้อย่างจำกัด ยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกนี้ยังขาดแคลนสถานีที่ให้บริการเชื้อเพลิงอีกด้วย และยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกนี้มักใช้เวลาในการเติมเชื้อเพลิงนานกว่ายานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม Koyuncu, & Yavuz (2019) สำหรับงานวิจัยที่พิจารณายานพาหนะประเภทนี้ ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Erdogan, & Miller-Hooks (2012) Juan et al. (2014) และ Goeke (2019) และ 3) กลุ่มบทความวิจัยที่พิจารณายานพาหนะที่ใช้ทั้งพลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมรวมกันกับ

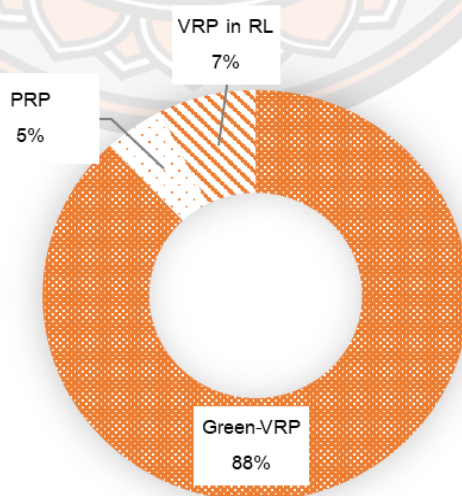
ยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Cirovic et al. (2014) และ Macrina et al. (2019a) โดยภาพ 24 แสดงแนวโน้มของประเภทยานพาหนะที่ถูกนำไปพิจารณา



ภาพ 24 แนวโน้มของประเภทยานพาหนะที่ถูกนำไปพิจารณา

5. ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green-VRP) มีอัตราส่วนที่ได้รับการพิจารณามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 88 รองลงมา คือ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีการพิจารณาโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (VRP in RL) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7 และสุดท้าย คือ ปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณามลพิษที่เกิดขึ้น (PRP) คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 5 ดังแสดงในภาพ 25



ภาพ 25 อัตราส่วนของลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

การทบทวนวรรณกรรมปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)

จากตาราง 2 ซึ่งเป็นตารางรวบรวมการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมนั้น พบว่า มีงานวิจัยที่ใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองเชิงเส้น จำนวน 15 บทความ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดทำตาราง 3 โดยแยกตามคุณลักษณะของปัญหา (Problem Characteristics) รูปแบบของการขนส่งที่ถูกพิจารณาในบทความ (Modes of Transportation) และสมการเป้าหมาย (Objective Function) และประเภทของยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณา แสดงดังตาราง 3



ตาราง 3 ทบทวนวรรณกรรมปัญหาการจัดเส้นทางขนานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้แบบจำลองเชิงเส้น

Authors (year)	Problem Characteristics			Mode of Transportation				Objective Function Based on							Types of Vehicle			
	Logistics	Data Used	Product	Air	Road	Water	Rail	Operation/Transfer	Transportation	GHG Emission	Fuel Consumption	Warehouse	Distance	Time	Fuel Consumption	GHG Emission	AFV	Non-AFV
Kopfer et al. (2014)	O	Syn	N/A	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
(2014a)	I+O	Real	Waste	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Afshar-Bakeshloo et al. (2016)	O	Syn	N/A	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Bruglieri et al. (2016)	O	Syn	N/A	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Munoz-Villamizar et al. (2017)	O	Real	N/A	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
(2017b)	O	Syn	N/A	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Ferro et al. (2018)	O	Syn	N/A	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

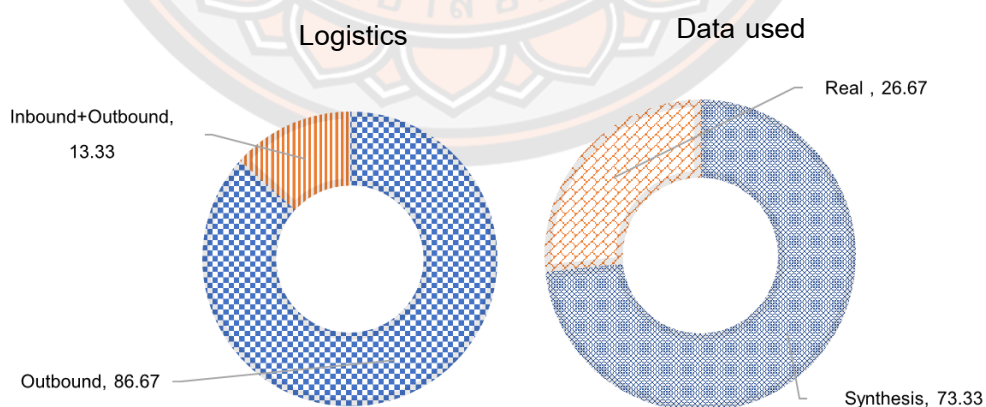
Authors (year)	Problem Characteristics			Mode of Transportation				Objective Function Based on								Types of Vehicle		
	Logistics	Data Used	Product	Air	Road	Water	Rail	Operation/Transfer	Transportation	GHG Emission	Fuel Consumption	Warehouse	Distance	Time	Non-Cost		Green	GHG Emission
Kancharla and Ramadurai (2018)	O	Syn	N/A	/										/				AFV / Non-AFV
Madankumar and Rajendran (2018)	I+O	Real	Semiconductor	/				/										AFV /
Arroyo et al. (2019)	O	Syn	N/A	/						/								AFV /
Bruglieri et al. (2019a)	O	Syn	N/A	/									/					AFV /
Bruglieri et al. (2019c)	O	Syn	N/A	/									/					AFV /
Han et al. (2019)	O	Real	Drug	/									/					AFV /

จากตาราง 3 ทบทวนวรรณกรรมปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้แบบจำลองเชิงเส้น สามารถสรุปได้ตามประเด็นหลัก ๆ ได้ทั้งหมด 4 ประเด็นดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของปัญหา (Problem Characteristics)

ในการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยร้อยละ 86.67 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมในโลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics) ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Han et al. (2019) ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมในโลจิสติกส์ขาออก สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์ยารักษาโรค รองลงมา คือ บทความที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมทั้งในโลจิสติกส์ขาเข้าและขาออก (Inbound and Outbound Logistics) คิดเป็นอัตราส่วนประมาณร้อยละ 13.33 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Ramos et al. (2014a) ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมในทั้งโลจิสติกส์ขาเข้า และโลจิสติกส์ขาออกของการจัดการของเสีย และ งานวิจัยของ Madankumar and Rajendran (2018) ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมทั้งโลจิสติกส์ขาเข้า และโลจิสติกส์ขาออกของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ

สำหรับประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาพบว่าร้อยละ 73.33 ของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลสังเคราะห์ (Synthetic Data) ในส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 26.67 เป็นข้อมูลจริง (Real Data) ดังแสดงในภาพ 26

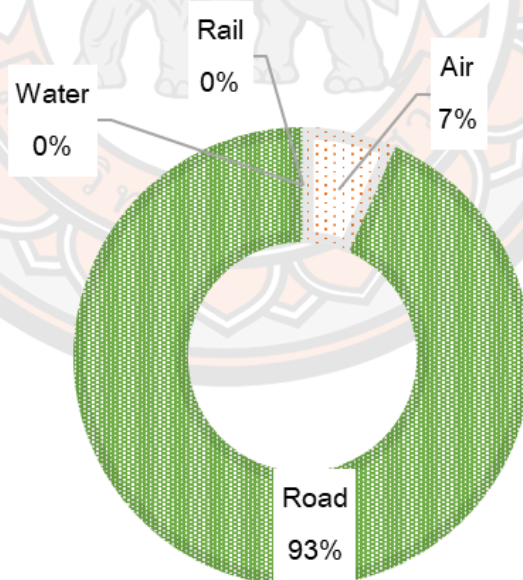


ภาพ 26 สัดส่วนของประเภทโลจิสติกส์ที่ได้รับการพิจารณา และสัดส่วนของประเภทข้อมูลที่ถูกใช้พิจารณา

2. รูปแบบการขนส่ง (Mode of Transportation)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า รูปแบบการขนส่งที่ได้รับการศึกษามากที่สุด คือ การขนส่งทางถนน โดยคิดเป็นร้อยละ 93 การขนส่งทางราง ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Arroyo et al. (2019) ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณารูปแบบการขนส่งทางถนน สำหรับยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาเส้นทางขนส่งที่มีต้นทุนด้านการเติมเชื้อเพลิงต่ำที่สุด สำหรับรูปแบบการขนส่งอันดับถัดมาที่ถูกนำมาพิจารณาในปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม คือ รูปแบบการขนส่งทางอากาศ Han et al. (2019) ซึ่งศึกษาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์ยา รักษาโรค ด้วยโดรน

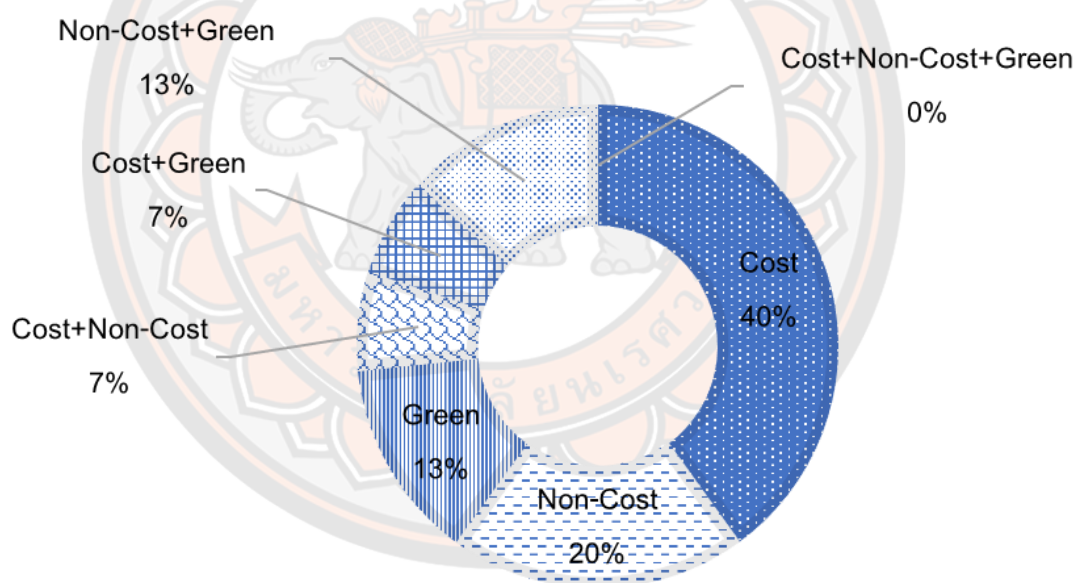
นอกเหนือจากนี้ พบว่า รูปแบบการขนส่งทางราง ทางน้ำ และการพิจารณารูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ที่ผ่านมายังไม่มีบทความใดนำมาพิจารณาร่วมกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นในการแก้ปัญหา ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพิจารณารูปแบบการขนส่งถึง 3 รูปแบบ ได้แก่ ทางถนน ทางน้ำ และทางรางสัดส่วนของรูปแบบการขนส่งที่ถูกพิจารณาจะแสดงดังภาพ 27



ภาพ 27 สัดส่วนของรูปแบบการขนส่งที่ถูกพิจารณา

3. ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Functions)

จากตาราง 3 ทบทวนวรรณกรรมปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้แบบจำลองเชิงเส้น สามารถแบ่งกลุ่มของฟังก์ชันจุดประสงค์ได้เป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ 1) ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มของต้นทุน (Cost) 2) ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน (Non-Cost) 3) ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มของประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Green) 4) ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มที่พิจารณาด้านต้นทุนร่วมกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Cost+Green) 5) ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณากลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุนร่วมกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Non-Cost+Green) 6) ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณาทั้งต้นทุนและกลุ่มที่ไม่เกี่ยวกับต้นทุน (Cost+Non-Cost) และ 7) ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณาทั้ง 3 กลุ่มร่วมกันทั้งต้นทุน กลุ่มที่ไม่เกี่ยวกับต้นทุน และประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Cost+Non-Cost+Green) โดยสัดส่วนของฟังก์ชันจุดประสงค์แต่ละกลุ่มที่ถูกพิจารณาแสดงดังภาพ 28

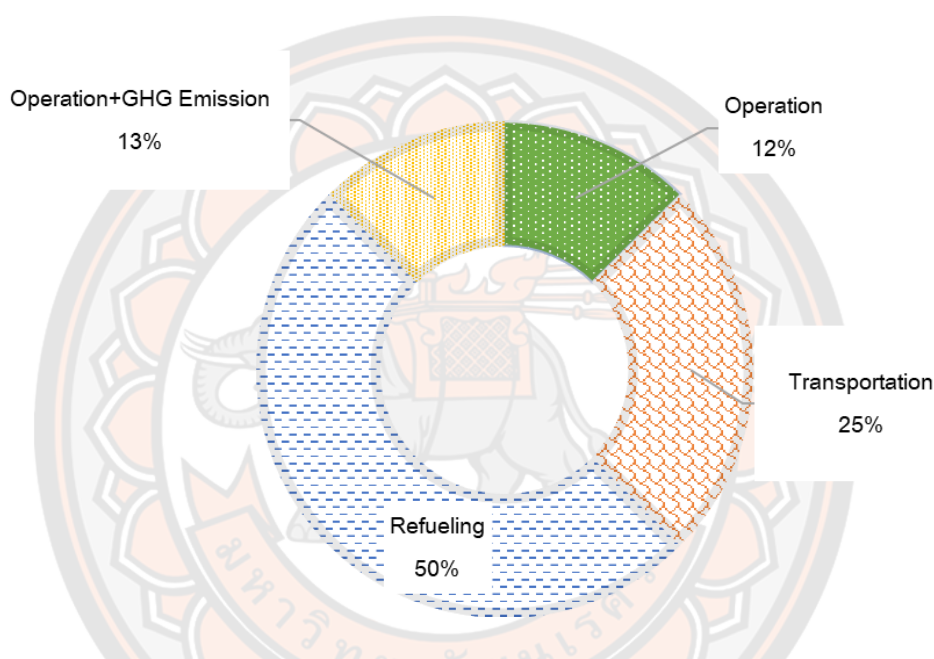


ภาพ 28 สัดส่วนของฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ถูกพิจารณา

3.1 ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มของต้นทุน

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ถูกพิจารณามากที่สุดมักจะเกี่ยวข้องกับต้นทุน คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 40 โดยประเภทของต้นทุนที่ถูกนำมาพิจารณา ได้แก่ ต้นทุนการดำเนินงาน (Operation Cost) ต้นทุนการขนส่ง (Transportation Cost) ต้นทุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission Cost) และ ต้นทุนการเติมเชื้อเพลิง

(Refueling Cost) ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Afshar-Bakeshloo et al. (2016) ที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ในการหาต้นทุนการดำเนินงาน และต้นทุนของภาคีคาร์บอนที่ต่ำที่สุด งานวิจัยของ Arroyo et al. (2019) ที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ในการหาต้นทุนการเติมพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด สำหรับต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการเติมเชื้อเพลิงนั้นมักถูกนำมาเป็นเป้าประสงค์ในสมการมากที่สุด คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 50 รองลงมา คือ ต้นทุนการขนส่ง คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 25 ถัดมา คือ ต้นทุนการดำเนินงาน ร่วมกับต้นทุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 13 และสุดท้าย คือ ต้นทุนการดำเนินงาน คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 12 ดังภาพ 29



ภาพ 29 สัดส่วนของต้นทุนที่ถูกนำมาพิจารณา

3.2 ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน (Non-Cost)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยงานวิจัยทั้งหมดจะมีฟังก์ชันจุดประสงค์ในการหาระยะทางที่สั้นที่สุด สำหรับการขนส่งสินค้า ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Bruglieri et al. (2019a) Bruglieri et al. (2019c) และ Han et al. (2019)

3.3 ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มของประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มของประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 13 ซึ่งฟังก์ชันจุดประสงค์ของงานวิจัยในปัญหานี้ มักจะเกี่ยวข้องกับการลดอัตราการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะ และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kopfer et al. (2014) ที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ในการ

หาเส้นทางการขนส่งที่มีอัตราการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงต่ำที่สุด เช่นเดียวกับกับ งานวิจัยของ Kancharla and Ramadurai (2018)

3.4 ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มที่พิจารณาต้นทุนร่วมกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Cost+Green)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ในกลุ่มที่พิจารณาต้นทุนร่วมกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Toro et al. (2017b) ที่หาเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนการดำเนินงาน และมีอัตราการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด

3.5 ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณากลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุนร่วมกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Non-Cost+Green)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณากลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุนร่วมกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 13 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Ramos et al. (2014a) ที่พิจารณาหาเส้นทางการขนส่งที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด และมีอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงของยานพาหนะต่ำที่สุด งานวิจัยของ Munoz-Villamizar et al. (2017) ที่พิจารณาหาเส้นทางการขนส่งที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด และอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะต่ำที่สุด

3.6 ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณาทั้งต้นทุนและกลุ่มที่ไม่เกี่ยวกับต้นทุน (Cost+Non-Cost)

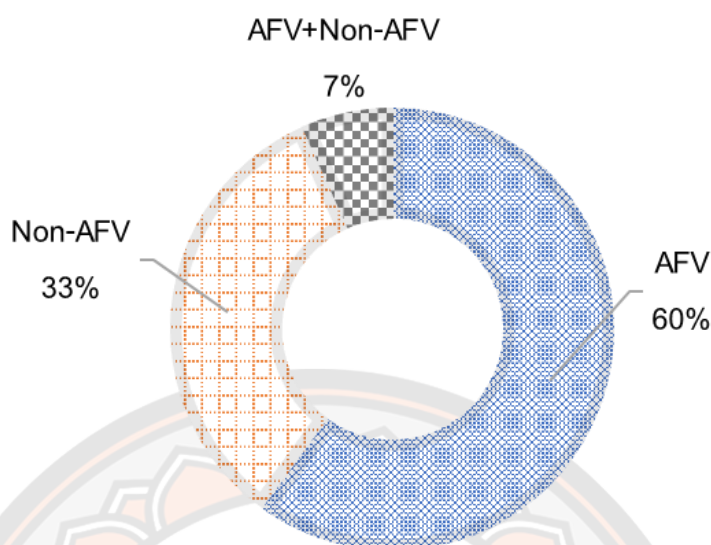
จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณาต้นทุนร่วมกับกลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Ferro et al. (2018) ที่มีจุดประสงค์ในการหาเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนการเติมเชื้อเพลิงต่ำที่สุด และเป็นเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุด

3.7 ฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณาทั้ง 3 กลุ่มร่วมกันทั้งต้นทุน กลุ่มที่ไม่เกี่ยวกับต้นทุน และประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม (Cost+Non-Cost+Green)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ยังไม่พบงานวิจัยที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์ที่พิจารณาทั้งต้นทุน กลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้องกับต้นทุน และประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกัน

4. ประเภทของยานพาหนะที่พิจารณา (Types of Vehicle)

สำหรับประเภทของกลุ่มยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณาในปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้แบบจำลองเชิงเส้น ในการแก้ปัญหา สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังภาพ 30



ภาพ 30 แสดงสัดส่วนของประเภทยานพาหนะที่ถูกพิจารณา

4.1 กลุ่มที่พิจารณายานพาหนะประเภทที่ใช้พลังงานทางเลือก (AFV)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือก เช่น ยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้า คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 60 ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Han et al. (2019) ที่ใช้โดรนไฟฟ้า ในการช่วยขนส่งผลิตภัณฑ์ยารักษาโรค

4.2 กลุ่มที่พิจารณายานพาหนะประเภทที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม

ผลการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 33 โดยงานวิจัยที่พิจารณากลุ่มยานพาหนะประเภทนี้ มักมุ่งเน้นการหาเส้นทางที่มีประสิทธิภาพ ที่ทำให้ยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบเดิมส่งผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kopfer et al. (2014) Afshar-Bakeshloo et al. (2016) และ Toro et al. (2017b)

4.3 กลุ่มที่พิจารณายานพาหนะทั้งประเภทที่ใช้พลังงานทางเลือกรวมกันกับ

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยที่มีการพิจารณากลุ่มยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม ร่วมกับกับยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงทางเลือก คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 7 ได้แก่ งานวิจัยของ Munoz-Villamizar et al. (2017)

กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) และการตัดสินใจ (Decision Making)

กำหนดการเชิงเส้น เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimisation Problems) ของฟังก์ชันเป้าประสงค์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของปัญหา โดยจะประกอบไปด้วย ฟังก์ชันเป้าประสงค์ (Objective Function) เงื่อนไขบังคับ (Constraints) โดยกำหนดการเชิงเส้นนั้น มักถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจทางด้านธุรกิจ (อภิชัย ฤตวิรุฬห์, 2555)

สำหรับประโยชน์ของการนำกำหนดการเชิงเส้นมาใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจทางธุรกิจ ต่อผู้บริหารมีดังต่อไปนี้

1. ช่วยลดต้นทุน การนำกำหนดการเชิงเส้นมาใช้จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายได้อย่างเป็นจำนวนมาก เนื่องจากกำหนดการเชิงเส้นจะสามารถทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจทราบถึงความสำเร็จ หรือล้มเหลวก่อนการลงทุนจริง สามารถประเมินได้ว่าควรดำเนินการต่อหรือไม่

2. รวดเร็ว การใช้กำหนดการเชิงเส้นจะสามารถย่นระยะเวลาจากสถานการณ์จริงได้ และยังช่วยหาคำตอบ และคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ เช่น การสร้างกำหนดการเชิงเส้นในการทำนายคำสั่งซื้อจากลูกค้า หรือกำหนดการเชิงเส้นที่ช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทางยานพาหนะ เป็นต้น

3. ตัวทดสอบ กำหนดการเชิงเส้นสามารถนำมาทดสอบผลกระทบที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ เช่น การทดสอบว่าจะเกิดอะไรขึ้น หากวัตถุดิบที่สั่งมาไม่พอกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ดี ทำให้ผู้บริหารทราบถึงข้อมูลในเชิงลึกทำให้สามารถนำไปประกอบการตัดสินใจ (Decision Making) และช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นได้

ระดับในการตัดสินใจจะถูกจำแนกให้สอดคล้องกับระดับของการจัดการ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังภาพ 31



ภาพ 31 ระดับของการตัดสินใจ

1. การตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ (Strategic Decision Making) เป็นการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูง ให้ความสนใจในเรื่องของอนาคต เช่น การกำหนดนโยบาย (Policy) การกำหนดวิสัยทัศน์ (Visions) เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ขององค์กร ซึ่งจะเป็นการตัดสินใจในระยะยาว (Long Term)

2. การตัดสินใจเชิงยุทธวิธี (Tactical Decision Making) เป็นการตัดสินใจของผู้บริหารระดับกลาง โดยจะเกี่ยวข้องกับการจัดการเพื่อให้สามารถดำเนินงานได้บรรลุตามเป้าหมายที่ผู้บริหารระดับสูงได้กำหนดไว้ การตัดสินใจเชิงยุทธวิธีจะเกี่ยวข้องกับปัญหาในลักษณะกึ่งโครงสร้าง เช่น การจัดสรรทรัพยากร การกำหนดปริมาณการผลิต การกำหนดแนวทางการตลาด การจัดตั้งงบประมาณ ซึ่งเป็นการตัดสินใจในระยะกลาง (Mid Term)

3. การตัดสินใจเชิงปฏิบัติการ (Operational Decision Making) เป็นการตัดสินใจของหัวหน้างาน ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับการประจำหรือ เป็นการตัดสินใจเฉพาะด้านต่าง ๆ มักจะเกิดเป็นประจำ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าจะสามารถปฏิบัติงานได้ตามแผนที่ถูกวางไว้ได้อย่างสำเร็จ มี

คุณภาพ และประสิทธิภาพ เช่น การตัดสินใจในเรื่องการควบคุมสินค้าคงคลัง การกำหนดเวลาในการสั่งซื้อวัตถุดิบ ซึ่งจะเป็นการตัดสินใจในระยะสั้น (Short Term)

ภาษาสำหรับการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (A Mathematical Programming Language: AMPL)

ปัจจุบันการแก้ไขปัญหาคำหนดการเชิงเส้น สามารถทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยมีตัวช่วยเป็นซอฟต์แวร์ต่าง ๆ สำหรับซอฟต์แวร์ที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคำหนดการเชิงเส้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ซอฟต์แวร์ประเภท Modeling คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับแปลงภาษาของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปแบบของภาษาทางคอมพิวเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น AMPL GAMS และ OPL 2) ซอฟต์แวร์ประเภท Solver เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้น ที่ผ่านการแปลงให้อยู่ในรูปแบบของภาษาทางคอมพิวเตอร์จากซอฟต์แวร์ประเภท Modeling ยกตัวอย่างเช่น Gurobi และ CPLEX (อภิชัย ฤตวิรุฬห์, 2555)

สำหรับ AMPL เป็นซอฟต์แวร์ประเภท Modeling ที่ถูกพัฒนาจาก Fourer et al. (2002) ซึ่งเป็นภาษาที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถเขียนได้โดยง่าย และมีความใกล้เคียงกับสัญลักษณ์พีชคณิตที่ใช้ในการอธิบายตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลเฉลยได้ สำหรับกระบวนการในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เริ่มจากการศึกษากระบวนการของปัญหาจริงที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อตัวแทนของปัญหาจริงที่เกิดขึ้น เมื่อต้องการใช้โปรแกรมในการแก้ไขปัญหา เพื่อหาผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องใช้ ภาษา AMPL ในการแปลตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ให้อยู่ในรูปแบบของภาษาทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้โปรแกรมสามารถประมวลผลได้ สำหรับกระบวนการแก้ไขปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด แสดงดังแสดงในภาพ 32



ภาพ 32 กระบวนการหาค่าตอบจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยภาษา AMPL

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย และขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย เพื่อสร้างกำหนดการเชิงเส้น ในการหารูปแบบการขนส่ง และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออก โดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด

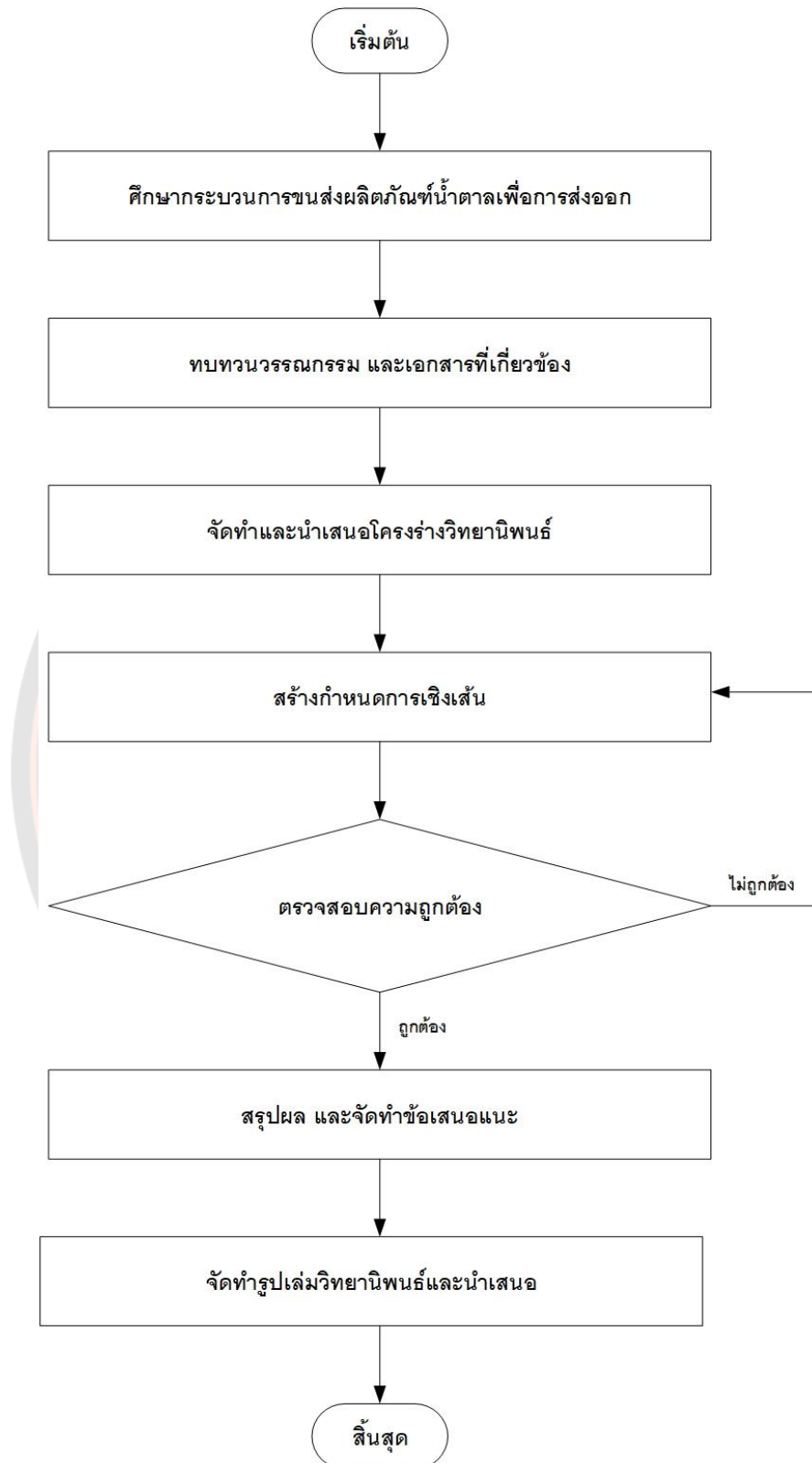
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

คอมพิวเตอร์พกพาสำหรับสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อหารูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีต้นทุนต่ำที่สุด จำนวน 1 เครื่อง โดยมีคุณสมบัติดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel(R) Core (TM) i7-4510U CPU@ 2.00GHz
2. หน่วยความจำหลัก (RAM) 4.00 GB
3. หน่วยความจำสำรอง (Hard disk) 500 GB
4. ระบบปฏิบัติการ (OS) Microsoft Window 8.1 Enterprise 64-bit Operating system
5. โปรแกรม Gurobi ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือสำหรับหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยภาษาแอมเพิล (A Mathematical Programming Language: AMPL)

ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อสร้างกำหนดการเชิงเส้น เพื่อหารูปแบบการขนส่ง และเส้นทางการขนส่งที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด สำหรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออก โดยจะเริ่มจากการศึกษากระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออก ทำการทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์ สร้างกำหนดการเชิงเส้น เพื่อหารูปแบบและเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมที่สุด ตรวจสอบและวิเคราะห์ความถูกต้องของกำหนดการเชิงเส้น หากไม่ถูกต้องจึงทำการปรับปรุงแก้ไข เมื่อกำหนดการเชิงเส้นให้ผลของคำตอบที่ไม่ละเอียดถี่ถ้วนแล้ว หลังจากนั้นจึงทำการสรุปผล และจัดทำข้อเสนอแนะ และสุดท้ายจึงจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอ ดังภาพ 33











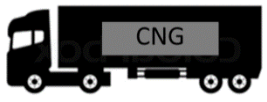


ภาพ 33 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานในด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล

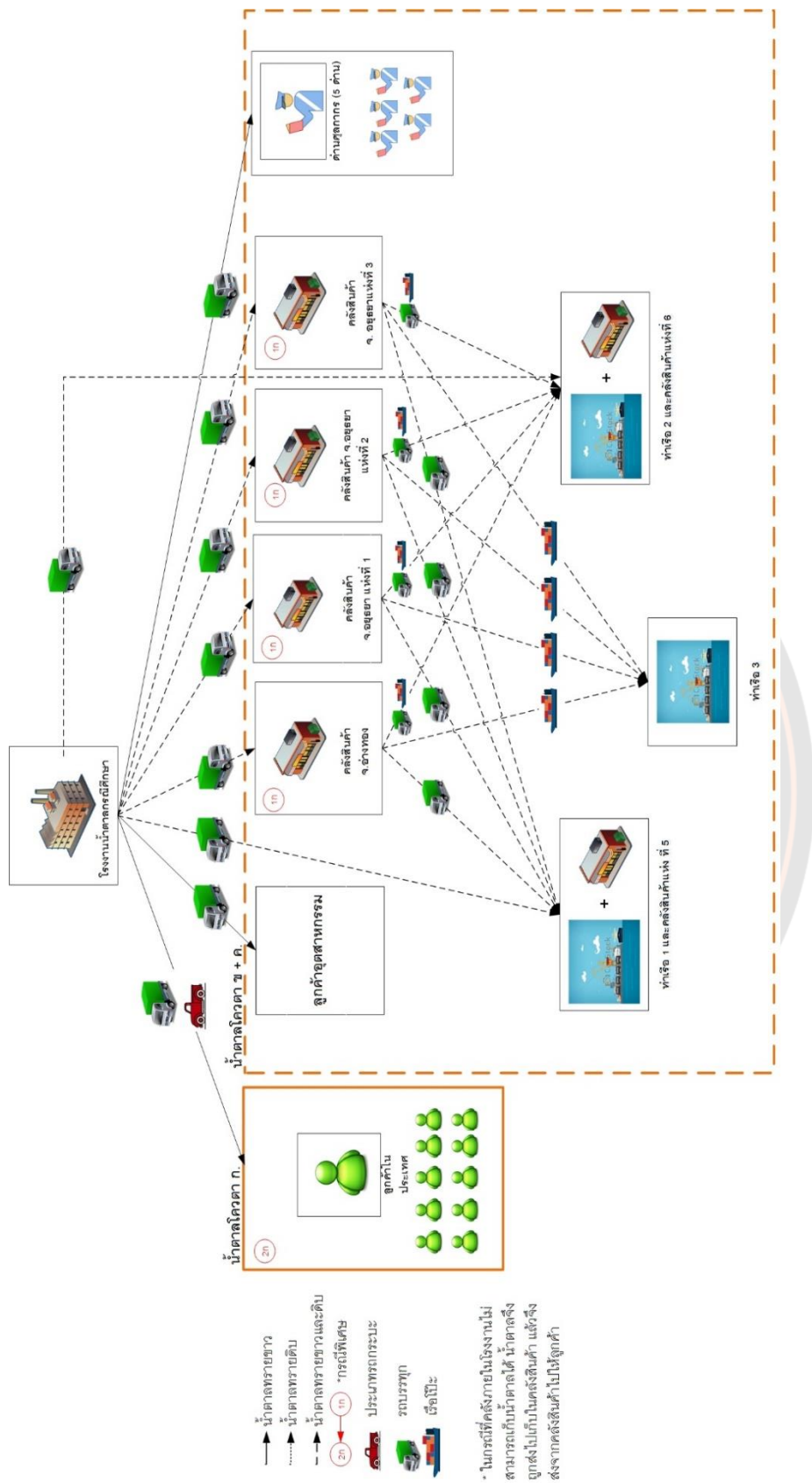
จากการศึกษาขั้นตอนในการดำเนินงานในด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล พบว่า ทางโรงงานกรณีศึกษา มีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกเป็น 2 ส่วนหลัก โดยส่วนที่ 1 จะเป็นการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลภายในประเทศ ซึ่งในส่วนนี้ลูกค้าจะทำการฝากผลิตภัณฑ์น้ำตาลไว้กับทางโรงงาน แล้วจึงทยอยมารับตามกำหนด และส่วนที่ 2 เป็นการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกไปยังต่างประเทศ ในส่วนนี้โรงงานจะทำการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานออกไปยังคลังสินค้าภายนอกโรงงาน ก่อนที่จะนำไปส่งยังท่าเรืออีกต่อหนึ่ง โดยคลังสินค้าที่โรงงานน้ำตาลใช้มีทั้งหมด 4 แห่ง ได้แก่ 1) คลังสินค้า จังหวัดอ่างทอง 2) คลังสินค้า จังหวัดอยุธยา แห่งที่ 1 3) คลังสินค้า จังหวัดอยุธยา แห่งที่ 2 4) คลังสินค้า จังหวัดอยุธยา แห่งที่ 3 ซึ่งการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในปัจจุบันมีเพียงการใช้รถบรรทุก และเรือเท่านั้น ยังไม่มีการนำรถไฟเข้ามาช่วยในการขนส่งนี้ สำหรับภาพ 34 แสดงโครงข่ายการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา และยานพาหนะที่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบการขนส่ง ได้แก่ รูปแบบการขนส่งทางถนน รูปแบบการขนส่งทางน้ำ และรูปแบบการขนส่งทางราง โดยคุณลักษณะของยานพาหนะของแต่ละรูปแบบการขนส่ง แสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 คุณลักษณะของยานพาหนะที่พิจารณา

ลำดับ	ประเภทยานพาหนะที่พิจารณา	เชื้อเพลิงที่ใช้	น้ำหนักบรรทุก (ton)	Emission Factor (kgCO ₂ e/ton*km)
1	 รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ	น้ำมันดีเซล	7	0.15190
2	 รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ	น้ำมันดีเซล	8.5	0.07140
3	 รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ	น้ำมันดีเซล	11	0.06740
4	 รถกระบะบรรทุก 10 ล้อ	น้ำมันดีเซล	16	0.05860

ลำดับ	ประเภทยานพาหนะที่พิจารณา	เชื้อเพลิงที่ใช้	น้ำหนักบรรทุก (ton)	Emission Factor (kgCO ₂ e/ton*km)
5	 รถกระบะบรรทุกทุกฝั่ง 18 ล้อ	น้ำมันดีเซล	32	0.04885
6	 รถกระบะบรรทุกทุกฝั่ง 18 ล้อ	น้ำมันดีเซล	32	0.04595
7	 รถกระบะบรรทุกทุกฝั่ง 20 ล้อ	น้ำมันดีเซล	32	0.04975
8	 รถกระบะบรรทุกทุกฝั่ง 22 ล้อ	น้ำมันดีเซล	32	0.04995
9	 รถกระบะบรรทุกทุกฝั่ง 18 ล้อ	CNG	32	0.05130
10	 รถไฟ	-	782	0.037
11	 เรือแบบขนส่งตามลำน้ำ	-	2900	0.0446

จากตาราง 4 แสดงถึงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ได้มาจากฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ (Thai National Life Cycle Inventory Database) และ United States Environmental Protection Agency ในส่วนของค่า Emission Factor ของยานพาหนะประเภทที่ 1 - 9 เป็นการเฉลี่ยจากกรณีที่ยานพาหนะวิ่งแบบปกติ และวิ่งแบบสมบุกสมบัน



ภาพ 34 แสดงโครงข่ายการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในปัจจุบัน

ที่มา: ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และคณะ, 2561

2. ทบทวนวรรณกรรม เอกสารที่เกี่ยวข้อง และเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษา การจัดการห่วงโซ่อุปทาน การจัดการโลจิสติกส์ ประเภทและรูปแบบการขนส่ง ห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมน้ำตาล ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดการเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ปัญหาการจัดการเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยกำหนดการเชิงเส้น ดังแสดงในตาราง 2 และ ตาราง 3 จากฐานข้อมูลวารสารวิชาการที่ได้รับการยอมรับ ในระดับนานาชาติและทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในบทที่ 2

3. จัดทำและนำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์

หลังจากทำการศึกษาระบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออก ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง และทบทวนวรรณกรรมของปัญหาการจัดการเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว จึงรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์ และนำเสนอต่อคณะกรรมการ เพื่อพิจารณาอนุมัติหัวข้อวิทยานิพนธ์ และชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้ให้บรรลุผลสำเร็จ

4. สร้างกำหนดการเชิงเส้น

ทำการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการหารูปแบบของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลโดยเป็นรูปแบบที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำตาล สำหรับองค์ประกอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ มีดังต่อไปนี้

4.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) เป็นตัวแปรตัดสินใจในการเลือกขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากต้นทางไปยังปลายทางด้วยรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ กำหนดให้มีค่าเป็น 1 หากมีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการขนส่ง

4.2 ฟังก์ชันเป้าประสงค์ (Objective Function) เป็นการวางเป้าประสงค์ให้เกิดการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังลูกค้าปลายทางโดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด ดังต่อไปนี้

ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม = ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีส่งตรง + ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีส่งผ่านคลัง + ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีส่งด้วยรถไฟ

4.3 เงื่อนไขบังคับ (Constraints) เป็นเงื่อนไขที่เกิดจากข้อจำกัดทางด้านรูปแบบการขนส่ง ได้แก่

4.3.1 บางเส้นทางไม่สามารถใช้รูปแบบการขนส่งรูปแบบได้

4.3.2 ข้อจำกัดในการขนส่งด้วยรถไฟ คือ การขนส่งด้วยรูปแบบรถไฟจะต้องขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานผ่านไปยังสถานีบรรจุ และแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้งเท่านั้น

4.3.3 การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ออกจากคลังสินค้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการขนส่งผลิตภัณฑ์จากโรงงานมายังคลังสินค้าที่ถูกเลือกเป็นทางผ่านเท่านั้น

4.3.4 การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล จะทำได้เพียงกรณีใดกรณีหนึ่ง จากทั้งหมด 3 กรณี คือ 1) ส่งตรง คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังท่าเรือโดยตรง 2) ส่งผ่านคลัง คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังคลังสินค้า ก่อนที่จะส่งไปยังท่าเรืออีกต่อหนึ่ง 3) ส่งด้วยรถไฟ คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุ และแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง แล้วจึงส่งไปยังท่าเรือด้วยรถไฟ

5. ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบทางคณิตศาสตร์

หลังจากสร้างกำหนดการเชิงเส้นแล้ว จึงทำการเปลี่ยนเป็นภาษาทางคอมพิวเตอร์ ด้วยภาษาแอมเพิล (A Mathematical Programming Language: AMPL) เพื่อหาคำตอบของกำหนดการเชิงเส้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Gurobi และนำผลลัพธ์ที่ได้มาตรวจสอบว่าเป็นไปตามฟังก์ชันเป้าหมายประสงค์ โดยไม่มีการละเมิดเงื่อนไขบังคับ หากไม่มีการละเมิดเงื่อนไขบังคับจะถือว่ากำหนดการเชิงเส้นที่สร้างขึ้นนั้นเป็นที่ยอมรับได้ หลังจากนั้นจึงดำเนินการขั้นตอนถัดไป โดยขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบทางคณิตศาสตร์มีดังต่อไปนี้

5.1 แปลงภาษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปแบบของภาษาคอมพิวเตอร์

หลังจากการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายลักษณะของปัญหาและเงื่อนไขของปัญหา หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงแปลงตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปแบบของภาษาคอมพิวเตอร์ สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ภาษา AMPL (A Mathematical Programming Language) เขียนบนโปรแกรม Notepad++ โดยทำการแปลงตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ออกเป็น 2 ไฟล์ที่นามสกุลต่างกัน ได้แก่ 1) ไฟล์นามสกุล .mod เป็นไฟล์ของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีการกำหนดดัชนี การประกาศพารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันจุดประสงค์ และเงื่อนไขบังคับของปัญหา 2) ไฟล์นามสกุล .dat เป็นไฟล์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงถึงข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ ที่ถูกประกาศไว้ในไฟล์นามสกุล .mod ตัวอย่างของการเขียนไฟล์ทั้ง 2 แสดงดัง ภาพ 35 และภาพ 36

```

C:\Users\It-Station\OneDrive - Naresuan University\GUR\BI and AMPL\AMP\C1.mod - Notepad++
File Edit Search View Encoding Language Settings Tools Macro Run Plugins Window ?
C1.dat C1.mod
1 ##Sets##
2 set Fact;
3 set WareH;
4 set SeaPort;
5 set ICD;
6 set Vehicle;
7
8
9 ##Parameters##
10 param m>=0; #Factory (i=1,...,m)
11 param n>=0; #Warehouse (j=1,2,3,4,5,6,...,n)
12 param o>=0; #Seaport (k=1,2,3,4,...,o)
13 param p>=0; #Leaport (l=1,...,p)
14 param q>=0; #ICD (z=1,...,q)
15 param r>=0; #Vehicle (v=1,2,...,r)
16
17
18
19 param CAP {v in Vehicle} >=0; #Capacity of vehicle
20 param EF {v in Vehicle} >=0; #Emission Factor of vehicle
21 param R {v in Vehicle} >=0; #Round of Transport
22 param a {i in Fact,k in SeaPort,v in Vehicle}>=0; #distance from i to k
23 param b {i in Fact,j in WareH,v in Vehicle}>=0; #distance form i to j
24 param c {j in WareH,k in SeaPort,v in Vehicle}>=0; #distance from j to k
25 param d {i in Fact,z in ICD,v in Vehicle}>=0; #distance from i to z
26 param e {z in ICD,k in SeaPort,v in Vehicle}>=0; #distance from z to l
27 param s>=0; #SurvivalVolume

```

ภาพ 35 ตัวอย่างไฟล์นามสกุล .mod

```

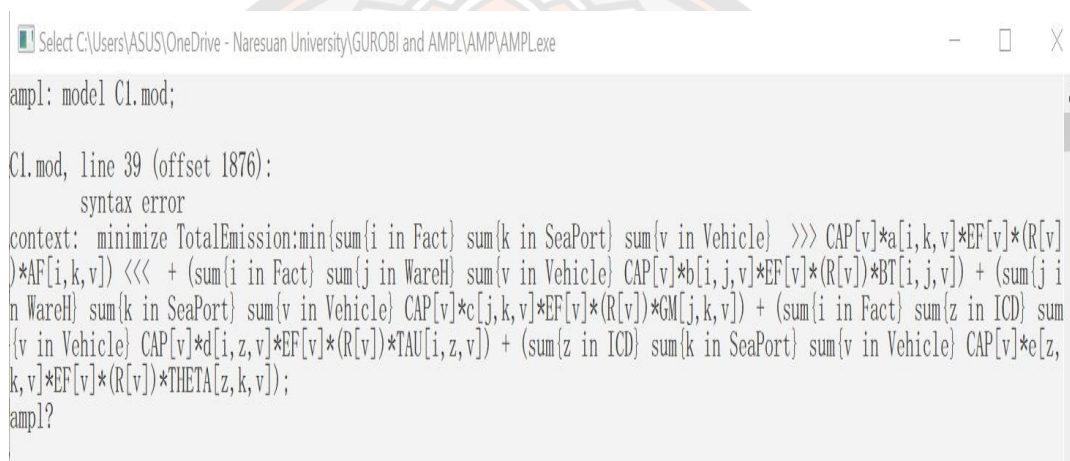
C:\Users\It-Station\OneDrive - Naresuan University\GUR\BI and AMPL\AMP\C1.dat - Notepad++
File Edit Search View Encoding Language Settings Tools Macro Run Plugins Window ?
C1.dat C1.mod
1 ##Sets##
2 set Fact= Factory1;
3 set WareH= AngT TPK PP LK Kerry PPD;
4 set SeaPort= KerryPort PPDPort SeechangPort LeamchaPort;
5 set ICD= ICD;
6 set Vehicle= V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8 V9 V10 V11;
7
8 ##Capacity of vehicle##
9 param: CAP:=
10 V1 7
11 V2 8.5
12 V3 11
13 V4 16
14 V5 32
15 V6 32
16 V7 32
17 V8 32
18 V9 32
19 V10 782
20 V11 2900;
21
22 ##Emission factor of vehicle##
23 param: EF:=
24 V1 0.1519
25 V2 0.0714

```

ภาพ 36 ตัวอย่างไฟล์นามสกุล .dat

5.2 เรียกใช้โปรแกรม Gurobi Solver เพื่อหาผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์

เมื่อสร้างไฟล์ของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และไฟล์ข้อมูล และค่าพารามิเตอร์เรียบร้อยแล้ว จึงเรียกใช้โปรแกรม Gurobi Solver เพื่อหาลักษณะ และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เหมาะสมที่สุด โดยมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด หากการเขียนไฟล์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ หรือไฟล์ของข้อมูล และค่าพารามิเตอร์ ไม่ถูกต้องตามรูปแบบของการเขียนภาษา AMPL (Syntax Error) โปรแกรมจะแจ้งเตือนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ว่าข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการเขียนภาษา AMPL ที่ผิดพลาดเกิดขึ้นจากไฟล์นามสกุลใด อยู่บรรทัดใด ดังแสดงในภาพ 37



```

Select C:\Users\ASUS\OneDrive - Naresuan University\GUROBI and AMPL\AMP\AMPLexe
ampl: model Cl.mod;

Cl.mod, line 39 (offset 1876):
    syntax error
context: minimize TotalEmission:min{sum{i in Fact} sum{k in SeaPort} sum{v in Vehicle} >>> CAP[v]*a[i,k,v]*EF[v]*(R[v])*AF[i,k,v]} <<< + (sum{i in Fact} sum{j in WareH} sum{v in Vehicle} CAP[v]*b[i,j,v]*EF[v]*(R[v])*BT[i,j,v]) + (sum{j in WareH} sum{k in SeaPort} sum{v in Vehicle} CAP[v]*c[j,k,v]*EF[v]*(R[v])*GM[j,k,v]) + (sum{i in Fact} sum{z in ICD} sum{v in Vehicle} CAP[v]*d[i,z,v]*EF[v]*(R[v])*TAU[i,z,v]) + (sum{z in ICD} sum{k in SeaPort} sum{v in Vehicle} CAP[v]*e[z,k,v]*EF[v]*(R[v])*THETA[z,k,v]);
ampl?
  
```

ภาพ 37 การแจ้งเตือนข้อผิดพลาดของโปรแกรม Gurobi

จากภาพ 37 จะเห็นได้ว่าโปรแกรมแจ้งเตือนความผิดพลาดที่เกิดจากการเขียนรูปแบบไม่ถูกต้องในบรรทัดที่ 39 เมื่อกลับไปแก้ไขการเขียนให้ถูกต้องตามรูปแบบของภาษา AMPL แล้ว หลังจากนั้นจึงทำการเรียกใช้ซอฟต์แวร์ Gurobi เพื่อทำการค้นหาผลเฉลย เมื่อได้ผลเฉลยจากการประมวลผลของซอฟต์แวร์แล้ว พบว่า ผลเฉลยที่ได้ไม่ละเมิดข้อบังคับ จึงถือว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบมานั้นถูกต้องแล้ว

6. สรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะ

เมื่อได้ผลเฉลยจากการประมวลผลแล้ว หลังจากนั้นจึงจัดทำแผนภาพโครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกเพื่อการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำตาล เพื่อสรุปผลการดำเนินงานวิจัย และจัดทำข้อเสนอแนะสำหรับโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา เพื่อสามารถนำไปเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจระดับกลยุทธ์ในการปรับเปลี่ยนนโยบายการขนส่ง ที่จะสามารถลดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอ

เมื่อได้ผลสรุป และข้อเสนอแนะจากการดำเนินงานวิจัยแล้ว จึงจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอ เพื่อนำเสนอการสร้ากกำหนดการเชิงเส้น สำหรับช่วยในการตัดสินใจในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด



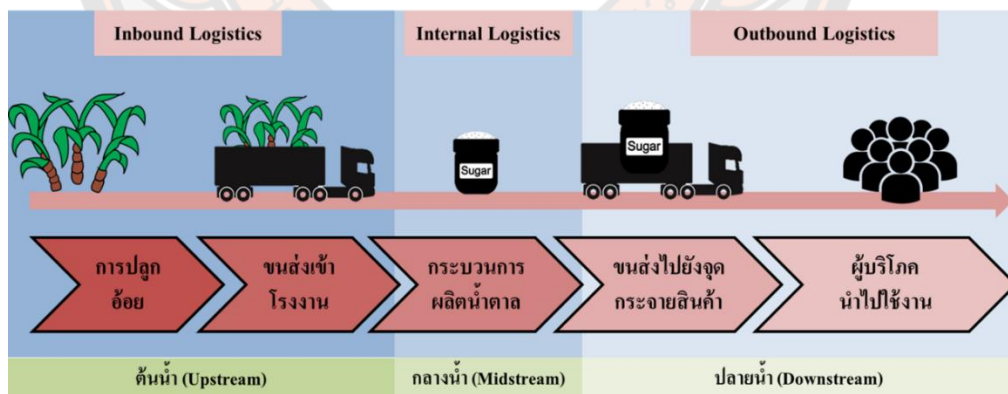
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นการนำเสนอ ผลการศึกษากระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหารูปแบบและเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการอภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการศึกษากระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล

จากการศึกษากระบวนการดำเนินงานของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา พบว่า กระบวนการของโรงงานน้ำตาล จะเริ่มตั้งแต่เกษตรกรนำอ้อยที่ปลูกได้มาส่งให้กับทางโรงงาน เมื่อโรงงานได้รับอ้อยจากทางเกษตรกรแล้วจึงนำอ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การเตรียมอ้อย การหีบอ้อย การต้มน้ำอ้อย จนกระทั่งได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาล โดยผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ผลิตได้จะถูกจัดเก็บที่คลังสินค้าภายในโรงงาน หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์น้ำตาลจะถูกส่งต่อไปยังจุดกระจายสินค้า เพื่อกระจายสินค้าไปยังลูกค้าทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ดังแสดงในภาพ 38

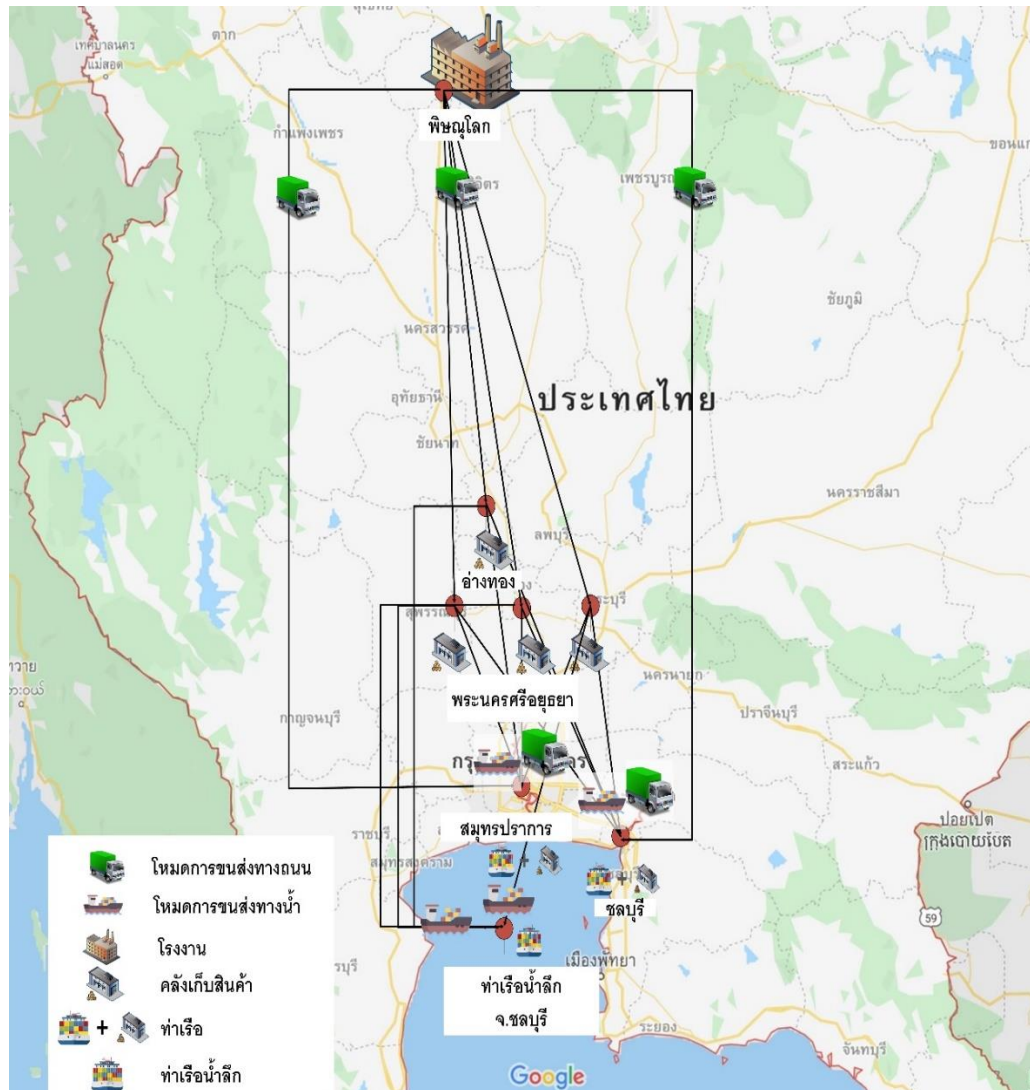


ภาพ 38 กระบวนการดำเนินงานของโรงงานน้ำตาล

สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังสินค้าภายในโรงงาน เพื่อกระจายสู่ลูกค้าต่างประเทศนั้น ปัจจุบันการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ทางโรงงานน้ำตาลมีลักษณะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลอยู่ 2 ลักษณะ คือ 1) การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังท่าเรือโดยตรง ซึ่งรูปแบบนี้

จะทำให้ต้นทุนการขนส่งมีค่าต่ำกว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานผ่านคลังสินค้า ซึ่งการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะนี้สามารถทำได้ยาก เนื่องจากจะต้องขนส่งน้ำตาลไปให้ทันกับเรือเดินสมุทรที่จะนำมารับผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อส่งต่อไปยังลูกค้าปลายทางที่อยู่ในต่างประเทศ และ 2) การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังท่าเรือ โดยจะนำผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปจัดเก็บที่คลังสินค้าก่อน แล้วจึงขนส่งต่อไปยังท่าเรืออีกทีหนึ่ง

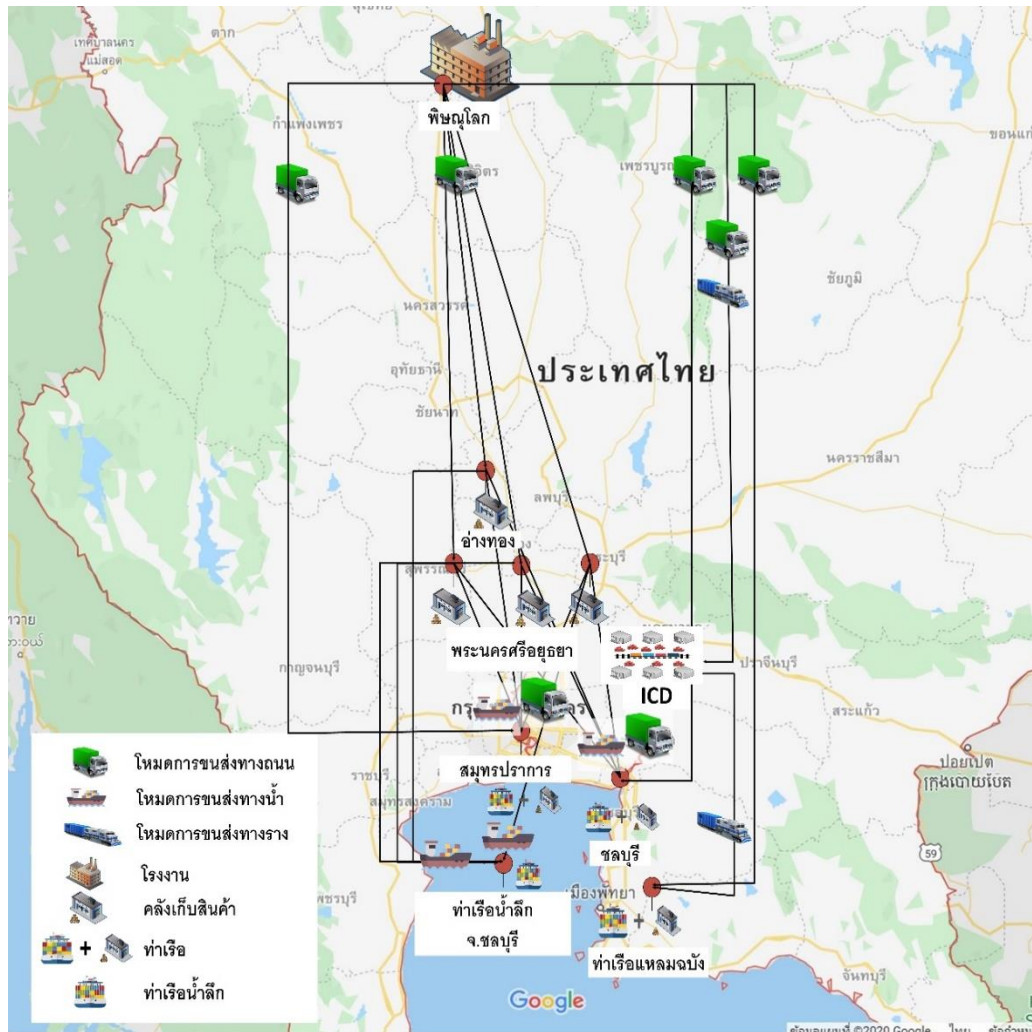
เส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของโรงงานกรณีศึกษา จะเริ่มตั้งแต่การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ขนส่งไปยังคลังเก็บสินค้า ซึ่งมีทั้งหมด 4 แห่ง ได้แก่ 1) คลังเก็บสินค้า จังหวัดอ่างทอง 2) คลังเก็บสินค้า จังหวัดอยุธยา แห่งที่ 1 3) คลังเก็บสินค้า จังหวัดอยุธยา แห่งที่ 2 และ 4) คลังเก็บสินค้า จังหวัดอยุธยา แห่งที่ 3 หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์น้ำตาลจะถูกส่งต่อไปยังท่าเรือ โดยท่าเรือที่ทางโรงงานสามารถใช้ในการส่งต่อผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังลูกค้าต่างประเทศมีทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ 1) ท่าเรือแห่งที่ 1 ตั้งอยู่ใน จังหวัดชลบุรี 2) ท่าเรือแห่งที่ 2 ตั้งอยู่ใน จังหวัดสมุทรปราการ และ 3) ท่าเรือแห่งที่ 3 ตั้งอยู่ใน จังหวัดชลบุรี การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังสินค้าไปยังท่าเรือที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถทำการขนส่งโดยใช้ได้ทั้งรถบรรทุก และเรือบรรทุก ยกเว้นการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังสินค้า ไปยังท่าเรือแห่งที่ 3 นั้นจะต้องใช้เพียงเรือบรรทุกเท่านั้น เนื่องจากท่าเรือแห่งที่ 3 มีเพียงรูปแบบการขนส่งทางน้ำเท่านั้น โดย Error! Reference source not found. แสดงโครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาที่มีการดำเนินการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออกในปัจจุบัน พบว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลนั้น ยังคงใช้รูปแบบการขนส่งทางถนน และทางน้ำเป็นหลัก โดยยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงานไปยังคลังสินค้า หรือท่าเรือ เพื่อดำเนินการส่งออกผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังลูกค้าที่อยู่ต่างประเทศนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นยานพาหนะประเภทรถบรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูง และนอกจากรถบรรทุกขนาดใหญ่แล้ว ทางโรงงานยังใช้เรือบรรทุก (Barge) ในการลำเลียงผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากคลังสินค้า ไปตามแม่น้ำ และส่งต่อไปยังท่าเรือ



ภาพ 39 โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาในปัจจุบัน

เนื่องจากในปัจจุบัน การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ใช้รูปแบบการขนส่งทางถนน และทางน้ำเป็นหลัก และยังไม่มีการนำรูปแบบการขนส่งทางราง เข้ามาใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานกรณีศึกษานั้นอยู่ใกล้กับสถานีรถไฟประมาณ 7 กิโลเมตรเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมองเห็นโอกาสในการพัฒนาตัวเองแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ในการวางนโยบายการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล เพื่อลดผลกระทบต่อเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม โดยตัวเองแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะพิจารณารูปแบบการขนส่งทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) รูปแบบการขนส่งทางถนน 2) รูปแบบการขนส่งทางน้ำ และ 3) รูปแบบการขนส่งทางราง รวมไปถึงการพิจารณารูปแบบการขนส่งทั้งการขนส่งรูปแบบเดียว (Single Modal Transportation) และการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transportation) โดยตัวเองแบบทางคณิตศาสตร์ที่

ถูกสร้างขึ้นมานี้ เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหารโรงงานน้ำตาล ในการวางแผนเชิงกลยุทธ์ในการบริหารการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Environmentally Friendly)



ภาพ 40 โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกที่ถูกพิจารณาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ภาพ 40 แสดงถึงโครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกที่ถูกพิจารณาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อหารูปแบบการขนส่ง และเส้นทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออก โดยพิจารณา รูปแบบการขนส่งทั้งหมด 3 รูปแบบที่กล่าวไปข้างต้น สำหรับลักษณะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงาน จะพิจารณาทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ 1) การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลตรงไปยังท่าเรือ 2) การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านคลัง หมายถึง การขนส่งผลิตภัณฑ์ออกจากโรงงานไปพักที่คลังสินค้าก่อน หลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังท่าเรือ และ 3) การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลโดยรถไฟ

หมายถึงการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง (Inland Container Depot) แล้วหลังจากนั้นจึงขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ที่เชื่อมต่อกับสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังด้วยทางรถไฟ

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ สำหรับวางแผนการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล จะแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ 1) กรณีหาเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด 2) กรณีหาเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด และมีการพิจารณาถึงเงื่อนไขของความจุของคลังสินค้า และ 3) กรณีหาเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ที่มีต้นทุนโดยรวม ซึ่งรวมไปถึงต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด

ผลการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล

สำหรับการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ประเด็นที่ถูกพิจารณาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบ่งตามกรณี

กรณีที่	อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ความจุของคลังสินค้า	ต้นทุน
1	✓		
2	✓	✓	
3	✓		✓

จากตาราง 5 แสดงให้เห็นว่า กรณีที่ 1 เป็นการหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด กรณีที่ 2 เป็นการหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด ที่คำนึงถึงเงื่อนไขของความจุของคลังสินค้า และ กรณีที่ 3 เป็นการหาเส้นทางและรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งรวมไปถึงต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย สำหรับรายละเอียดของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วย ข้อตกลงเบื้องต้น ดัชนี ตัวแปรทราบค่า ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันจุดประสงค์ และเงื่อนไขบังคับ แสดงดังต่อไปนี้

ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumptions)

1. ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมีเพียงพอต่อความต้องการเสมอ
2. จำนวนยานพาหนะมีเพียงพอต่อความต้องการเสมอ
3. คลังสินค้าสามารถรองรับปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกจัดส่งมาจากโรงงานได้ทั้งหมดเสมอ
4. ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่จัดส่งออกคลังสินค้า จะต้องมีความเท่ากับปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกส่งมาเก็บภายในคลังสินค้าเสมอ
5. ไม่มีผลิตภัณฑ์น้ำตาลสูญหายระหว่างทาง
6. การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ
 - 6.1 ส่งตรง หมายถึง การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานตรง ไปยังท่าเรือ
 - 6.2 ส่งผ่านคลัง หมายถึง การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปเก็บไว้ที่คลังสินค้า หลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังท่าเรือ
 - 6.3 ส่งด้วยรถไฟ หมายถึง การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง (Inland Container Depot: ICD) แล้วจึงส่งต่อไปยังท่าเรือด้วยรถไฟ
7. การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยรูปแบบการขนส่งทางรางนั้น จะเป็นการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงานด้วยรถไฟ ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง
8. การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเป็นไปตามเงื่อนไข FOB (Free Onboard Vessel)
9. พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น

ดัชนี (Indices)

- i คือ โรงงาน โดยที่ $i=1$
- j คือ คลังเก็บสินค้า โดยที่ $j=1,2,3,4$
- k คือ ท่าเรือสำหรับส่งออกสินค้าไปยังต่างประเทศ โดยที่ $k=1,2,3$
- l คือ ท่าเรือแหลมฉบัง สำหรับกรณีขนส่งด้วยรถไฟ โดยที่ $l=1$
- m คือ สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง โดยที่ $m=1$
- v คือ ชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยที่ $v=1,2,\dots,11$

ตัวแปรทราบค่า (Parameters)

- S คือ ปริมาณน้ำตาลที่ถูกส่งออกไปยังต่างประเทศต่อปี (ตัน)
- CAP_v คือ ความจุของยานพาหนะชนิด v (ตัน)
- EF_v คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของยานพาหนะชนิด v (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตัน•กิโลเมตร)

a_{ikv} คือ ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v (กิโลเมตร)

b_{ijv} คือ ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังคลังเก็บสินค้า j ด้วยยานพาหนะชนิด v (กิโลเมตร)

c_{jkv} คือ ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า j ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v (กิโลเมตร)

d_{imv} คือ ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ด้วยยานพาหนะชนิด v (กิโลเมตร)

e_{mlv} คือ ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง l ด้วยยานพาหนะชนิด v (กิโลเมตร)

$CAPWH$ คือ ความจุของคลังเก็บสินค้า (ตัน)

TFU คือ ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นไปยังยานพาหนะ (บาท/ตัน)

TFD คือ ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลลงจากยานพาหนะ (บาท/ตัน)

TFB_j คือ ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า j ลงเรือโป๊ะ (บาท/ตัน)

TFB_k คือ ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านเรือโป๊ะไปยังท่าเรือ k (บาท/ตัน)

TFM_{kv} คือ ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นเรือเดินสมุทรที่ทำเรือ k จากยานพาหนะชนิด v (บาท/ตัน)

WHC_k คือ ค่าฝากสินค้าที่ทำเรือ k (บาท/ตัน)

WHC_j คือ ค่าฝากสินค้าที่คลังเก็บสินค้า j (บาท/ตัน)

WHC_m คือ ค่าฝากสินค้าที่สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบ้ง (บาท/ตัน)

FC คือ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท)

Inc คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการคิดค่าจ้างเหมายานพาหนะ

$CAPCT$ คือ ความจุของตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุต ที่ใช้สำหรับขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล (ตัน)

TFI คือ ค่า Intake ผลิตภัณฑ์น้ำตาลเข้าสู่ตู้คอนเทนเนอร์ (บาท/ตู้)

Fr คือ อัตราค่าระวางของรถไฟ (บาท/ตู้)

CTN คือ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้สำหรับขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล (ตู้)

R_v คือ จำนวนรอบในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของยานพาหนะชนิด v (รอบ)

TPC คือ ค่าบริการสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยรถไฟจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้งด้วยรถไฟ ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง (บาท/ตู้)

CEX คือ ต้นทุนสำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (บาท/ตันคาร์บอน)

M คือ จำนวนเต็มที่มีค่ามากที่สุด (Large Positive Number)

TC_{ikv} คือ ต้นทุนรวมสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v (บาท)

TC_{ijv} คือ ต้นทุนรวมสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังคลังเก็บสินค้า j ด้วยยานพาหนะชนิด v (บาท)

TC_{jkv} คือ ต้นทุนรวมสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า j ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v (บาท)

TC_{imv} คือ ต้นทุนรวมสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ด้วยยานพาหนะชนิด v (บาท)

TC_{mvl} คือ ต้นทุนรวมสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง l ด้วยยานพาหนะชนิด v (บาท)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) สำหรับกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 3

$\mathcal{E}_{ikv} = 1$ ในกรณีที่มีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v ในกรณีอื่น ๆ มีค่าเป็น 0

$\mu_{ijv} = 1$ ในกรณีที่มีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังคลังเก็บสินค้า j ด้วยยานพาหนะชนิด v ในกรณีอื่น ๆ มีค่าเป็น 0

$\rho_{jkv} = 1$ ในกรณีที่มีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า j ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v ในกรณีอื่น ๆ มีค่าเป็น 0

$\sigma_{imv} = 1$ ในกรณีที่มีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ด้วยยานพาหนะชนิด v ในกรณีอื่น ๆ มีค่าเป็น 0

$\omega_{mvl} = 1$ ในกรณีที่มีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง l ด้วยยานพาหนะชนิด v ในกรณีอื่น ๆ มีค่าเป็น 0

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function)

สำหรับกรณีที่ 1 เป็นการหาลักษณะของการขนส่ง และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออก โดยลักษณะ และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลนั้นจะต้องเป็นเส้นทางมีอัตราการผลิตปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด โดยฟังก์ชันจุดประสงค์จะต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
MinZ = & \sum_i \sum_k \sum_v (CAP_v \times a_{ikv} \times EF_v \times R_v) \varepsilon_{ikv} + \sum_i \sum_j \sum_v (CAP_v \times b_{ijv} \times EF_v \times R_v) \mu_{ijv} \\
& + \sum_j \sum_k \sum_v (CAP_v \times c_{jkv} \times EF_v \times R_v) \rho_{jkv} + \sum_i \sum_m \sum_v (CAP_v \times d_{imv} \times EF_v \times R_v) \sigma_{imv} \\
& + \sum_m \sum_l \sum_v (CAP_v \times e_{mlv} \times EF_v \times R_v) \omega_{mlv}
\end{aligned} \quad (8)$$

เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_i \sum_k \sum_v \varepsilon_{ikv} + \sum_i \sum_j \sum_v \mu_{ijv} + \sum_i \sum_m \sum_v \sigma_{imv} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_v \mu_{ijv} = \sum_k \sum_v \rho_{jkv} \quad ; \forall j \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_v \sigma_{imv} = \sum_m \sum_v \omega_{mlv} \quad ; \forall l \quad (11)$$

$$a_{ikv} = M \quad ; \forall i, k = 3, \forall v \quad (12)$$

$$b_{ijv} = M \quad ; \forall i, j \geq 5, v \geq 10 \quad (13)$$

$$c_{jkv} = M \quad ; j \geq 5, k \geq 3, v \leq 9 \quad (14)$$

$$c_{jkv} = M \quad ; \forall j, \forall k, v = 10 \quad (15)$$

$$c_{jkv} = M \quad ; j \geq 5, k = 4, v = 11 \quad (16)$$

$$d_{imv} = M \quad ; \forall i, \forall m, \forall v \geq 11 \quad (17)$$

$$e_{mlv} = M \quad ; \forall m, \forall l, \forall v \leq 9, \forall v \geq 11 \quad (18)$$

$$\varepsilon_{ikv}, \mu_{ijv}, \rho_{jkv}, \sigma_{imv}, \omega_{mlv} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, j, k, m, l, v \quad (19)$$

ฟังก์ชันที่ (8) เป็นฟังก์ชันจุดประสงค์ สำหรับการหาลักษณะ และเส้นทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังต่างประเทศ ที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด โดยพิจารณารูปแบบการขนส่งทั้งทางถนน ทางน้ำ และทางราง สำหรับลักษณะของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลถูกพิจารณาทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ การส่งตรง การส่งผ่านคลัง และส่งด้วยรถไฟ ซึ่งลักษณะในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจะถูกเลือกเพียงลักษณะเดียวเท่านั้น ดังแสดงในสมการ (9) สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะการส่งผ่านคลัง ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจะออกจากคลังเก็บสินค้าแห่งนั้นได้ก็ต่อเมื่อคลังเก็บสินค้าแห่งนั้นถูกเลือกให้เป็นทางผ่าน ดังแสดงในสมการ (10) เช่นเดียวกันกับลักษณะการขนส่งด้วยรถไฟ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ถูกเลือกให้เป็นทางผ่าน ดังสมการ (11) สำหรับสมการที่ (12) - (18) เป็นเงื่อนไขบังคับสำหรับเส้นทางในการขนส่งที่ไม่สามารถขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลได้ เนื่องจากข้อจำกัดของรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ และสมการที่ (19) เป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรตัดสินใจ

สำหรับกรณีที่ 2 เป็นการหาลักษณะและเส้นทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดด้านความจุของคลังสินค้า โดยในกรณีที่ 2 นี้จะเป็นหาปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เหมาะสมที่สุด ในการขนส่งไปยังท่าเรือ โดยจะพิจารณาลักษณะการขนส่ง และรูปแบบการขนส่งเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 สำหรับตัวแปรตัดสินใจของกรณีที่ 2 ฟังก์ชันจุดประสงค์ของกรณีที่ 2 และเงื่อนไขบังคับจะแสดงดังต่อไปนี้

ตัวแปรตัดสินใจกรณีที่ 2 (Decision Variables)

Q_{ikv} คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ขนส่งจากโรงงาน i ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v (ตัน)

R_{ijv} คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ขนส่งจากโรงงาน i ไปยังคลังเก็บสินค้า j ด้วยยานพาหนะชนิด v (ตัน)

S_{jkv} คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ขนส่งจากคลังเก็บสินค้า j ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v (ตัน)

T_{imv} คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ขนส่งจากโรงงาน i ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ด้วยยานพาหนะชนิด v (ตัน)

U_{mlv} คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ขนส่งจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง m ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง l ด้วยยานพาหนะชนิด v (ตัน)

ฟังก์ชันจุดประสงค์ในกรณีที่ 2 แสดงดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Min}Z = & \sum_i \sum_k \sum_v (Q_{ikv} \times a_{ikv} \times EF_v) + \sum_i \sum_j \sum_v (R_{ijv} \times b_{ijv} \times EF_v) + \sum_j \sum_k \sum_v (S_{jkv} \times c_{jkv} \times EF_v) \\ & + \sum_i \sum_m \sum_v (T_{imv} \times d_{imv} \times EF_v) + \sum_m \sum_l \sum_v (U_{mlv} \times e_{mlv} \times EF_v) \end{aligned} \quad (20)$$

เงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมสำหรับกรณีที่ 2

$$Q_{ikv} + R_{ijv} + T_{imv} = S \quad ; \forall i, \forall j, \forall k, \forall m, \forall v \quad (21)$$

$$R_{ijv} = S_{jkv} \quad ; \forall i, \forall j, \forall k, \forall v \quad (22)$$

$$T_{imv} = U_{mlv} \quad ; \forall i, \forall m, \forall l, \forall v \quad (23)$$

$$R_{ijv} \leq CAPWH \quad ; \forall i, \forall j, \forall v \quad (24)$$

$$Q_{ikv} \cdot R_{ijv} \cdot S_{jkv} \cdot T_{imv} \cdot U_{mlv} \geq 0 \quad ; \forall i, \forall j, \forall k, \forall m, \forall v \quad (25)$$

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (20) เป็นการหาปริมาณที่เหมาะสมที่สุด ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่จะถูกส่งจากโรงงาน ไปยังท่าเรือโดยตรง หรือจากโรงงาน ผ่านไปยังคลังสินค้า และส่งต่อไปยังท่าเรือ และการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง แล้วจึงส่งไปยังท่าเรือแหลมฉบัง โดยปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลนั้นจะต้องส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด เช่นเดียวกับกับกรณีที่ 1

โดยมีเงื่อนไขบังคับ คือ ผลรวมของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกขนส่งในรูปแบบต่าง ๆ จะต้องมีความเท่ากับปริมาณน้ำตาลที่ถูกส่งออกจากโรงงาน (21) สำหรับปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ออกจากคลังเก็บสินค้าจะต้องเท่ากับปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกส่งเข้ามาเก็บในคลังเก็บสินค้านั้น ๆ ดังสมการที่ (22) เช่นเดียวกับกับ ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกส่งออกจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง จะต้องเท่ากับปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกส่งมายังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง ดังสมการที่ (23) สำหรับเงื่อนไขด้านความจุของคลังเก็บสินค้าจะแสดงดังสมการที่ (24) สำหรับสมการที่ (25) เป็นสมการที่แสดงข้อบังคับสำหรับตัวแปรตัดสินใจจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และสำหรับเงื่อนไขบังคับสำหรับเส้นทางการขนส่งที่ไม่สามารถขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลได้นั้นแสดงดัง สมการที่ (12) - (18) เช่นเดียวกับกับกรณีที่ 1

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกรณีที่ 3 นี้เป็นการสร้างแบบจำลอง เพื่อหาลักษณะและเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนโดยรวมนี้จะประกอบไปด้วย ต้นทุนค่าขนถ่าย ต้นทุนคลังสินค้า ต้นทุนค่าขนส่ง และต้นทุนสำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์ จะแสดงดังต่อไปนี้

สำหรับฟังก์ชันจุดประสงค์ในกรณีที่ 3 นี้แสดงดังสมการที่ (26) มีจุดประสงค์ในการหาต้นทุนโดยรวม สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ต่ำที่สุด โดยรวมไปถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$\begin{aligned} MinZ = & \sum_i \sum_k \sum_v TC_{ikv} \varepsilon_{ikv} + \sum_i \sum_j \sum_v TC_{ijv} \mu_{ijv} + \sum_j \sum_k \sum_v TC_{jkv} \rho_{jkv} \\ & + \sum_i \sum_m \sum_v TC_{imv} \sigma_{imv} + \sum_m \sum_l \sum_v TC_{mlv} \omega_{mlv} \end{aligned} \quad (26)$$

สำหรับการคิดต้นทุนรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังท่าเรือโดยตรง ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการขนถ่าย ต้นทุนของการขนส่ง ต้นทุนของคลังเก็บสินค้า และต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับดังแสดงในสมการที่ (27)

$$TC_{ikv} = (TFU \times S) + (TFD \times S) + (TFM_{kv} \times S) + \left[R_v \times \left(\frac{a_{ikv} \times 2}{2.2} \right) \times FC \times Inc \right] + (WHC_k \times S) + \left[\left(\frac{R_v \times CAP_v \times a_{ikv} \times EF_v}{1000} \right) \times CEX \right] \quad (27)$$

ในส่วนของการคิดต้นทุนรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน แล้วจึงส่งต่อไปยังคลังเก็บสินค้า ประกอบไปด้วยต้นทุนของการขนถ่าย ต้นทุนของการขนส่ง ต้นทุนของคลังเก็บสินค้า และต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับดังแสดงที่ (28)

$$TC_{ijv} = (TFU \times S) + (TFD \times S) + \left[R_v \times \left(\frac{b_{ijv} \times 2}{2.2} \right) \times FC \times Inc \right] + (WHC_j \times S) + \left[\left(\frac{R_v \times CAP_v \times b_{ijv} \times EF_v}{1000} \right) \times CEX \right] \quad (28)$$

การคิดต้นทุนโดยรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้าไปยังท่าเรือ ด้วยรูปแบบการขนส่งทางถนน โดยใช้ยานพาหนะชนิดที่ 1-9 ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการขนถ่าย ต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ ดังแสดงในสมการที่ (29)

$$TC_{jkv} = (TFU \times S) + (TFM_{kv} \times S) + \left[R_v \times \left(\frac{c_{jkv} \times 2}{2.2} \right) \times FC \times Inc \right] + \left[\left(\frac{R_v \times CAP_v \times c_{jkv} \times EF_v}{1000} \right) \times CEX \right] \quad (29)$$

หากการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้าไปยังท่าเรือ เกิดขึ้นโดยการขนส่งผ่านรูปแบบการขนส่งทางน้ำ ด้วยยานพาหนะชนิดที่ 11 (เรือขนส่งตามลำน้ำ) การคิดต้นทุนโดยรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้าไปยังท่าเรือ แสดงดังสมการที่ (30) ซึ่งประกอบไปด้วย ต้นทุนการขนถ่าย ต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในกระบวนการนี้จะไม่มีการขนส่งของคลังเก็บสินค้า เนื่องจากต้นทุนของคลังสินค้าได้ถูกรวมไว้ในส่วนของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังคลังเก็บสินค้าเรียบร้อยแล้ว

$$TC_{jkv} = (s \times (TFB_j + TPB_k + TFM_{kv})) + \left[\left(\frac{R_v \times CAP_v \times c_{jkv} \times EF_v}{1000} \right) \times CEX \right] \quad (30)$$

สำหรับสมการที่ (31) เป็นการคิดต้นทุนโดยรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรูปแบบการขนส่งทางถนน โดยยานพาหนะชนิดที่ 1-9 ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการขนถ่าย ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนคลังเก็บสินค้า และต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ

$$TC_{inv} = (TFU \times S) + (TFD \times S) + (WHC_m \times S) + \left[R_v \times \left(\frac{d_{iv} \times 2}{2.2} \right) \times FC \times Inc \right] + \left[\left(\frac{R_v \times CAP_v \times d_{iv} \times EF_v}{1000} \right) \times CEX \right] \quad (31)$$

สำหรับการคิดต้นทุนโดยรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรูปแบบการขนส่งทางราง แสดงดังสมการที่ (32) ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนขนถ่าย และต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$TC_{inv} = (CTN) \times (TFI + Fr) + \left[\left(\frac{R_v \times CAP_v \times d_{inv} \times EF_v}{1000} \right) \times CEX \right] \quad (32)$$

ในส่วนของต้นทุนโดยรวมสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรูปแบบการขนส่งทางราง ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง แสดงดังสมการที่ (33) ประกอบไปด้วยต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในส่วนนี้จะไม่มีต้นทุนการขนถ่ายเนื่องจาก เมื่อรถไฟบรรทุกผลิตภัณฑ์น้ำตาลมายังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังแล้ว จะไม่มีการขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลมาเก็บยังคลังเก็บสินค้า ในสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังอีก ดังนั้นจึงไม่มีการคิดต้นทุนในการขนถ่าย

$$TC_{mv} = (CTN \times TPC) + \left[\left(\frac{R_v \times CAP_v \times e_{mv} \times EF_v}{1000} \right) \times CEX \right] \quad (33)$$

สำหรับสมการที่ (27) – (33) เป็นสมการแสดงการคิดต้นทุนสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของลักษณะต่าง ๆ ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ได้แก่ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลโดยตรงจากโรงงานไปยังท่าเรือ การขนส่งผลิตภัณฑ์ผ่านคลัง โดยการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังคลังเก็บสินค้าแล้วหลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังท่าเรือ และการขนส่งด้วยรถไฟ คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง แล้วหลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังท่าเรือแหลมฉบัง โดยต้นทุนโดยรวมเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ การขนส่งผลิตภัณฑ์ ต้นทุนคลังเก็บสินค้า และต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในส่วนของเงื่อนไขบังคับของกรณีที่ 3 นี้ แสดงดังสมการที่ (9) – (19) เช่นเดียวกับกับกรณี ที่ 1 โดยเงื่อนไขบังคับของการเลือกลักษณะของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลแสดงดังสมการ (2) ส่วน ของเงื่อนไขบังคับสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านคลังสินค้า และสถานีบรรจุและแยกสินค้า กล่อง ลาดกระบัง แสดงดังสมการที่ (10) และ (11) โดยเงื่อนไขบังคับสำหรับข้อจำกัดด้านรูปแบบ การขนส่งต่าง ๆ ที่ไม่สามารถเป็นไปได้แสดงดังสมการที่ (12) - (18) และสมการที่ (19) เป็นการ กำหนดคุณสมบัติของตัวแปรตัดสินใจ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับตัวแบบทาง คณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านความจุ ของ Lin et al. (2009) ที่ถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 2 พบว่า มีความเหมือนกันในส่วนของตัวแปรตัดสินใจสำหรับการขนส่งสินค้า และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีจุดประสงค์ในการหาต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด ซึ่งเหมือนกับฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ในกรณีที่ 3 และมีความแตกต่าง กันสำหรับเงื่อนไขบังคับในสมการที่ (3) ซึ่งเป็นการบังคับให้ยานพาหนะสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้น ส่วน งานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปจนถึงท่าเรือ ซึ่งไม่ได้พิจารณาใน ส่วนของยานพาหนะที่กลับไปสู่จุดเริ่มต้น

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นมานั้น ทำโดยการ หาผลเฉลยของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ 1 ตามขั้นตอนสำหรับการตรวจสอบความ ถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน กรณีที่ 1 นี้เป็นการหาลักษณะ และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เหมาะสมที่สุด โดยมีอัตราการ ปล่องก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด หลังจากตรวจสอบผลเฉลยที่ได้จากการประมวลผลของ ซอฟต์แวร์ Gurobi พบว่า ผลเฉลยที่ได้รับจากการหาผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นไม่ ละเมิดเงื่อนไขบังคับ และผลเฉลยของตัวแปรถูกต้องตามเงื่อนไขบังคับ จึงถือว่าแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานั้นถูกต้อง สามารถนำผลที่ได้มาอภิปรายหาทางเลือกต่อไปได้ ขั้นตอนการ ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับผลการประมวลเพื่อหาผลเฉลยของตัว แบบทางคณิตศาสตร์แสดงดังภาพ 41

```
Select C:\Users\ASUS\OneDrive - Naresuan University\GUROBI and AMPL\AMP\AMPLexe
ampl: model C1.mod;
ampl: data C1.dat;
ampl: option solver gurobi;
ampl: solve;
Gurobi 3.0.3: optimal solution; objective 2456178.326
ampl:
```

ภาพ 41 ผลการประมวลผลค่าที่เหมาะสมที่สุดตามฟังก์ชันจุดประสงค์

จากภาพ 41 ได้ผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้น หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงได้ตรวจสอบค่าตัวแปรตัดสินใจ พบว่า ค่าของตัวแปรตัดสินใจที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับ และไม่เกิดการละเมิดเงื่อนไขในส่วนของเส้นทางต่าง ๆ ที่ไม่สามารถเป็นไปได้ ดังแสดงในภาพ 42

AF [Factory1,*,*] (tr)	KerryPort	LeamchaPort	PPDPort	SeechangPort	:=	ampl: display TAU;
V1	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V1 0
V10	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V10 1
V11	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V11 0
V2	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V2 0
V3	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V3 0
V4	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V4 0
V5	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V5 0
V6	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V6 0
V7	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V7 0
V8	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V8 0
V9	0	0	0	0	:=	Factory1 ICD V9 0
;						;

ภาพ 42 ผลเฉลยของตัวแปรตัดสินใจ

การหาผลเฉลยและอภิปรายผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ถูกนำไปประมวลผลผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 กรณี คือ 1) กรณีหลักขณะและเส้นทาง การขนส่งของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด 2) กรณีหลักขณะและเส้นทาง การขนส่งของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด และพิจารณาความจุของคลังสินค้า 3) กรณีหลักขณะ และเส้นทาง การขนส่งของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งรวมถึงต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย หลังจากนั้นจึงนำผลเฉลยที่ได้มาวิเคราะห์ความไว เพื่อหากกลยุทธ์การขนส่ง

ผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับสถานการณ์ต่าง ๆ สำหรับ แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในตัวแบบจำลองทั้ง 3 กรณี มีดังต่อไปนี้

1. ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกนำมาใช้ในตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงดังต่อไปนี้

1.1 ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาล (S) สำหรับกรณีที่ 1 และ 3 มีค่าเท่ากับ 141,152.50 ตัน ส่วนกรณีที่ 2 เป็นกรณีที่พิจารณาถึงความจุของคลังเก็บสินค้า ซึ่งปัจจุบันคลังสินค้ามีความจุ 200,000 ตัน ดังนั้นปริมาณน้ำตาลที่ถูกส่งออกในปัจจุบันยังไม่เกินกว่าอัตราความจุของคลังเก็บสินค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเพิ่มปริมาณน้ำตาลในกรณีที่ 2 เป็น 282,305 ตัน อันเนื่องมาจากในอนาคตโรงงานน้ำตาลมีแผนที่จะสร้างโรงงานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลให้มากขึ้น ดังนั้นอัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจึงอาจเพิ่มขึ้นอีก 1 เท่าจากอัตราการผลิตเดิม ($S=141,152.50$, $S=282,305.00$)

1.2 ความจุของยานพาหนะ (CAP_v) ความจุของยานพาหนะจะถูกนำมาใช้ในกรณีที่ 1 และ 3 เนื่องจากรู้ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่แน่นอน กำหนดให้ความจุของยานพาหนะแต่ละชนิดดังตาราง 6

ตาราง 6 ข้อมูลความจุของยานพาหนะ (ตัน)

ความจุของยานพาหนะ (CAP_v) (ตัน)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	8.5	11	16	32	32	32	32	32	782	2900

1.3 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับทุกกรณีแสดงดังError! Reference source not found. สำหรับค่าของระยะทางสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลนี้ได้มาจากการวัดระยะห่างระหว่างโรงงานและท่าเรือจาก Google Map

ตาราง 7 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังท่าเรือด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร)

โรงงาน	ยานพาหนะชนิดที่	ท่าเรือ			
		แห่งที่ 1	แห่งที่ 2	แห่งที่ 3	แหลมฉบัง
	1-9	472	388	M	M
	10	M	M	M	M
	11	M	M	M	M

หมายเหตุ: M คือ จำนวนเต็มที่มีค่ามากที่สุด (Lager Positive Integer)

1.4 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังคลังเก็บสินค้า j ด้วยยานพาหนะชนิด v ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับทุกกรณี แสดงดังตาราง 8 สำหรับค่าของระยะทางสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลนี้ได้มาจากการวัดระยะห่างระหว่างโรงงานและคลังเก็บสินค้า จาก Google Map

ตาราง 8 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปคลังเก็บสินค้าด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร)

โรงงาน	ยานพาหนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า			
		จ. อ่างทอง	จ. อุดรธานี แห่งที่ 1	จ. อุดรธานี แห่งที่ 2	จ. อุดรธานี แห่งที่ 3
	1-9	259.00	302.00	305.00	308.00
	10	M	M	M	M
	11	M	M	M	M

หมายเหตุ: M คือ จำนวนเต็มที่มีค่ามากที่สุด (Lager Positive Integer)

1.5 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า j ไปยังท่าเรือ k ด้วยยานพาหนะชนิด v ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับทุกกรณี แสดงดังตาราง 9 สำหรับค่าของระยะทางสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลนี้ได้มาจากการวัดระยะห่างระหว่างคลังเก็บสินค้าและท่าเรือ จาก Google Map

ตาราง 9 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้าไปยังท่าเรือด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร)

ยานพาหนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า	ท่าเรือ			
		แห่งที่ 1	แห่งที่ 2	แห่งที่ 3	แหลมฉบัง
1-9	จ.อ่างทอง	214.00	127.00	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 1	179.00	86.00	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 2	181.00	88.00	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 3	184.00	91.00	M	M
10	จ.อ่างทอง	M	M	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 1	M	M	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 2	M	M	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 3	M	M	M	M
11	จ.อ่างทอง	262.76	176.17	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 1	192.76	106.00	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 2	194.76	108.00	M	M
	จ.อยุธยา แห่งที่ 3	197.76	111.00	M	M

หมายเหตุ: M คือ จำนวนเต็มที่มีค่ามากที่สุด (Lager Positive Integer)

1.6 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน i ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากลุ่ม ลาดกระบัง m ด้วยยานพาหนะชนิด v ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับทุกกรณี แสดงดังตาราง 10 สำหรับค่าของระยะทางสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลนี้ได้มาจากการวัดระยะห่างระหว่างโรงงานและสถานีบรรจุและแยกสินค้ากลุ่ม ลาดกระบัง จาก Google Map

ตาราง 10 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร)

ยานพาหนะชนิดที่										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
378	378	378	378	378	378	378	378	378	369	M

หมายเหตุ: M คือ จำนวนเต็มที่มีค่ามากที่สุด (Lager Positive Integer)

1.7 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง m ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง l ด้วยยานพาหนะชนิด v ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับทุกกรณี แสดงดังตาราง 11 ระยะทางสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ไปยังท่าเรือแหลมฉบังนี้ ได้รับข้อมูลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง (ICD)

ตาราง 11 ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังไปยังท่าเรือด้วยยานพาหนะชนิดต่าง ๆ (กิโลเมตร)

ยานพาหนะชนิดที่										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M	M	M	M	M	M	M	M	M	100	M

หมายเหตุ: M คือ จำนวนเต็มที่มีค่ามากที่สุด (Lager Positive Integer)

1.8 ความจุของคลังเก็บสินค้า (CAPWH) ความจุของคลังเก็บสินค้าจะถูกนำไปใช้ในกรณีที่ 2 ซึ่งเป็นการพิจารณาหาลักษณะและเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่คำนึงถึงความจุของคลังเก็บสินค้า โดยกำหนดให้ความจุของคลังเก็บสินค้ามีค่าเท่ากับ 200,000 ตัน (CAPWH = 200,000)

1.9 ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นไปยังยานพาหนะ (TFU) และค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลลงจากยานพาหนะ (TFD) กำหนดให้ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้น และลงมีค่าเท่ากับ 22 บาท/ตัน และ 36 บาท/ตัน (TFU=22,TFD=36) ถูกนำมาประมวลผลเฉลยของตัวแบบทาง

คณิตศาสตร์ในกรณีที่ 3 ซึ่งเป็นอัตราค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลลง และขึ้นสำหรับยานพาหนะชนิดที่ 1-9

1.10 ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า j ลงเรือโปะ กำหนดให้ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า ลงเรือโปะ เพื่อขนส่งไปยังท่าเรือดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า ลงเรือโปะ (บาท/ตัน)

คลังเก็บสินค้า			
จ.อ่างทอง	จ.อยุธยา แห่งที่ 1	จ.อยุธยา แห่งที่ 2	จ.อยุธยา แห่งที่ 3
185	180	180	180

1.11 ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านเรือโปะไปยังท่าเรือ k (TPB_k) กำหนดให้ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์ด้วยเรือโปะ ไปยังท่าเรือต่าง ๆ แสดงดังตาราง 13

ตาราง 13 ค่าขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านเรือโปะไปยังท่าเรือ (บาท/ตัน)

ท่าเรือ		
แห่งที่ 1	แห่งที่ 2	แห่งที่ 3
66	66	80

1.12 ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นเรือเดินสมุทร (TFM_k) คือ ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นเรือเดินสมุทรที่ท่าเรือต่าง ๆ ซึ่งถูกนำมาประมวลผลเฉลี่ยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ 3 ดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ค่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลขึ้นเรือเดินสมุทร (บาท/ตัน)

ยานพาหนะชนิดที่	ท่าเรือแห่งที่ 1	ท่าเรือแห่งที่ 2	ท่าเรือแห่งที่ 3
1 - 9	205	190	-
10	-	-	-
11	34	29	29

1.13 ค่าฝากสินค้าที่ทำเรือ (WHC_r) สำหรับกรณีที่ส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลตรงไปยังท่าเรื่อนั้น จะต้องเสียค่าฝากสินค้าที่ทำเรือ โดยกำหนดให้ค่าฝากสินค้าที่ทำเรือแห่งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 55 บาท/ตัน ค่าฝากสินค้าที่ทำเรือแห่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 24 บาท/ตัน

1.14 ค่าฝากสินค้าที่คลังเก็บสินค้า (WHC_c) สำหรับกรณีที่ส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านคลังสินค้า ก่อนจะส่งต่อไปยังท่าเรื่อนั้น จะต้องเสียค่าฝากผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่คลังสินค้า โดยกำหนดให้ค่าฝากสินค้าที่คลังเก็บสินค้า จังหวัดอ่างทอง มีค่าเท่ากับ 24 บาท/ตัน ค่าฝากสินค้าที่คลังเก็บสินค้า จังหวัดอยุธยาแห่งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 19 บาท/ตัน ค่าฝากสินค้าที่คลังเก็บสินค้า จังหวัดอยุธยาแห่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 19.2 บาท/ตัน ค่าฝากสินค้าที่คลังเก็บสินค้า จังหวัดอยุธยาแห่งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 19.4 บาท/ตัน

1.15 ค่าฝากสินค้าที่สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบ้ง (WHC_m) กรณีขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง ด้วยรูปแบบการขนส่งทางถนนนั้น จะต้องมีการฝากผลิตภัณฑ์น้ำตาลไว้ที่คลังเก็บสินค้าของสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบ้ง โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 15 บาท/ตัน

1.16 ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (FC) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 23.50 บาท

1.17 ค่าสัมประสิทธิ์ในการคิดค่าจ้างเหมาขนพาหนะ (Inc) เป็นค่าสำหรับการคิดสูตรในการจ้างเหมาขนพาหนะชนิดที่ 1-9 โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.4

1.18 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งด้วยรถไฟ ประกอบไปด้วย ความจุของตู้คอนเทนเนอร์ในกรณีที่ส่งด้วยรถไฟ ($CAPCT$) กำหนดให้เท่ากับ 21.7 ตัน/ตู้ ค่านำผลิตภัณฑ์น้ำตาลเข้าสู่ตู้คอนเทนเนอร์ (Intake) (TFI) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 477.4 บาท/ตู้ อัตราค่าระวางของรถไฟ (Fr) กำหนดให้เท่ากับ 5,130 บาท/ตู้ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์สำหรับขนส่งผลิตภัณฑ์ (CTN) มีค่าเท่ากับ 6,516 ตู้ ค่าบริการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยรถไฟจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบ้งด้วยรถไฟ ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง (TPC) 1,850 บาท/ตู้

1.19 จำนวนรอบในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของยานพาหนะชนิด v (R_v) มีค่าเท่ากับ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกขนส่งหารด้วยความจุของยานพาหนะ $\left(\frac{R_v}{CAP_v}\right)$ กำหนดให้มีค่าดังตาราง 15

ตาราง 15 จำนวนรอบที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของยานพาหนะชนิดต่าง ๆ

ยานพาหนะชนิดที่	จำนวนรอบ
1	20,165
2	16,607
3	12,833

ยานพาหนะชนิดที่	จำนวนรอบ
4	8,823
5	4,412
6	4,412
7	4,412
8	4,412
9	4,412
10	181
11	49

1.19 ต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CEX) การคิดต้นทุนของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีนี้ ได้ยึดตามประเทศสิงคโปร์ ที่มีการเก็บภาษีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 5 ดอลลาร์สิงคโปร์/ตันคาร์บอน ดังนั้นจึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 115.75 บาท/ตันคาร์บอน (เมื่ออัตราแลกเปลี่ยน 1 ดอลลาร์สิงคโปร์มีค่าเท่ากับ 23.15 บาท ณ วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2562)

2. ผลเฉลยที่ได้จากตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การประมวลเพื่อหาผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้ ดำเนินการด้วยคอมพิวเตอร์พกพาที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel(R) Core(TM) i7-4510U CPU@ 2.00 GHz หน่วยความจำหลัก (RAM) 4.00 GB และระบบปฏิบัติการ (OS) Microsoft Window 8.1 Enterprise 64 bit Operating system โดยการสร้างแบบจำลองให้อยู่ในรูปของภาษาคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาแอมเพิล (A Mathematical Programming Language: AMPL) และประมวลผลเฉลยของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Gurobi

ผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้จะแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ 1) กรณีการหาลักษณะการขนส่ง และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด 2) การหาลักษณะการขนส่ง และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดด้านความจุคลังสินค้า และ 3) การหาลักษณะการขนส่ง และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งรวมถึงต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย สำหรับผลเฉลยทั้ง 3 กรณี แสดงดังต่อไปนี้

2.1 ผลเฉลยของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีที่ 1

จากการประมวลของโปรแกรมสำหรับการหาผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ในกรณีที่ 1 พบว่าผลเฉลยของฟังก์ชันจุดประสงค์จากโปรแกรม มีค่าเท่ากับ 2,456,178.326 kgCO₂e (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์) หรือประมาณ 2,456.178 tonCO₂e (ตันคาร์บอนไดออกไซด์) สำหรับ ตาราง 16 – ตาราง 20 เป็นตารางแสดงผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจสำหรับกรณีที่ 1 นี้ เห็นได้ชัดเจนว่าตัวแปรตัดสินใจสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ตรงไปยังท่าเรือมีค่าเท่ากับ 0 ดังแสดงในตาราง 16 แสดงว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานตรงไปยังท่าเรือ ไม่ส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด

ตาราง 16 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ C_{ikv} ที่ได้รับจากโปรแกรมในกรณีที่ 1

ยานพาหนะชนิดที่	ท่าเรือ			แหลมฉบัง
	แห่งที่ 1	แห่งที่ 2	แห่งที่ 3	
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0

สำหรับผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจในลักษณะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปเก็บยังคลังเก็บสินค้าแสดงดังตาราง 17 พบว่า ตัวแปรตัดสินใจในกรณีขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปยังคลังเก็บสินค้าทุกกรณีมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า รูปแบบของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังคลังเก็บสินค้าในกรณีนี้ไม่ส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด

ตาราง 17 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ μ_{ij} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 1

โรงงาน	ยานพาหนะชนิด ที่	คลังเก็บสินค้า			
		จ.อ่างทอง	จ. อุรุยา แห่งที่ 1	จ. อุรุยา แห่งที่ 2	จ. อุรุยา แห่งที่ 3
	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	0	0	0
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	11	0	0	0	0

สำหรับผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจในกรณีขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า ไปยังท่าเรือแสดงดังตาราง 18 พบว่า ตัวแปรตัดสินใจในกรณีขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า ไปยังท่าเรือ มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านคลังสินค้า ไม่ส่งผลให้อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังคลังเก็บสินค้าไม่ส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด ดังนั้น การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้า ไปยังท่าเรือ จึงไม่ใช่เส้นทางที่ถูกเลือกใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล

ตาราง 18 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ρ_{jkv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 1

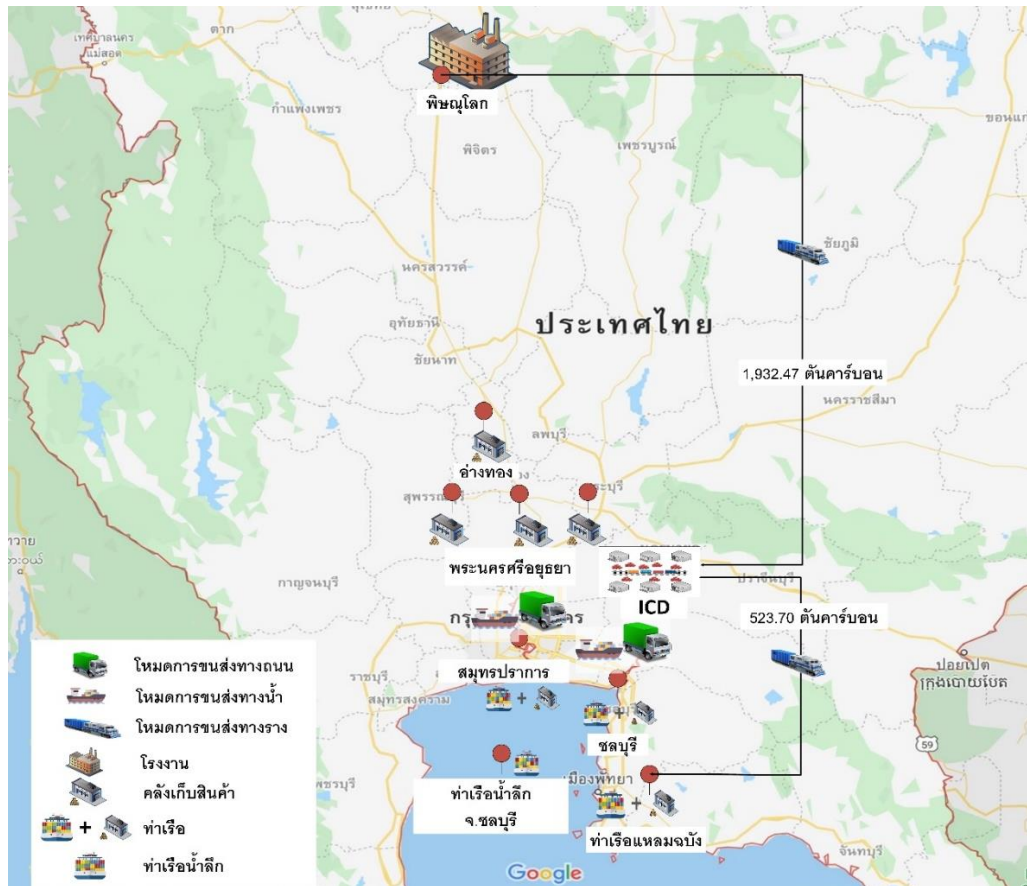
สถานพนาชนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า				ท่าเรือ
	จ.อ่างทอง	จ. ออยุธยาแห่งที่ 1	จ. ออยุธยาแห่งที่ 2	จ. ออยุธยาแห่งที่ 3	
1	0	0	0	0	ท่าเรือแห่งที่ 1
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	ท่าเรือแห่งที่ 2
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	ท่าเรือแห่งที่ 3
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	

จากตาราง 20 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมในกรณีการขนส่งจากสถานีบรรจุกและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง ด้วยยานพาหนะชนิดที่ 10 หรือ รถไฟ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์จากสถานีบรรจุกและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ

ตาราง 20 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ W_{mlv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 1

		ยานพาหนะชนิดที่									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	

ผลเฉลยที่ได้รับจากการประมวลผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ 1 คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุกและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังด้วยยานพาหนะชนิดที่ 10 หรือ รถไฟ หลังจากจึงส่งจากสถานีบรรจุกและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังไปยังท่าเรือแหลมฉบัง ด้วยยานพาหนะชนิดที่ 10 หรือ รถไฟ ส่งผลให้ฟังก์ชันจุดประสงค์มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้น การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะนี้ คือ การใช้รูปแบบการขนส่งทางราง โดยรถไฟเข้ามาใช้สำหรับขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังท่าเรือ เพื่อทำการส่งออกไปยังต่างประเทศส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุดดังแสดงในภาพ 43

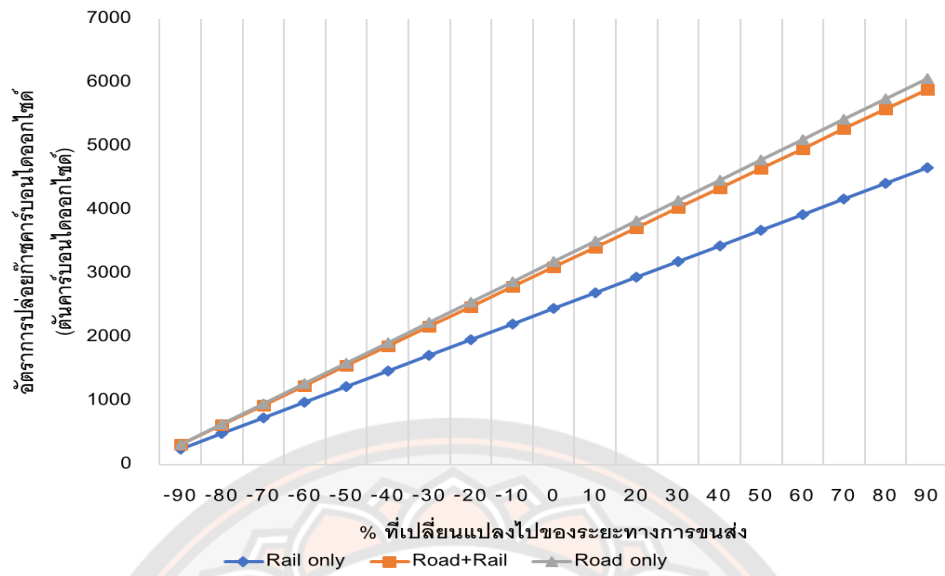


ภาพ 43 แผนภาพผลลัพธ์โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกสำหรับกรณีที่ 1

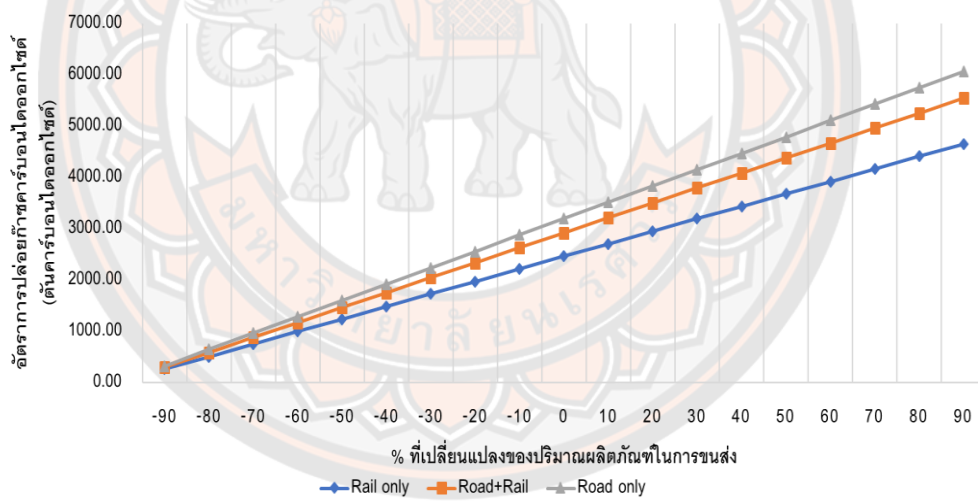
จากภาพ 43 เป็นภาพแสดงการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด สำหรับกรณีที่ 1 นี้ โดยจะเห็นได้ว่าผลเฉลยที่ได้เป็นการขนส่งผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการขนส่งด้วยรถไฟ คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังด้วยรถไฟ หลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยัง ท่าเรือแหลมฉบัง ด้วยรถไฟ ดังนั้น เพื่อให้เกิดทางเลือกที่หลากหลายสำหรับการวางแผนการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ผู้วิจัยจึงได้นำผลเฉลยจากการประมวลผลของโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ ที่สามารถเป็นไปได้ สำหรับรูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล และทำการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ดังแสดงในตาราง 21 โดยเป็นการวิเคราะห์ความไวจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยัง ICD และจาก ICD ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลในการขนส่ง ดังแสดงใน ภาพ 44 และภาพ 45

ตาราง 21 ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง และปริมาณในการขนส่ง

% การเปลี่ยนแปลง ด้านระยะทาง	อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์)			% การเปลี่ยนแปลง ด้านปริมาณการขนส่ง	อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์)		
	Rail only	Road + Rail	Road only		Rail only	Road + Rail	Road only
-90	245.62	310.10	319.18	-90	257.83	294.79	319.76
-80	491.24	620.20	638.36	-80	502.09	586.15	638.79
-70	736.85	930.29	957.54	-70	746.35	877.51	957.83
-60	982.47	1240.39	1276.72	-60	990.61	1168.87	1276.87
-50	1228.09	1550.49	1595.90	-50	1234.87	1460.23	1595.90
-40	1473.71	1860.59	1915.08	-40	1479.14	1751.58	1914.94
-30	1719.32	2170.69	2234.26	-30	1723.40	2042.94	2233.97
-20	1964.94	2480.78	2553.44	-20	1967.66	2334.30	2553.01
-10	2210.56	2790.88	2872.62	-10	2211.92	2625.66	2872.04
0	2456.18	3100.98	3191.80	0	2456.18	2917.56	3191.80
10	2701.80	3411.08	3510.98	10	2700.44	3208.92	3510.84
20	2947.41	3721.18	3830.16	20	2944.70	3500.27	3829.87
30	3193.03	4031.27	4149.34	30	3188.96	3791.63	4148.91
40	3438.65	4341.37	4468.52	40	3433.22	4082.99	4467.95
50	3684.27	4651.47	4787.70	50	3677.48	4374.35	4786.98
60	3929.89	4961.57	5106.89	60	3921.74	4665.71	5106.02
70	4175.50	5271.67	5426.07	70	4166.00	4957.06	5425.05
80	4421.12	5581.76	5745.25	80	4410.26	5248.42	5744.09
90	4666.74	5891.86	6064.43	90	4654.53	5539.78	6063.12



ภาพ 44 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง กรณีที่ 1



ภาพ 45 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณในการขนส่ง กรณีที่ 1

จากภาพ 44 และภาพ 45 พบว่า เมื่อระยะทาง และปริมาณการขนส่งผลิตภัณฑ์ น้ำตาลเปลี่ยนแปลงไปโดยมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นนั้น การขนส่งผ่านทางรูปแบบการขนส่งทางราง เพียงรูปแบบเดียว (Rail Only) มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด รองลงมา คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ใช้รูปแบบการส่งหลายรูปแบบ (Multimodal Transportation) หรือ การขนส่งทางรูปแบบการขนส่งทางถนนร่วมกับรูปแบบการขนส่งทางราง ที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าการใช้รูปแบบการขนส่งทางถนนเพียงรูปแบบเดียว

2.2 ผลเฉลยของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีที่ 2

สำหรับกรณีนี้ 2 นี้ เป็นการพิจารณาถึงความจุของคลังเก็บสินค้า แต่เนื่องจากในปัจจุบันคลังเก็บสินค้าสามารถรองรับปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำตาลได้ 200,000 ตัน ซึ่งในปัจจุบันคลังเก็บสินค้ายังสามารถรองรับปริมาณน้ำตาลได้ แต่ในอนาคตโรงงานมีแผนในการสร้างโรงงาน เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลได้มากกว่าเดิม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ถูกพิจารณาในกรณีนี้ให้มากกว่าการดำเนินการผลิตของปัจจุบัน 2 เท่า ดังนั้นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำมาพิจารณาในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 282,305 ตัน โดยจากการประมวลผลของโปรแกรมสำหรับการหาผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในกรณีนี้ 2 พบว่า ผลเฉลยของฟังก์ชันจุดประสงค์จากโปรแกรมมีค่าเท่ากับ 4,898,838.665 kgCO₂e (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์) หรือประมาณ 4,898.838 tonCO₂e (ตันคาร์บอนไดออกไซด์) สำหรับตาราง 22- ตาราง 26 แสดงผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจในกรณีนี้

จากตาราง 22 พบว่า ค่าของตัวแปรที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมมีค่าเท่ากับ 0 แสดงให้เห็นว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปยังท่าเรือโดยตรง ไม่ใช่ลักษณะและเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด โดยคำนึงถึงความจุของคลังเก็บสินค้า

ตาราง 22 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ Q_{ikv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีนี้ 2

	ยานพาหนะชนิดที่	ท่าเรือ			แหลมฉบัง
		แห่งที่ 1	แห่งที่ 2	แห่งที่ 3	
โรงงาน	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	0	0	0
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	11	0	0	0	0

จากตาราง 23 พบว่า ค่าของตัวแปร ในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยังคลังเก็บสินค้า มีค่าเท่ากับ 0 ทุกกรณี แสดงว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในรูปแบบนี้ไม่ส่งผลให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ต่ำที่สุด หรือไม่ใช่รูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด

ตาราง 23 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ R_{ij} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2

โรงงาน	ยานพาหนะ ชนิดที่	คลังเก็บสินค้า			
		จ. อ่างทอง	จ. อุทัย แห่งที่ 1	จ. อุทัย แห่งที่ 2	จ. อุทัย แห่งที่ 3
	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	0	0	0
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	11	0	0	0	0

จากตาราง 24 พบว่า ตัวแปรในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากคลังเก็บสินค้าไปยังท่าเรือมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในรูปแบบนี้ไม่ส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องเงื่อนไขบังคับสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลผ่านคลังเก็บสินค้า

ตาราง 24 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ S_{jkv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2

ยานพาหนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า				ท่าเรือ
	จ.อ่างทอง	จ. อโยธยาแห่ง ที่ 1	จ. อโยธยาแห่ง ที่ 2	จ. อโยธยาแห่ง ที่ 3	
1	0	0	0	0	แห่งที่ 1
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	แห่งที่ 2
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	

ยานพาหนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า				ท่าเรือ
	จ.อ่างทอง	จ. อุตยาแห่ง ที่ 1	จ. อุตยาแห่ง ที่ 2	จ. อุตยาแห่ง ที่ 3	
1	0	0	0	0	แห่งที่ 3
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	แหลมฉบัง
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	

จากตาราง 25 จะเห็นได้ว่าตัวแปรตัดสินใจในลักษณะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยัง สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้งด้วยรถไฟที่มีค่าเท่ากับ 282,305 ตัน หมายความว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในปริมาณ 282,305 ตัน จากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง ถูกเลือกให้เป็นลักษณะ และเส้นทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังต่างประเทศ ที่ส่งผลให้อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำที่สุด

ตาราง 25 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ T_{mv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2

ยานพาหนะชนิดที่										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	282,305	0

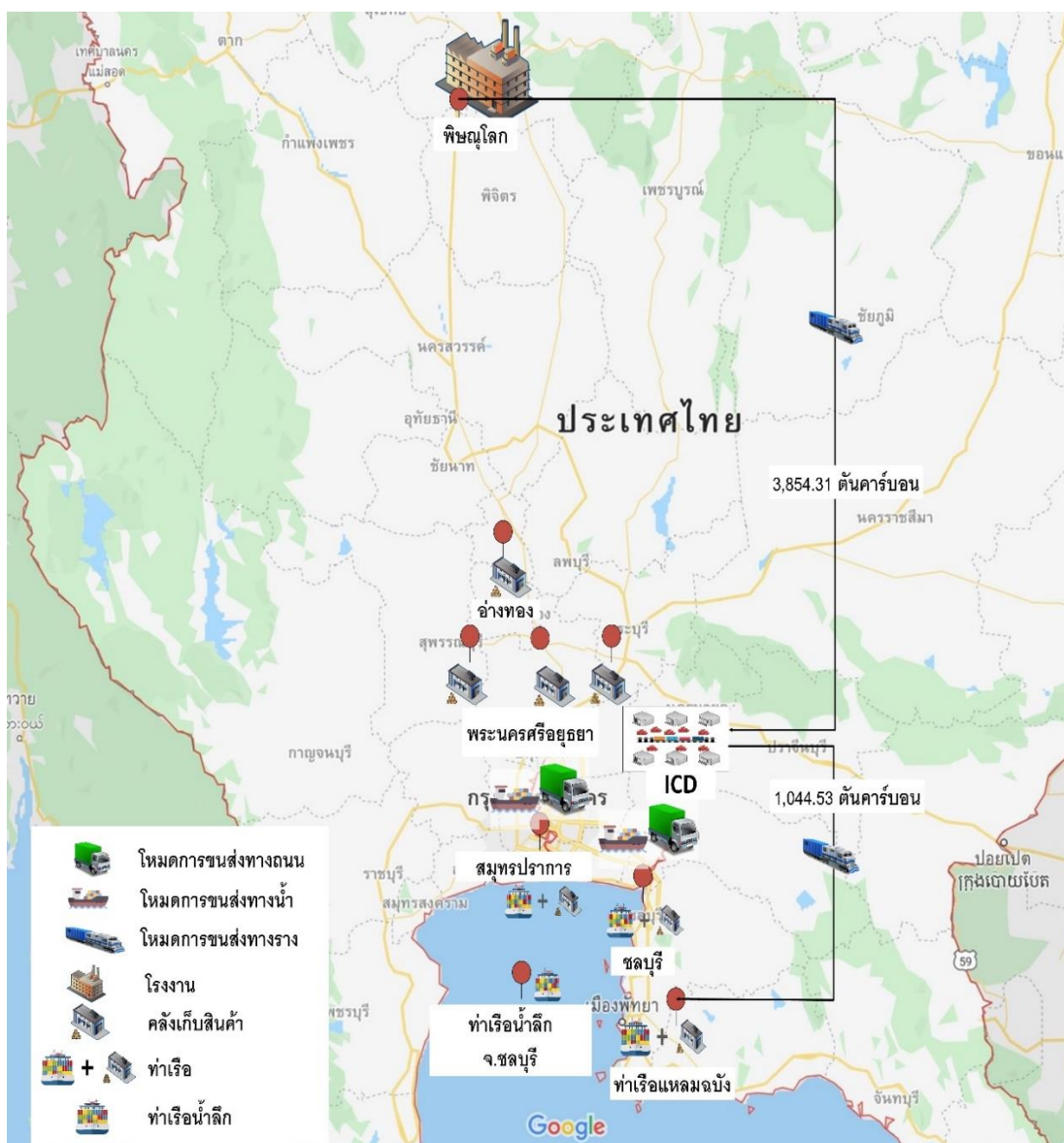
จากตาราง 26 พบว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง ด้วยรถไฟเท่านั้นที่มีค่าเท่ากับ 282,305 ตัน ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับที่ว่าหาก สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบ้งถูกเลือกให้เป็นเส้นทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์น้ำตาลจะต้องออกจาก สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องลาดกระบ้งในปริมาณที่เท่ากับปริมาณเดิมที่ถูกนำเข้ามา และส่งต่อไปยังท่าเรือแหลมฉบัง

ตาราง 26 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ U_{mv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 2

ยานพาหนะชนิดที่										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	282,305	0

สำหรับผลเฉลยของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ 2 ที่รูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลโดยพิจารณาถึงความจุของคลังเก็บสินค้า สรุปได้ว่า ผลเฉลยที่ได้รับจากการประมวลผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ 2 นี้ คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในปริมาณ 282,305 ตัน จากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง ด้วยยานพาหนะชนิดที่ 10 หรือรถไฟ หลังจากนั้นจึงถูกส่งต่อไปยังท่าเรือแหลมฉบัง ด้วยยานพาหนะชนิดที่ 10 หรือรถไฟในปริมาณ 282,305 ตัน โดยผลเฉลยของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีนี้แสดงดังภาพ 46 แสดงโลจิสติกส์ขาออกของโรงงานน้ำตาลในกรณีที่ 2

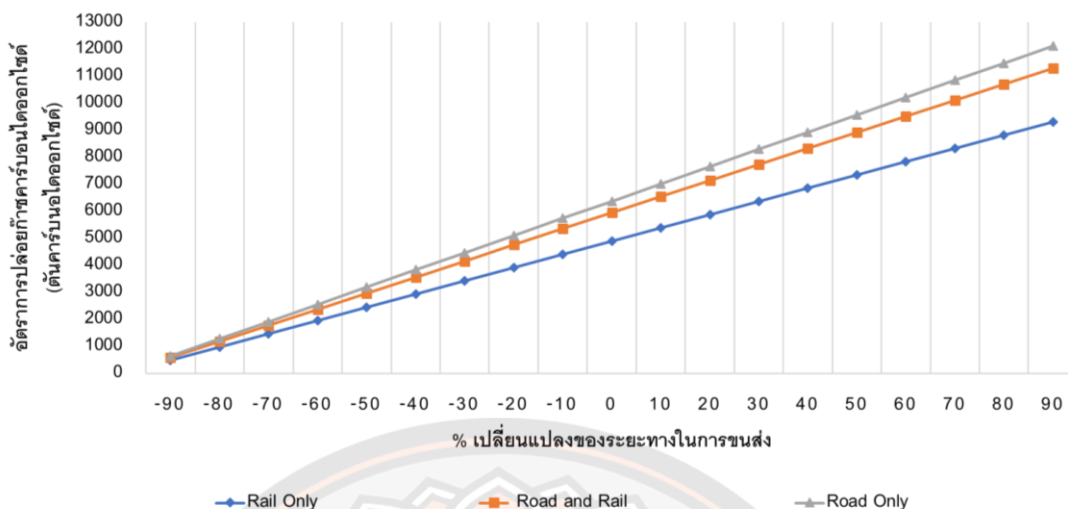
สำหรับทางเลือกในการวางแผนการขนส่งผลิตภัณฑ์ในกรณีนี้ ซึ่งเป็นการพิจารณาถึงความจุของคลังสินค้า ผู้วิจัยจึงได้จัดทำกราฟวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงไปในด้านระยะทาง สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงานไปยัง สถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง (ICD) และจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง (ICD) ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง โดยแสดงดังตาราง 27 และภาพ 47



ภาพ 46 แผนภาพผลลัพธ์โครงข่ายโลจิสติกส์ขาออกสำหรับกรณีที่ 2

ตาราง 27 ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง

%	อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์)		
	Rail Only	Road and Rail	Road Only
-90	489.88	594.79	638.22
-80	979.77	1189.58	1276.44
-70	1469.65	1784.37	1914.65
-60	1959.54	2379.16	2552.87
-50	2449.42	2973.96	3191.09
-40	2939.30	3568.75	3829.31
-30	3429.19	4163.54	4467.53
-20	3919.07	4758.33	5105.75
-10	4408.95	5353.12	5743.96
0	4898.84	5947.91	6382.18
10	5388.72	6542.70	7020.40
20	5878.61	7137.49	7658.62
30	6368.49	7732.29	8296.84
40	6858.37	8327.08	8935.05
50	7348.26	8921.87	9573.27
60	7838.14	9516.66	10211.49
70	8328.03	10111.45	10849.71
80	8817.91	10706.24	11487.93
90	9307.79	11301.03	12126.15



ภาพ 47 วิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณในการขนส่ง กรณีที่ 2

จากตาราง 27 และภาพ 47 อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลสำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 282,305 ตัน พบว่า เมื่อระยะทางที่ลดลง การขนส่งแต่ละรูปแบบมีอัตราการปล่อยก๊าซที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลทางรางเพียงรูปแบบเดียวส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำที่สุด แต่การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ใช้รูปแบบการขนส่งทางถนนเพียงอย่างเดียว เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซสูงกว่าการขนส่งในรูปแบบอื่น ๆ

2.3 ผลเฉลยของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีที่ 3

จากการประมวลของโปรแกรมสำหรับการหาผลเฉลยของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ 3 เป็นการหาลักษณะ และเส้นทางของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล โดยมีต้นทุนต่ำที่สุดสำหรับต้นทุนโดยรวมนั้น ประกอบไปด้วย ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการขนถ่าย ต้นทุนคลังสินค้า และต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าผลเฉลยของฟังก์ชันจุดประสงค์จากโปรแกรม มีค่าเท่ากับ 48,876,721.04 บาท สำหรับผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจในกรณีนี้ แสดงผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจในกรณีนี้

จากตาราง 28 พบว่า ตัวแปรตัดสินใจในลักษณะของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงาน ไปยังท่าเรือโดยตรงนั้น มีค่าเท่ากับ 0 ทุกตัวแปร แสดงว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปยังท่าเรือโดยตรง ไม่สามารถส่งผลให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ในกรณีนี้มีค่าต่ำ

ที่สุด ดังนั้นการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลโดยส่งตรงไปยังท่าเรือ จึงไม่ใช่เส้นทางที่ถูกเลือกในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลสำหรับกรณีนี้

ตาราง 28 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ C_{ikv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3

ยานพาหนะชนิดที่	ท่าเรือ			
	แห่งที่ 1	แห่งที่ 2	แห่งที่ 3	แหลมฉบัง
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0

จากตาราง 29 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจในลักษณะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปเก็บยังคลังเก็บสินค้า พบว่ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปเก็บที่คลังสินค้าก่อนที่จะส่งต่อไปยังท่าเรือ ไม่ทำให้เกิดต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุดสำหรับกรณีนี้

ตาราง 29 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ μ_{ij} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3

ยานพาหนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า			
	จ.อ่างทอง	จ. อุทัย แห่งที่ 1	จ. อุทัย แห่งที่ 2	จ. อุทัย แห่งที่ 3
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0

ตาราง 30 พบว่ามีผลลัพธ์ของตัวแปรที่มีค่าเท่ากับ 0 เช่นเดียวกันกับตาราง 29 เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล จากโรงงาน ไปยังคลังเก็บสินค้าไม่ได้ถูกเลือกให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ออกจากคลังเก็บสินค้า ไปยังท่าเรือ จึงไม่เกิดขึ้น

ตาราง 30 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ρ_{jkv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3

ยานพาหนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า				ท่าเรือ
	จ.อ่างทอง	จ. อโยธยาแห่งที่ 1	จ. อโยธยาแห่งที่ 2	จ. อโยธยาแห่งที่ 3	
1	0	0	0	0	ท่าเรือ แห่งที่ 1
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	ท่าเรือ แห่งที่ 2
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	

ยานพาหนะชนิดที่	คลังเก็บสินค้า				ท่าเรือ
	จ.อ่างทอง	จ.อยุธยาแห่ง ที่ 1	จ.อยุธยาแห่ง ที่ 2	จ.อยุธยาแห่ง ที่ 3	
1	0	0	0	0	แห่งที่ 3
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	แหลมฉบัง
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	

จากตาราง 31 พบว่า ตัวแปรตัดสินใจในกรณีที่ขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรถไฟ มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าการขนส่งในลักษณะส่งด้วยรถไฟทำให้เกิดต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุด

ตาราง 31 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ σ_{imv} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3

ยานพาหนะชนิดที่										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

เมื่อการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล จากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ถูกเลือกให้เป็นลักษณะ และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ให้ต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุด ดังนั้น ตัวแปรตัดสินใจในกรณีการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ไปยังท่าเรือแหลมฉบัง จึงมีค่าเท่ากับ 1 ดังตาราง 32

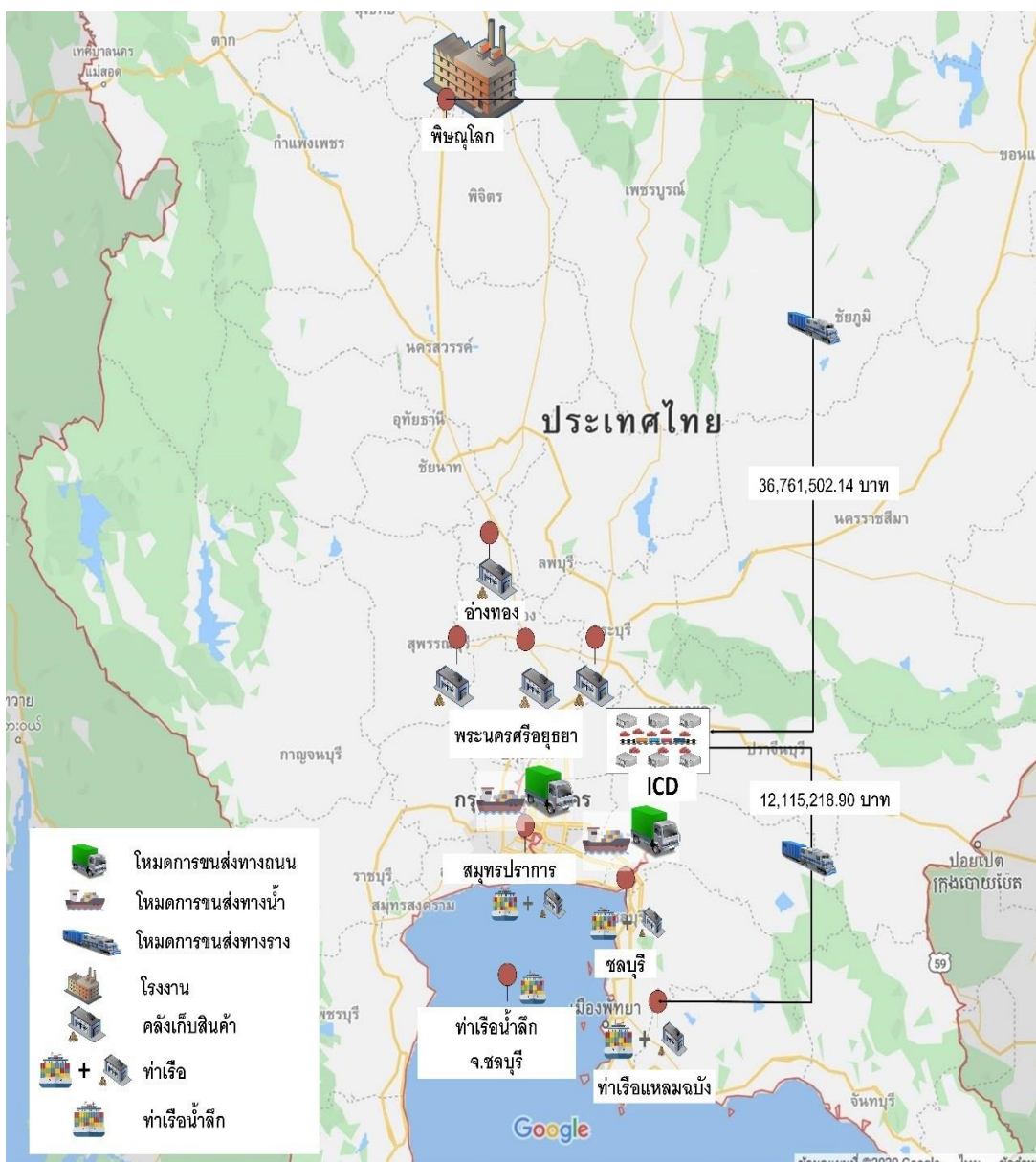
ตาราง 32 ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจ ω_{mh} ที่ได้รับจากโปรแกรมสำหรับกรณีที่ 3

ยานพาหนะชนิดที่										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

สรุปได้ว่า การประมวลผลของโปรแกรมในกรณีที่ 3 ซึ่งเป็นการหาลักษณะ และเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ไปยังต่างประเทศ โดยมีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ที่รวมถึงต้นทุนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลเฉลยที่ได้ คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ออกจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรถไฟ แล้วหลังจากนั้น จึงส่งออกจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรถไฟไปยังท่าเรือแหลมฉบัง ผลเฉลยของเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์ในกรณีนี้ แสดงดังภาพ 48

เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการวางแผนเชิงกลยุทธ์สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล และให้เกิดความหลากหลายมากขึ้น ผู้วิจัยจึงรวบรวมผลเฉลยที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม 5 อันดับแรกที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ดังแสดงใน Error! Reference source not found. ซึ่งจะเห็นได้ว่า 5 อันดับแรกที่มีต้นทุนต่ำที่สุด เป็นการขนส่งด้วยรถไฟ โดยส่ง

จากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้ง ด้วยรถไฟ แล้วหลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังท่าเรือแหลมฉบัง หรือขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบ้งด้วยรถบรรทุก หลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังท่าเรือแหลมฉบัง เพื่อให้เกิดความหลากหลายในการเลือกสำหรับการวางกลยุทธ์การขนส่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ความไว เพื่อดูผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงด้านระยะทางในการขนส่ง โดยผลการวิเคราะห์ความไวแสดงดังตาราง 34



ภาพ 48 แผนภาพผลลัพธ์โครงข่ายโลจิสติกส์น้ำตาลออกสำหรับกรณีที่ 3

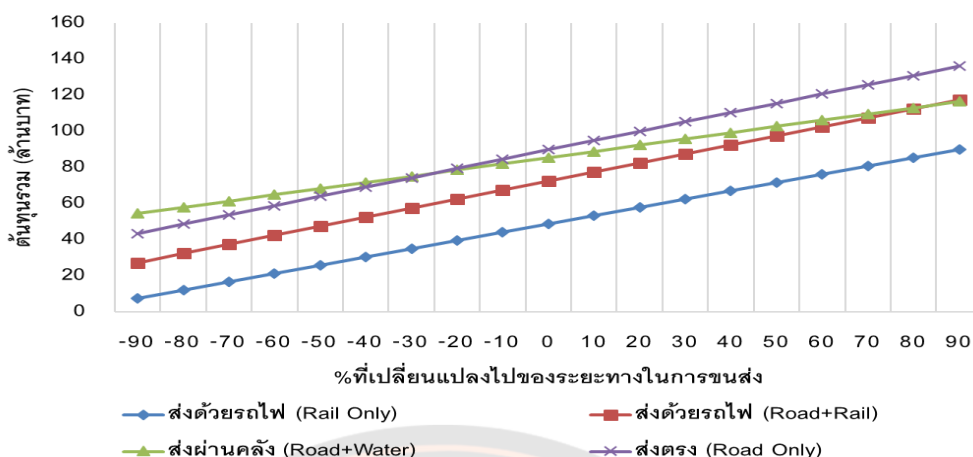
ตาราง 33 ทางเลือกสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล กรณีที่ 3

อันดับ	จาก	ไปยัง	ยานพาหนะ ชนิดที่	รูปแบบการขนส่ง	ลักษณะของการขนส่ง	Single/Multimodal	ต้นทุนโดยรวม (ล้านบาท)
1	โรงงาน ICD	ICD ท่าเรือแหลมฉบัง	10	ราง	ส่งด้วยรถไฟ	Single	48.877
2	โรงงาน ICD	ICD ท่าเรือแหลมฉบัง	6 10	ถนน ราง	ส่งด้วยรถไฟ	Multimodal	72.584
3	โรงงาน ICD	ICD ท่าเรือแหลมฉบัง	5 10	ถนน ราง	ส่งด้วยรถไฟ	Multimodal	72.602
4	โรงงาน ICD	ICD ท่าเรือแหลมฉบัง	7 10	ถนน ราง	ส่งด้วยรถไฟ	Multimodal	72.607
5	โรงงาน ICD	ICD ท่าเรือแหลมฉบัง	8 10	ถนน ราง	ส่งด้วยรถไฟ	Multimodal	72.608
ปัจจุบัน	โรงงาน คลัง อ่างทอง	คลัง อ่างทอง ท่าเรือแห่งที่ 2	6 11	ถนน น้ำ	ส่งผ่านคลัง	Multimodal	85.598
ปัจจุบัน	โรงงาน	ท่าเรือแห่งที่ 2	6	ถนน	ส่งตรง	Single	89.885

ตาราง 34 ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง

%	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)			
	ส่งด้วยรถไฟ (Rail Only)	ส่งด้วยรถไฟ (Road+Rail)	ส่งผ่านคลัง (Road+Water)	ส่งตรง (Road Only)
-90	7.687	27.381	54.547	43.543
-80	12.264	32.404	57.997	48.692
-70	16.841	37.427	61.448	53.841
-60	21.417	42.449	64.898	58.990
-50	25.994	47.472	68.348	64.139
-40	30.570	52.495	71.798	69.288
-30	35.147	57.517	75.248	74.437
-20	39.724	62.540	78.698	79.587
-10	44.300	67.563	82.148	84.736
0	48.877	72.584	85.598	89.885
10	53.453	77.608	89.048	95.034
20	58.030	82.631	92.499	100.183
30	62.607	87.654	95.949	105.332
40	67.183	92.676	99.399	110.481
50	71.760	97.699	102.849	115.631
60	76.336	102.722	106.299	120.780
70	80.913	107.744	109.749	125.929
80	85.490	112.767	113.199	131.078
90	90.066	117.790	116.649	136.227

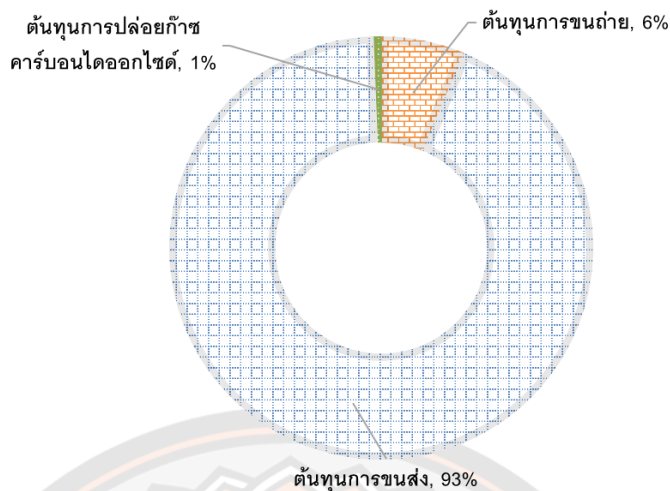
จากตาราง 34 ผู้วิจัยได้นำต้นทุนรวมที่เกิดขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงของด้านระยะทาง มาพลอตกราฟ เพื่อให้สามารถเห็นถึงความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพ 49



ภาพ 49 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง กรณีที่ 3

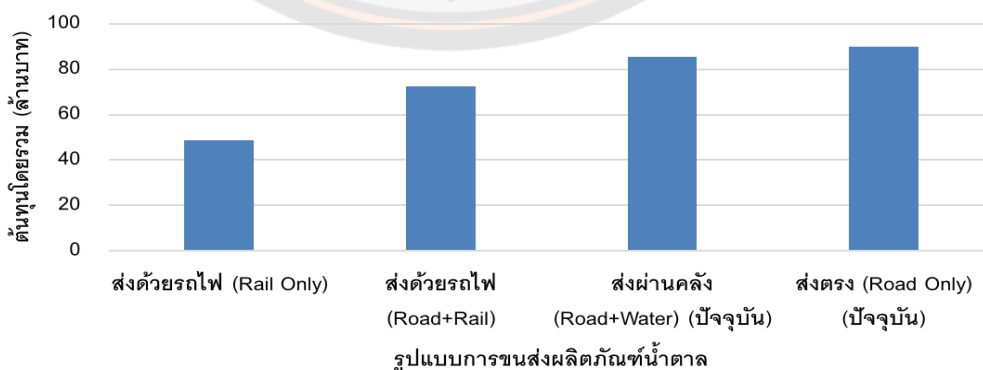
จากภาพ 49 การวิเคราะห์ความไวโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของระยะทางในการขนส่ง กรณีที่ 3 พบว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์ในลักษณะของการขนส่งด้วยรถไฟด้วยรูปแบบเดียว (Rail Only) เป็นรูปแบบของการขนส่งที่ทำให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ไม่ว่าจะการเปลี่ยนแปลงไปของระยะทางจะเพิ่มมากขึ้น หรือลดลง การขนส่งลักษณะนี้ทำให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด สำหรับการขนส่งด้วยรถไฟ ร่วมกับการใช้รูปแบบการขนส่งทางถนน (Road+Rail) ถือเป็นลักษณะที่ทำให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุดที่อยู่อันดับที่ 2 ส่วนอันดับที่ 3 เป็นการขนส่งผ่านคลังเก็บสินค้าสินค้า ด้วยรูปแบบการขนส่งทางถนน ร่วมกับการขนส่งทางน้ำ (Road+Water) จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของระยะทางที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมของการขนส่งในลักษณะนี้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับการขนส่งด้วยรถไฟร่วมกับการขนส่งทางถนน (Road+Rail) ส่วนการขนส่งตรงไปที่คลังสินค้าที่ใช้รูปแบบการขนส่งทางถนนเพียงรูปแบบเดียว (Road Only) พบว่า เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะของการขนส่งด้วยรถไฟ (Rail Only) ก่อให้เกิดต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ประมาณร้อยละ 1 ของต้นทุนโดยรวมที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งคิดเป็นต้นทุนประมาณ 286,121.2 บาท ดังแสดงในภาพ 50

เนื่องจากผลเฉลยที่ได้รับจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 กรณี พบว่า การขนส่งด้วยรถไฟจากโรงงานไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง และส่งไปยังท่าเรือแหลมฉบัง ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทั้ง 3 กรณี ดังนั้น ผู้วิจัยจึงไม่ได้นำเสนอแนวโน้มด้านความจุของคลังเก็บสินค้าพิจารณา ร่วมกับต้นทุนการขนส่งโดยรวมเป็นกรณีที่ 4



ภาพ 50 สัดส่วนของต้นทุนที่เกิดขึ้น

จากการเปรียบเทียบต้นทุนโดยรวมที่เกิดขึ้นจากการขนส่งด้วยรูปแบบการขนส่งทางรางเพียงรูปแบบเดียวซึ่งเป็นผลแลยที่ได้รับจากการประมวลผลของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้น พบว่า ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยการขนส่งทางรางต่ำกว่าต้นทุนโดยรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่โรงงานกรณีศึกษาได้ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ การขนส่งผ่านคลัง โดยใช้การรูปแบบการขนส่งทางถนนร่วมกับรูปแบบการขนส่งทางน้ำถึงร้อยละ 42.90 และต่ำกว่าการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลโดยตรงที่ใช้รูปแบบการขนส่งทางถนนเพียงรูปแบบเดียวถึงร้อยละ 45.62 โดยภาพ 51 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนโดยรวมของรูปแบบในการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในแบบต่าง ๆ



ภาพ 51 เปรียบเทียบต้นทุนโดยรวมของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในแต่ละรูปแบบ

บทที่ 5

บทสรุป

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึง ผลสรุปของงานวิจัย และข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ เพื่อนำเสนอประเด็นงานวิจัยในอนาคต เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่มีใจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหานี้สามารถนำไปต่อยอดในอนาคตได้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนเชิงกลยุทธ์สำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากโรงงาน ไปสู่ลูกค้าที่อยู่ในต่างประเทศที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมุ่งสู่การขนส่งอย่างยั่งยืน (Sustainable Transportation) โดยแบ่งการพิจารณาหารูปแบบสำหรับการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลเพื่อการส่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 รูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด โดยผลเฉลยจากการประมวลผลของโปรแกรม พบว่า การขนส่งในรูปแบบส่งด้วยรถไฟ หมายถึง การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลออกจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรถไฟ แล้วส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบังไปยังท่าเรือแหลมฉบัง เพื่อขนถ่ายผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังเรือเดินสมุทรสำหรับการขนส่งไปยังประเทศปลายทาง รูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่มีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด

กรณีที่ 2 รูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ต่ำที่สุดเช่นเดียวกับกรณีที่ 1 แต่ในกรณีนี้จะเพิ่มข้อจำกัดด้านความจุของคลังสินค้าเข้ามาร่วมในการพิจารณาด้วย ซึ่งผลเฉลยของการประมวลผลของโปรแกรม คือ การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในปริมาณ 82,305 ตัน จากโรงงาน ไปยังคลังเก็บสินค้า จ.อ่างทอง ด้วยรถบรรทุก (ยานพาหนะชนิดที่ 6) หลังจากนั้นจึงส่งจากคลังเก็บสินค้าอ่างทอง ไปยังท่าเรือแห่งที่ 2 ในปริมาณ 82,305 ตัน ด้วยรถบรรทุก (ยานพาหนะชนิดที่ 6) และปริมาณน้ำตาล 200,000 ตัน ถูกส่งจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่อง ลาดกระบัง ด้วยรถไฟ (ยานพาหนะชนิดที่ 10) หลังจากนั้นจึงถูกส่งต่อไปยังท่าเรือแหลมฉบัง ในปริมาณ 200,000 ตัน ด้วยรถไฟ

กรณีที่ 3 รูปแบบการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งรวมถึงต้นทุนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย โดยการประมวลโปรแกรม พบว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลในลักษณะของการขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาล ออกจากโรงงาน ไปยังสถานีบรรจุและแยกสินค้า กล่องลาดกระบัง ด้วยรถไฟ หลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยังท่าเรือแหลมฉบังด้วยรถไฟ คือ ลักษณะ และเส้นทางในการขนส่งที่มีผลทำให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจสำหรับการวางแผนการขนส่งในงานวิจัยนี้ เป็นการตัดสินใจสำหรับโลจิสติกส์ขาออกเพียงเท่านั้น หากมีการนำไปบูรณาการร่วมกับโลจิสติกส์ขาเข้าของโรงงานกรณีศึกษา อาจจะทำให้งานวิจัยนี้มีสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
2. การพัฒนาต่อยอดงานวิจัยนี้ในอนาคต อาจทำได้โดยการบูรณาการร่วมกับปัญหาอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น การบูรณาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมร่วมกับการจัดตารางเรือเดินสมุทรสำหรับขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปยังประเทศปลายทาง
3. ในงานวิจัยนี้เป็นการพิจารณาประเภทยานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมเท่านั้น หากในอนาคตมีการเพิ่มประเภทยานพาหนะที่ใช้พลังงานทางเลือกเข้ามาด้วย จะทำให้งานวิจัยนี้เกิดความซับซ้อนของปัญหามากยิ่งขึ้น
4. การพิจารณาถึงความจุของคลังเก็บสินค้าในงานวิจัยนี้ เป็นการพิจารณาความจุของคลังสินค้าที่มีขนาดเท่ากันในทุกคลังสินค้า ดังนั้น ในอนาคตการพิจารณาถึงความจุของคลังสินค้าที่ไม่เท่ากันอาจทำให้เกิดความซับซ้อนของโจทย์ปัญหามากยิ่งขึ้น
5. สำหรับผลเฉลยที่ได้รับจากการประมวลผล พบว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยรถไฟ ตั้งแต่โรงงานไปยังท่าเรือ ส่งผลให้เกิด อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งปัจจุบันการขนส่งสินค้าด้วยรถไฟเพียงอย่างเดียวเป็นไปได้ยาก ดังนั้น การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยรูปแบบการขนส่งทางถนนร่วมกับการขนส่งทางราง จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ และสามารถดำเนินงานได้ง่ายกว่า การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยรูปแบบการขนส่งทางรางเพียงรูปแบบเดียว
6. งานวิจัยนี้เป็นการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาเส้นทางขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลของโรงงานกรณีศึกษาเพียงโรงงานเดียวเท่านั้น หากในอนาคตมีโอกาสในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานน้ำตาลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง จะทำให้โจทย์งานวิจัยนี้ซับซ้อนขึ้น และเป็นประโยชน์ต่อโรงงานอื่น ๆ ที่ต้องการพัฒนารูปแบบการขนส่งให้เป็นอย่างยั่งยืน

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- ภูพงษ์ พงษ์เจริญ, ภูวนาท พิภพเกตุ, นฤมล สีพลไกร, ศรีสัจจา วิทยศักดิ์, และโพธิ์งาม สมกุล. (2561). *โครงการพัฒนารูปแบบการขนส่งที่เพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันสำหรับผลิตภัณฑ์น้ำตาล* (รายงานผลการวิจัย). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วาริรัตน์ เพชรสีช่วง. (2559). *แนวโน้มอุตสาหกรรมน้ำตาล*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). *สถานการณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์*. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2562, จาก [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). *สถิติการส่งออก*. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2562, จาก http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2561&E_YEAR=2563&PRODUCT_GROUP=5254&PRODUCT_ID=3836&wf_search=&WF_SEARCH=Y
- สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2557). *สถานบริการสาธารณสุขกับการประเมิน Carbon Footprint (Vol. 3)*. กรุงเทพฯ: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข
- สิรินทรเทพ เต่าประยูร. (2554). *การจัดทำรายงานสิ่งแวดล้อมและประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ในกลุ่มองค์ความรู้ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (Producer). (2557). *สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจก/ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก*. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2562, จาก <http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=7&s2=16>
- อภิชัย ฤทธิวิรุฬห์. (2555). *กำหนดการเชิงเส้นและกำหนดการจำนวนเต็มและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร*. กรุงเทพฯ: อักษรโสภณ.
- Abad, H. K. E., Vahdani, B., Sharifi, M., & Etebari, F. (2018). A bi-objective model for pickup and delivery pollution-routing problem with integration and consolidation shipments in cross-docking system. *Journal of Cleaner Production*, 193, 784-801. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.046

- Abu Al Hla, Y., Othman, M., & Saleh, Y. (2019). Optimising an eco-friendly vehicle routing problem model using regular and occasional drivers integrated with driver behaviour control. *Journal of Cleaner Production*, 234, 984-1001. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.156
- Adiba, E. B. E. I., Ahmed, E. H. A., & Youssef, B. (2013a). A genetic algorithm for optimizing the amount of emissions of greenhouse GAZ for capacitated vehicle routing problem in green transportation. *International Journal of Soft Computing*, 8(6), 406-415. doi: 10.3923/ijscmp.2013.406-415
- Adiba, E. B. E. I., Elhassania, M., & Ahemd, E. H. A. (2013b). A hybrid ant colony system for green capacitated vehicle routing problem in sustainbale transport. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 54(2), 198-208.
- Adiba, E. L. B. E. I., Elhassania, M., & Ahemd, E. A. (2016). A hybrid metaheuristic to minimize the carbon dioxide emissions and the total distance for the vehicle routing problem. *International Journal of Soft Computing*, 11(6), 409-417. doi: 10.3923/ijscmp.2016.409.417
- Affi, M., Derbel, H., & Jarboui, B. (2018). Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(2), 195-204. doi: 10.5267/j.ijiec.2017.6.004
- Afshar-Bakeshloo, M., Mehrabi, A., Safari, H., Maleki, M., & Jolai, F. (2016). A green vehicle routing problem with customer satisfaction criteria. *Journal of Industrial Engineering International*, 12(4), 529-544. doi: 10.1007/s40092-016-0163-9
- Alinaghian, M., & Naderipour, M. (2016). A novel comprehensive macroscopic model for time-dependent vehicle routing problem with multi-alternative graph to reduce fuel consumption: A case study. *Computers and Industrial Engineering*, 99, 210-222. doi: 10.1016/j.cie.2016.07.029
- Almira, Mawengkang, H., Suwilo, S., & Tulus. (2019). Green open vehicle routing and scheduling problem considering the time spent in traffic congestion. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7(6), 1452-1455.

- Andelmin, J., & Bartolini, E. (2017). An exact algorithm for the green vehicle routing problem. *Transportation Science*, 51(4), 1288-1303. doi: 10.1287/trsc.2016.0734
- Andelmin, J., & Bartolini, E. (2019). A multi-start local search heuristic for the green vehicle routing problem based on a multigraph reformulation. *Computers and Operations Research*, 109, 43-63. doi: 10.1016/j.cor.2019.04.018
- Arroyo, J. L., Felipe, Á., Ortuño, M. T., & Tirado, G. (2019). Effectiveness of carbon pricing policies for promoting urban freight electrification: analysis of last mile delivery in Madrid. *Central European Journal of Operations Research*. doi: 10.1007/s10100-019-00627-y
- Basso, R., Kulcsár, B., Egardt, B., Lindroth, P., & Sanchez-Diaz, I. (2019). Energy consumption estimation integrated into the electric vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69, 141-167. doi: 10.1016/j.trd.2019.01.006
- Behnke, M., & Kirschstein, T. (2017). The impact of path selection on GHG emissions in city logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 106, 320-336. doi: 10.1016/j.tre.2017.08.011
- Bektas, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250. doi: 10.1016/j.trb.2011.02.004
- Bravo, M., Rojas, L. P., & Parada, V. (2019). An evolutionary algorithm for the multi-objective pick-up and delivery pollution-routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 26(1), 302-317. doi: 10.1111/itor.12376
- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., & Pisacane, O. (2016). A new mathematical programming model for the green vehicle routing problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 55, 89-92. doi: 10.1016/j.endm.2016.10.023
- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., & Pisacane, O. (2019a). A path-based solution approach for the green vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 103, 109-122. doi: 10.1016/j.cor.2018.10.019

- Bruglieri, M., Mancini, S., Pezzella, F., Pisacane, O., & Suraci, S. (2017). A three-phase matheuristic for the time-effective electric vehicle routing problem with partial recharges. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 58, 95-102. doi: 10.1016/j.endm.2017.03.013
- Bruglieri, M., Mancini, S., & Pisacane, O. (2019b). The green vehicle routing problem with capacitated alternative fuel stations. *Computers and Operations Research*, 112, 1-12. doi: 10.1016/j.cor.2019.07.017
- Bruglieri, M., Mancini, S., & Pisacane, O. (2019c). More efficient formulations and valid inequalities for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 105, 283-296. doi: 10.1016/j.trc.2019.05.040
- Camm, J. D., Magazine, M. J., Kuppusamy, S., & Martin, K. (2017). The demand weighted vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 262(1), 151-162. doi: 10.1016/j.ejor.2017.03.033
- Chabot, T., Bouchard, F., Legault-Michaud, A., Renaud, J., & Coelho, L. C. (2018). Service level, cost and environmental optimization of collaborative transportation. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 110, 1-14. doi: 10.1016/j.tre.2017.11.008
- Chand, P., & Mohanty, J. R. (2015). Environmental multi objective uncertain transport trail model using variant of predator prey evolutionary strategy. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 8(1), 21-51. doi: 10.1504/IJADS.2015.066556
- Chiang, W. C., Li, Y., Shang, J., & Urban, T. L. (2019). Impact of drone delivery on sustainability and cost: realizing the UAV potential through vehicle routing optimization. *Applied Energy*, 242, 1164-1175. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.117
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply chain management: strategy, planning, and operation*: Pearson Boston, MA.
- Christopher, M. (2013). *Logistics and Supply Chain Management ePub eBook*. UK: Pearson.

- Cimen, M., & Soysal, M. (2017). Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 82-98. doi: 10.1016/j.trd.2017.04.016
- Cirovic, G., Pamucar, D., & Bozanic, D. (2014). Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. *Expert Systems with Applications*, 41(9), 4245-4258. doi: 10.1016/j.eswa.2014.01.005
- Coelho, B. N., Coelho, V. N., Coelho, I. M., Ochi, L. S., Haghazadeh, K. R., Zuidema, D., . . . da Costa, A. R. (2017). A multi-objective green UAV routing problem. *Computers and Operations Research*, 88, 306-315. doi: 10.1016/j.cor.2017.04.011
- Coelho, I. M., Munhoz, P. L. A., Ochi, L. S., Souza, M. J. F., Bentes, C., & Farias, R. (2016). An integrated CPU-GPU heuristic inspired on variable neighbourhood search for the single vehicle routing problem with deliveries and selective pickups. *International Journal of Production Research*, 54(4), 945-962. doi: 10.1080/00207543.2015.1035811
- Cooke, K. L., & Halsey, E. (1966). The shortest route through a network with time-dependent internodal transit times. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 14(3), 493-498. doi: 10.1016/0022-247X(66)90009-6
- Costa, L., Lust, T., Kramer, R., & Subramanian, A. (2018). A two-phase Pareto local search heuristic for the bi-objective pollution-routing problem. *Networks*, 72(3), 311-336.
- Council of Supply Chain Management Professionals (Producer). (2010). CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary. Retrieved January 20, 2019, from https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921

- Croce, A., Musolino, G., Rindone, C., & Vitetta, A. (2018). From green energy to green logistic: a joint analysis of energy, accessibility and mobility. *Advances in Modelling and Analysis A*, 55(3), 121-127. doi: 10.18280/ama_a.550304
- Dabia, S., Demir, E., & Van Woenselc, T. (2017). An exact approach for a variant of the pollution-routing problem. *Transportation Science*, 51(2), 607-628. doi: 10.1287/trsc.2015.0651
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91. doi: 10.1287/mnsc.6.1.80
- de Oliveira da Costa, P. R., Mauceri, S., Carroll, P., & Pallonetto, F. (2018). A genetic algorithm for a green vehicle routing problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 64, 65-74. doi: 10.1016/j.endm.2018.01.008
- Dell'Amico, M., Righini, G., & Salani, M. (2006). A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection. *Transportation Science*, 40(2), 235-247.
- Díaz-Parra, O., Ruiz-Vanoye, J. A., Bernábe Loranca, B., Fuentes-Penna, A., & Barrera-Cámara, R. A. (2014). A survey of transportation problems. *Journal of Applied Mathematics*, 2014.
- Dondo, R. G., & Mendez, C. A. (2016). Operational planning of forward and reverse logistic activities on multi-echelon supply-chain networks. *Computers & Chemical Engineering*, 88, 170-184. doi: 10.1016/j.compchemeng.2016.02.017
- Dukkanci, O., Kara, B. Y., & Bektaş, T. (2019). The green location-routing problem. *Computers and Operations Research*, 105, 187-202. doi: 10.1016/j.cor.2019.01.011
- Ehmke, J. F., Campbell, A. M., & Thomas, B. W. (2018). Optimizing for total costs in vehicle routing in urban areas. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 242-265. doi: 10.1016/j.tre.2018.06.008
- Elgesem, A. S., Skogen, E. S., Wang, X., & Fagerholt, K. (2018). A traveling salesman problem with pickups and deliveries and stochastic travel times: An application from chemical shipping. *European Journal of Operational Research*, 269(3), 844-859. doi: 10.1016/j.ejor.2018.02.023

- Ene, S., Kucukoglu, I., Aksoy, A., & Ozturk, N. (2016). A hybrid metaheuristic algorithm for the green vehicle routing problem with a heterogeneous fleet. *International Journal of Vehicle Design*, 71(1-4), 75-102. doi: 10.1504/ijvd.2016.078771
- Erdem, M., & Koc, C. (2019). Analysis of electric vehicles in home health care routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1471-1483. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.236
- Erdogan, S., & Miller-Hooks, E. (2012). A Green Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.08.001>
- Eshtehadi, R., Fathian, M., & Demir, E. (2017). Robust solutions to the pollution-routing problem with demand and travel time uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 351-363. doi: 10.1016/j.trd.2017.01.003
- Eskandarpour, M., Ouelhadj, D., Hatami, S., Juan, A. A., & Khosravi, B. (2019). Enhanced multi-directional local search for the bi-objective heterogeneous vehicle routing problem with multiple driving ranges. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 479-491. doi: 10.1016/j.ejor.2019.02.048
- Fallah, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Alinaghian, M., & Salamatbakhsh-Varjovi, A. (2019a). A robust approach for a green periodic competitive VRP under uncertainty: De and PSO algorithms. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 36(6), 5213-5225. doi: 10.3233/JIFS-179323
- Fallah, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Salamatbakhsh-Varjovi, A., & Alinaghian, M. (2019b). A green competitive vehicle routing problem under uncertainty solved by an improved differential evolution algorithm. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 32(7), 976-981. doi: 10.5829/ije.2019.32.07a.10
- Faraji, F., & Afshar-Nadjafi, B. (2018). A bi-objective green location-routing model and solving problem using a hybrid metaheuristic algorithm. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 30(3), 366-385. doi: 10.1504/IJLSM.2018.10013875

- Felipe, A., Ortuno, M. T., Righini, G., & Tirado, G. (2014). A heuristic approach for the green vehicle routing problem with multiple technologies and partial recharges. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 71, 111-128. doi: 10.1016/j.tre.2014.09.003
- Ferro, G., Paolucci, M., & Robba, M. (2018). An optimization model for electrical vehicles routing with time of use energy pricing and partial recharging. *IFAC-PapersOnLine*, 51(9), 212-217. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.07.035
- Fourer, R., Gay, D., & Kernighan, B. (2002). *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming* (Vol. 36).
- Franceschetti, A., Demir, E., Honhon, D., Van Woensel, T., Laporte, G., & Stobbe, M. (2017). A metaheuristic for the time-dependent pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 259(3), 972-991. doi: 10.1016/j.ejor.2016.11.026
- Fukasawa, R., He, Q., Santos, F., & Song, Y. (2018). A joint vehicle routing and speed optimization problem. *INFORMS Journal on Computing*, 30(4), 694-709. doi: 10.1287/ijoc.2018.0810
- Fukasawa, R., He, Q., & Song, Y. J. (2016). A branch-cut-and-price algorithm for the energy minimization vehicle routing problem. *Transportation Science*, 50(1), 23-34. doi: 10.1287/trsc.2015.0593
- Gajanand, M. S., & Narendran, T. T. (2013). Green route planning to reduce the environmental impact of distribution. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16(5), 410-432. doi: 10.1080/13675567.2013.831400
- Gao, F., & Zhao, Q. (2018). A hybrid simulated annealing algorithm for load varying green vehicle routing problem with stochastic demands. *Journal of Computers (Taiwan)*, 29(6), 96-110. doi: 10.3966/199115992018122906009
- Gen, M., Lin, L., & Jo, J. B. (2009). Hybrid genetic algorithm for designing logistics network, VRP and AGV Problems. In M. Gen, D. Green, O. Katai, B. McKay, A. Namatame, R. A. Sarker & B. T. Zhang (Eds.), *Intelligent and Evolutionary Systems* (Vol. 187, pp. 123-139). N.P.: n.p.

- Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1), 3-12. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00050-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00050-X)
- Ghannadpour, S. F., & Zarrabi, A. (2019). Multi-objective heterogeneous vehicle routing and scheduling problem with energy minimizing. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 728-747. doi: 10.1016/j.swevo.2018.08.012
- Ghezavati, V. R., Sahihi, A., & Barzegar, A. (2018). Using an the intelligent self-modifier of probability of section approach to study the revenue influence of the pricing scheme of recyclable items in a green vehicle routing problem. *Simulation*, 94(4), 359-372. doi: 10.1177/0037549717714332
- Gifford, T., Opicka, T., Sinha, A., Vanden Brink, D., Gifford, A., & Randall, R. (2018). Dispatch optimization in bulk tanker transport operations. *Interfaces*, 48(5), 403-421. doi: 10.1287/inte.2018.0956
- Goeke, D. (2019). Granular tabu search for the pickup and delivery problem with time windows and electric vehicles. *European Journal of Operational Research*, 278(3), 821-836. doi: 10.1016/j.ejor.2019.05.010
- Goeke, D., & Schneider, M. (2015). Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles. *European Journal of Operational Research*, 245(1), 81-99. doi: 10.1016/j.ejor.2015.01.049
- Granada-Echeverri, M., Cubides, L. C., & Bustamante, J. O. (2020). The electric vehicle routing problem with backhuls. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(1), 131-152. doi: 10.5267/j.ijiec.2019.6.001
- Guo, Q., & Guo, H. J. (2019). A framework for end-of-life photovoltaics distribution routing optimization. *Sustainable Environment Research*, 29(1-8). doi: 10.1186/s42834-019-0005-8
- Hamad, K., Shanableh, A., & Sahnoon, I. (2018). Multi-objective, risk-based approach for safe and sustainable vehicle routing. *Advances in Transportation Studies*, 45, 5-20. doi: 10.4399/978255166091

- Han, S., Ozer, B., Alioglu, B., Polat, O., & Aktin, A. T. (2019). A mathematical model for the delivery routing problem via drones. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences-Pamukkale Universitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 89-97. doi: 10.5505/pajes.2018.19052
- Hassanzadeh, A., & Rasti-Barzoki, M. (2017). Minimizing total resource consumption and total tardiness penalty in a resource allocation supply chain scheduling and vehicle routing problem. *Applied Soft Computing Journal*, 58, 307-323. doi: 10.1016/j.asoc.2017.05.010
- He, J., Huang, Y., & Yan, W. (2015). Yard crane scheduling in a container terminal for the trade-off between efficiency and energy consumption. *Advanced Engineering Informatics*, 29(1), 59-75. doi: 10.1016/j.aei.2014.09.003
- Henke, T., Speranza, M. G., & Wascher, G. (2019). A branch-and-cut algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with flexible compartment sizes. *Annals of Operations Research*, 275(2), 321-338. doi: 10.1007/s10479-018-2938-4
- Heshmati, S., Verstichel, J., Esprit, E., & Vanden Berghe, G. (2019). Alternative e-commerce delivery policies: a case study concerning the effects on carbon emissions. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 8(3), 217-248. doi: 10.1007/s13676-018-0120-4
- Hollis, B. L., & Green, P. J. (2012). Real-life vehicle routing with time windows for visual attractiveness and operational robustness. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 29(4), 1250017.1250011-1250017.1250029. doi: 10.1142/s0217595912500170
- Hooshmand, F., & MirHassani, S. A. (2019). Time dependent green VRP with alternative fuel powered vehicles. *Energy Systems*, 10(3), 721-756. doi: 10.1007/s12667-018-0283-y
- Hu, L., Zhong, Y., Hao, W., Moghimi, B., Huang, J., Zhang, X., & Du, R. (2018). Optimal route algorithm considering traffic light and energy consumption. *IEEE Access*, 6, 59695-59704. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2871843

- Idrus, Z., Ku-Mahamud, K. R., & Benjamin, A. M. (2017). Waste collection vehicle routing problem benchmark datasets and case studies: A review. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95(5), 1048-1062.
- Jabali, O., Van Woensel, T., & de Kok, A. G. (2012). Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing. *Production and Operations Management*, 21(6), 1060-1074. doi: 10.1111/j.1937-5956.2012.01338.x
- Jabbarpour, M. R., Noor, R. M., & Khokhar, R. H. (2015). Green vehicle traffic routing system using ant-based algorithm. *Journal of Network and Computer Applications*, 58, 294-308. doi: 10.1016/j.jnca.2015.08.003
- Jabir, E., Panicker, V. V., & Sridharan, R. (2017). Design and development of a hybrid ant colony-variable neighbourhood search algorithm for a multi-depot green vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, 422-457. doi: 10.1016/j.trd.2017.09.003
- Jemai, J., Zekri, M., & Mellouli, K. (2017). Multi-objective genetic algorithms for the green vehicle routing problem: a comparative study. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95(23), 6597-6607.
- Jovanovic, A. D., Pamucar, D. S., & Pejicic-Tarle, S. (2014). Green vehicle routing in urban zones - a neuro-fuzzy approach. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3189-3203. doi: 10.1016/j.eswa.2013.11.015
- Juan, A. A., Goentzel, J., & Bektas, T. (2014). Routing fleets with multiple driving ranges: Is it possible to use greener fleet configurations? *Applied Soft Computing Journal*, 21, 84-94. doi: 10.1016/j.asoc.2014.03.012
- Kancharla, S. R., & Ramadurai, G. (2018). Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. *Sustainable Cities and Society*, 40, 214-221. doi: 10.1016/j.scs.2018.04.016
- Kazemian, I., Rabbani, M., & Farrokhi-Asl, H. (2018). A way to optimally solve a green time-dependent vehicle routing problem with time windows. *Computational and Applied Mathematics*, 37(3), 2766-2783. doi: 10.1007/s40314-017-0477-2

- Khalafi, S., & Zarei, M. (2019). Design of a green supply chain network by considering the possibility of storage and location-routing problem under uncertainty. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 34(2), 253-268. doi: 10.1504/IJLSM.2019.102216
- Kim, H., Kang, J. G., & Kim, W. (2014). An application of capacitated vehicle routing problem to reverse logistics of disposal food waste. *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, 21(1), 46-52.
- Koc, C., & Karaoglan, I. (2016). The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach. *Applied Soft Computing*, 39, 154-164. doi: 10.1016/j.asoc.2015.10.064
- Kong, L. L., Li, H., Luo, H. B., Ding, L. Y., & Zhang, X. L. (2018). Sustainable performance of just-in-time (JIT) management in time-dependent batch delivery scheduling of precast construction. *Journal of Cleaner Production*, 193, 684-701. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.037
- Kopfer, H. W., Schonberger, J., & Kopfer, H. (2014). Reducing greenhouse gas emissions of a heterogeneous vehicle fleet. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1-2), 221-248. doi: 10.1007/s10696-013-9180-9
- Koyuncu, I., & Yavuz, M. (2019). Duplicating nodes or arcs in green vehicle routing: A computational comparison of two formulations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 122, 605-623. doi: 10.1016/j.tre.2018.11.003
- Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T., & Cabral, L. D. A. F. (2015). A matheuristic approach for the pollution-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 243(2), 523-539. doi: 10.1016/j.ejor.2014.12.009
- Kumar, M., & Kumar, D. (2018). Green logistics decision support system for blood distribution in time window. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 31(3), 420-447. doi: 10.1504/IJLSM.2018.095824
- Kumar, V. N. S. A., Kumar, V., Brady, M., Garza-Reyes, J. A., & Simpson, M. (2017). Resolving forward-reverse logistics multi-period model using evolutionary algorithms. *International Journal of Production Economics*, 183, 458-469. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.026>

- Lee, S., & Prabhu, V. V. (2016). Just-in-time delivery for green fleets: A feedback control approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 229-245. doi: 10.1016/j.trd.2016.04.005
- Leggieri, V., & Haouari, M. (2017). A practical solution approach for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 104, 97-112. doi: 10.1016/j.tre.2017.06.003
- Li-Ying, W., & Yuan-Bin, S. (2015). Multiple charging station location-routing problem with time window of electric vehicle. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(5), 190-201.
- Li, X., & Sun, J. (2018). Signal multiobjective optimization for urban traffic network. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(11), 3529-3537. doi: 10.1109/TITS.2017.2787103
- Li, Y., Lim, M. K., & Tseng, M. L. (2019a). A green vehicle routing model based on modified particle swarm optimization for cold chain logistics. *Industrial Management and Data Systems*, 119(3), 473-494. doi: 10.1108/IMDS-07-2018-0314
- Li, Y., Soleimani, H., & Zohal, M. (2019b). An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1161-1172. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.185
- Li, Y. L., & Chung, S. H. (2019). Disaster relief routing under uncertainty: a robust optimization approach. *Ise Transactions*, 51(8), 869-886. doi: 10.1080/24725854.2018.1450540
- Liao, T. Y. (2017). On-line vehicle routing problems for carbon emissions reduction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(12), 1047-1063. doi: 10.1111/mice.12308
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014a). Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4, Part 1), 1118-1138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.107>

- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., & Ng, T. W. (2014b). A Genetic Algorithm-based optimization model for supporting green transportation operations. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3284-3296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.11.032>
- Lin, S.-W., Lee, Z.-J., Ying, K.-C., & Lee, C.-Y. (2009). Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 36(2, Part 1), 1505-1512. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.060>
- Liu, X. H., Shan, M. Y., Zhang, R. L., & Zhang, L. H. (2018). Green vehicle routing optimization based on carbon emission and multiobjective hybrid quantum immune algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1-9. doi: [10.1155/2018/8961505](https://doi.org/10.1155/2018/8961505)
- Lu, J. W., Chang, N. B., Liao, L., & Liao, M. Y. (2017). Smart and green urban solid waste collection systems: advances, challenges, and perspectives. *IEEE Systems Journal*, 11(4), 2804-2817. doi: [10.1109/jsyst.2015.2469544](https://doi.org/10.1109/jsyst.2015.2469544)
- Macrina, G., Di Puglia Pugliese, L., Guerriero, F., & Laporte, G. (2019a). The green mixed fleet vehicle routing problem with partial battery recharging and time windows. *Computers and Operations Research*, 101, 183-199. doi: [10.1016/j.cor.2018.07.012](https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.07.012)
- Macrina, G., Laporte, G., Guerriero, F., & Di Puglia Pugliese, L. (2019b). An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time windows. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 971-982. doi: [10.1016/j.ejor.2019.01.067](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.067)
- Madankumar, S., & Rajendran, C. (2018). Mathematical models for green vehicle routing problems with pickup and delivery: A case of semiconductor supply chain. *Computers and Operations Research*, 89, 183-192. doi: [10.1016/j.cor.2016.03.013](https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.03.013)
- Maden, W., Eglese, R., & Black, D. (2010). Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), 515-522. doi: [10.1057/jors.2009.116](https://doi.org/10.1057/jors.2009.116)

- Mahmoudi, M., Song, Y., Miller, H. J., & Zhou, X. S. (2019). Accessibility with time and resource constraints: Computing hyper-prisms for sustainable transportation planning. *Computers Environment and Urban Systems*, 73, 171-183. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.002
- Majidi, S., Hosseini-Motlagh, S. M., Yaghoubi, S., & Jokar, A. (2017). Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup-delivery and time windows. *RAIRO - Operations Research*, 51(4), 1151-1176. doi: 10.1051/ro/2017007
- Mancini, S. (2017). The hybrid vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, 1-12. doi: 10.1016/j.trc.2017.02.004
- Mehlawat, M. K., Gupta, P., Khaitan, A., & Pedrycz, W. (2020). A Hybrid Intelligent Approach to Integrated Fuzzy Multiple Depot Capacitated Green Vehicle Routing Problem with Split Delivery and Vehicle Selection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28(6), 1155-1166. doi: 10.1109/TFUZZ.2019.2946110
- Mohammadi, M., Razmi, J., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). Multi-objective invasive weed optimization for stochastic green hub location routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 47(3), 247-266.
- Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J. E., & Villegas, J. G. (2016). A multi-space sampling heuristic for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 70, 113-128. doi: 10.1016/j.trc.2015.09.009
- Munoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J. R., & Faulin, J. (2017). Impact of the use of electric vehicles in collaborative urban transport networks: A case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 40-54. doi: 10.1016/j.trd.2016.10.018
- Naderipour, M., & Alinaghian, M. (2016). Measurement, evaluation and minimization of CO₂, NO_x, and CO emissions in the open time dependent vehicle routing problem. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 90, 443-452. doi: 10.1016/j.measurement.2016.04.043
- Nakhjirkan, S., & Mokhatab Rafiei, F. (2017). An integrated multi-echelon supply chain network design considering stochastic demand: A genetic algorithm based solution. *Promet - Traffic - Traffico*, 29(4), 391-400. doi: 10.7307/ptt.v29i4.2193

- Naoum-Sawaya, J., Cogill, R., Ghaddar, B., Sajja, S., Shorten, R., Taheri, N., . . . Wirth, F. (2015). Stochastic optimization approach for the car placement problem in ridesharing systems. *Transportation Research Part B-Methodological*, *80*, 173-184. doi: 10.1016/j.trb.2015.07.001
- Niu, Y., Yang, Z., Chen, P., & Xiao, J. (2018a). Optimizing the green open vehicle routing problem with time windows by minimizing comprehensive routing cost. *Journal of Cleaner Production*, *171*, 962-971. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.001
- Niu, Y. Y., Yang, Z. H., Chen, P., & Xiao, J. H. (2018b). A hybrid tabu search algorithm for a real-world open vehicle routing problem involving fuel consumption constraints. *Complexity*, 1-12. doi: 10.1155/2018/5754908
- Norlund, E. K., Gribkovskaia, I., & Laporte, G. (2015). Supply vessel planning under cost, environment and robustness considerations. *Omega-International Journal of Management Science*, *57*, 271-281. doi: 10.1016/j.omega.2015.05.006
- Normasari, N. M. E., Yu, V. F., Bachtayar, C., & Sukoyo. (2019). A simulated annealing heuristic for the capacitated green vehicle routing problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. doi: 10.1155/2019/2358258
- Norouzi, N., Sadegh-Amalnick, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). Modified particle swarm optimization in a time-dependent vehicle routing problem: minimizing fuel consumption. *Optimization Letters*, *11*(1), 121-134. doi: 10.1007/s11590-015-0996-y
- Poonthalir, G., & Nadarajan, R. (2018). A fuel efficient green vehicle routing problem with varying speed constraint (F-GVRP). *Expert Systems with Applications*, *100*, 131-144. doi: 10.1016/j.eswa.2018.01.052
- Poonthalir, G., & Nadarajan, R. (2019). Green vehicle routing problem with queues. *Expert Systems with Applications*, *138*. doi: 10.1016/j.eswa.2019.112823
- Qian, J. N., & Eglese, R. (2014). Finding least fuel emission paths in a network with time-varying speeds. *Networks*, *63*(1), 96-106. doi: 10.1002/net.21524

- Rabbani, M., Bosjin, S. A., Yazdanparast, R., & Saravi, N. A. (2018). A stochastic time-dependent green capacitated vehicle routing and scheduling problem with time window, resiliency and reliability: A case study. *Decision Science Letters*, 7(4), 381-394. doi: 10.5267/j.dsl.2018.2.002
- Ramos, T. R. P., Gomes, M. I., & Barbosa-Povoa, A. P. (2014a). Economic and environmental concerns in planning recyclable waste collection systems. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 62, 34-54. doi: 10.1016/j.tre.2013.12.002
- Ramos, T. R. P., Gomes, M. I., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2014b). Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns. *Omega (United Kingdom)*, 48, 60-74. doi: 10.1016/j.omega.2013.11.006
- Reyes-Rubiano, L., Ferone, D., Juan, A. A., & Faulin, J. (2019). A simheuristic for routing electric vehicles with limited driving ranges and stochastic travel times. *SORT*, 43(1), 3-24. doi: 10.2436/20.8080.02.77
- Rezaei, N., Ebrahimnejad, S., Moosavi, A., & Nikfarjam, A. (2019). A green vehicle routing problem with time windows considering the heterogeneous fleet of vehicles: two metaheuristic algorithms. *European Journal of Industrial Engineering*, 13(4), 507-535.
- Roberti, R., & Wen, M. (2016). The electric traveling salesman problem with time windows. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 89, 32-52. doi: 10.1016/j.tre.2016.01.010
- Sawik, B., Faulin, J., & Perez-Bernabeu, E. (2017a). Multi-objective traveling salesman and transportation problems with environment aspects. In K. D. Lawrence & G. Kleinman (Eds.), *Applications of Management Science* (Vol. 18, pp. 21-55).
- Sawik, B., Faulin, J., & Perez-Bernabeu, E. (2017b). Selected multi-criteria green vehicle routing problems. In K. D. Lawrence & G. Kleinman (Eds.), *Applications of Management Science* (Vol. 18, pp. 57-83).
- Sbihi, A., & Eglese, R. W. (2007). Combinatorial optimization and Green Logistics. *4OR*, 5(2), 99-116. doi: 10.1007/s10288-007-0047-3

- Schiffer, M., & Walther, G. (2017). The electric location routing problem with time windows and partial recharging. *European Journal of Operational Research*, 260(3), 995-1013. doi: 10.1016/j.ejor.2017.01.011
- Schneider, M., Stenger, A., & Goetze, D. (2014). The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*, 48(4), 500-520. doi: 10.1287/trsc.2013.0490
- Schroder, M., & Cabral, P. (2019). Eco-friendly 3D-Routing: A GIS based 3D-Routing-Model to estimate and reduce CO₂-emissions of distribution transports. *Computers Environment and Urban Systems*, 73, 40-55. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2018.08.002
- Serdaris, P., Antoniadis, I., & Tomlekova, N. (2014). Supply chain management: a view of the distribution channel. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(2), 480-486.
- Serrano-Hernández, A., & Faulín, J. (2019). Internalizing negative externalities in vehicle routing problems through green taxes and green tolls. *SORT*, 43(1), 75-94. doi: 10.2436/20.8080.02.80
- Simao, H. P., Day, J., George, A. P., Gifford, T., Nienow, J., & Powell, W. B. (2009). An approximate dynamic programming algorithm for large-scale fleet management: a case application. *Transportation Science*, 43(2), 178-197. doi: 10.1287/trsc.1080.0238
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2003). *Designing & Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies & Case Studies*, 2003. McGraw-Hill: New York.
- Soleimani, H., Chaharlang, Y., & Ghaderi, H. (2018). Collection and distribution of returned-remanufactured products in a vehicle routing problem with pickup and delivery considering sustainable and green criteria. *Journal of Cleaner Production*, 172, 960-970. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.124
- Soon, K. L., Lim, J. M. Y., & Parthiban, R. (2019a). Coordinated Traffic Light Control in Cooperative Green Vehicle Routing for Pheromone-based Multi-Agent Systems. *Applied Soft Computing Journal*, 81. doi: 10.1016/j.asoc.2019.105486

- Soon, K. L., Lim, J. M. Y., Parthiban, R., & Ho, M. C. (2019b). Proactive eco-friendly pheromone-based green vehicle routing for multi-agent systems. *Expert Systems with Applications*, *121*, 324-337. doi: 10.1016/j.eswa.2018.12.026
- Sousa Matos, M. R., Frota, Y., & Ochi, L. S. (2018). Green vehicle routing and scheduling problem with split delivery. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, *69*, 13-20. doi: 10.1016/j.endm.2018.07.003
- Soysal, M., & Çimen, M. (2017). A Simulation Based Restricted Dynamic Programming approach for the Green Time Dependent Vehicle Routing Problem. *Computers and Operations Research*, *88*, 297-305. doi: 10.1016/j.cor.2017.06.023
- Soysal, M., Çimen, M., & Demir, E. (2018). On the mathematical modeling of green one-to-one pickup and delivery problem with road segmentation. *Journal of Cleaner Production*, *174*, 1664-1678. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.040
- Sruthi, A., Anbuudayasankar, S. P., & Jeyakumar, G. (2019). Energy efficient green vehicle routing problem. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, *12*(4), 27-41. doi: 10.4018/IJISSCM.2019100102
- Su, Y., & Fan, Q. M. (2020). The Green Vehicle Routing Problem from a Smart Logistics Perspective. *IEEE Access*, *8*. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2961701
- Sundar, K., Venkatachalam, S., & Rathinam, S. (2017). Analysis of mixed-integer linear programming formulations for a fuel-constrained multiple vehicle routing problem. *Unmanned Systems*, *5*(4), 197-207. doi: 10.1142/S2301385017500091
- Surbhi S (Producer). (2017). Difference Between Inbound and Outbound Logistics. Retrieved April 5, 2019, from <https://keydifferences.com/difference-between-inbound-and-outbound-logistics.html>
- Suzuki, Y. (2016). A dual-objective metaheuristic approach to solve practical pollution routing problem. *International Journal of Production Economics*, *176*, 143-153. doi: 10.1016/j.ijpe.2016.03.008
- Taylor, G. D. (2008). *Introduction to logistics engineering*: CRC Press.

- Teng, L., & Zhang, Z. (2016). Green vehicle routing problem with load factor. *Advances in Transportation Studies*, 3(Special Issue), 75-82. doi: 10.4399/978885489937707
- Tiwari, A., & Chang, P. C. (2015). A block recombination approach to solve green vehicle routing problem. *International Journal of Production Economics*, 164, 379-387. doi: 10.1016/j.ijpe.2014.11.003
- Toro, E. M., Franco, J. F., Echeverri, M. G., & Guimarães, F. G. (2017a). A multi-objective model for the green capacitated location-routing problem considering environmental impact. *Computers and Industrial Engineering*, 110, 114-125. doi: 10.1016/j.cie.2017.05.013
- Toro, E. M., Franco, J. F., Echeverri, M. G., Guimarães, F. G., & Gallego Rendón, R. A. (2016). Green open location-routing problem considering economic and environmental costs. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(2), 203-216. doi: 10.5267/j.ijiec.2016.10.001
- Toro, E. M., Franco, J. F., Echeverri, M. G., Guimaraes, F. G., & Rendon, R. A. G. (2017b). Green open location-routing problem considering economic and environmental costs. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(2), 203-216. doi: 10.5267/j.ijiec.2016.10.001
- Turkensteen, M. (2017). The accuracy of carbon emission and fuel consumption computations in green vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 647-659. doi: 10.1016/j.ejor.2017.04.005
- Ubeda, S., Arcelus, F. J., & Faulin, J. (2011). Green logistics at eroski: a case study. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 44-51. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.04.041
- Wang, J., Yao, S., Sheng, J., & Yang, H. (2019a). Minimizing total carbon emissions in an integrated machine scheduling and vehicle routing problem. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1004-1017. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.344
- Wang, L., & Lu, J. (2019). A memetic algorithm with competition for the capacitated green vehicle routing problem. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 6(2), 516-526. doi: 10.1109/JAS.2019.1911405

- Wang, R., Zhou, J., Yi, X., & Pantelous, A. A. (2019b). Solving the green-fuzzy vehicle routing problem using a revised hybrid intelligent algorithm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *10*(1), 321-332. doi: 10.1007/s12652-018-0703-9
- Wang, Y., Assogba, K., Fan, J., Xu, M., Liu, Y., & Wang, H. (2019c). Multi-depot green vehicle routing problem with shared transportation resource: Integration of time-dependent speed and piecewise penalty cost. *Journal of Cleaner Production*, *232*, 12-29. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.344
- Wang, Y., Peng, S. G., Xu, C. C., Assogba, K., Wang, H. Z., Xu, M. Z., & Wang, Y. H. (2018). Two-echelon logistics delivery and pickup network optimization based on integrated integrated cooperation and transportation fleet sharing. *Expert Systems with Applications*, *113*, 44-65. doi: 10.1016/j.eswa.2018.06.037
- Wang, Z., Li, J. Q., Fang, M. L., & Li, Y. (2015). A multimetric ant colony optimization algorithm for dynamic path planning in vehicular networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 1-10. doi: 10.1155/2015/271067
- Wensing, T. (2018). Social and environmental impact of advances in economically driven transport optimization: case study in automobile distribution. In M. Brandenburg, G. J. Hahn & T. Rebs (Eds.), *Social and Environmental Dimensions of Organizations and Supply Chains: Tradeoffs and Synergies* (pp. 195-210).
- Xiao, Y., & Konak, A. (2015). A simulating annealing algorithm to solve the green vehicle routing & scheduling problem with hierarchical objectives and weighted tardiness. *Applied Soft Computing Journal*, *34*, 372-388. doi: 10.1016/j.asoc.2015.04.054
- Xiao, Y., & Konak, A. (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *88*, 146-166. doi: 10.1016/j.tre.2016.01.011
- Xiao, Y., & Konak, A. (2017). A genetic algorithm with exact dynamic programming for the green vehicle routing & scheduling problem. *Journal of Cleaner Production*, *167*, 1450-1463. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.115

- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, *39*(7), 1419-1431.
- Xiao, Y., Zuo, X., Kaku, I., Zhou, S., & Pan, X. (2019). Development of energy consumption optimization model for the electric vehicle routing problem with time windows. *Journal of Cleaner Production*, *225*, 647-663. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.323
- Xin, X., Wang, X. L., Tian, X. C., Chen, Z. G., & Chen, K. (2019). Green scheduling model of shuttle tanker fleet considering carbon tax and variable speed factor. *Journal of Cleaner Production*, *234*, 1134-1143. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.275
- Xu, Z., Elomri, A., Pokharel, S., & Mutlu, F. (2019). A model for capacitated green vehicle routing problem with the time-varying vehicle speed and soft time windows. *Computers and Industrial Engineering*, *137*(2019), 1-14. doi: 10.1016/j.cie.2019.106011
- Yang, B., Hu, Z. H., Wei, C., Li, S. Q., Zhao, L., & Jia, S. (2015). Routing with time-windows for multiple environmental vehicle types. *Computers & Industrial Engineering*, *89*, 150-161. doi: 10.1016/j.cie.2015.02.001
- Yavuz, M. (2017). An iterated beam search algorithm for the green vehicle routing problem. *Networks*, *69*(3), 317-328. doi: 10.1002/net.21737
- Yin, P. Y., & Chuang, Y. L. (2016). Adaptive memory artificial bee colony algorithm for green vehicle routing with cross-docking. *Applied Mathematical Modelling*, *40*(21-22), 9302-9315. doi: 10.1016/j.apm.2016.06.013
- Yu, J. J. Q., Yu, W., & Gu, J. (2019a). Online vehicle routing with neural combinatorial optimization and deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *20*(10), 3806-3817. doi: 10.1109/TITS.2019.2909109
- Yu, V. F., Redi, A. A. N. P., Hidayat, Y. A., & Wibowo, O. J. (2017). A simulated annealing heuristic for the hybrid vehicle routing problem. *Applied Soft Computing Journal*, *53*, 119-132. doi: 10.1016/j.asoc.2016.12.027

- Yu, Y., Wang, S., Wang, J., & Huang, M. (2019b). A branch-and-price algorithm for the heterogeneous fleet green vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part B: Methodological*, 122, 511-527. doi: 10.1016/j.trb.2019.03.009
- Yu, Y., Wu, Y. T., & Wang, J. W. (2019c). Bi-objective green ride-sharing problem: model and exact method. *International Journal of Production Economics*, 208, 472-482. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.12.007
- Zhang, S., Campbell, A. M., & Ehmke, J. F. (2019). Impact of congestion pricing schemes on costs and emissions of commercial fleets in urban areas. *Networks*, 73(4), 466-489. doi: 10.1002/net.21872
- Zhang, S., Gajpal, Y., & Appadoo, S. S. (2018). A meta-heuristic for capacitated green vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 269(1-2), 753-771. doi: 10.1007/s10479-017-2567-3
- Zhang, S., Lee, C. K. M., Choy, K. L., Ho, W., & Ip, W. H. (2014). Design and development of a hybrid artificial bee colony algorithm for the environmental vehicle routing problem. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 85-99. doi: 10.1016/j.trd.2014.05.015
- Zhen, L., Xu, Z., Ma, C., & Xiao, L. (2019). Hybrid electric vehicle routing problem with mode selection. *International Journal of Production Research*, 58(2), 562-576. doi: 10.1080/00207543.2019.1598593
- Zhou, F., He, Y., & Zhou, L. (2019). Last mile delivery with stochastic travel times considering dual services. *IEEE Access*, 7, 159013-159021. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2950442
- Zhu, L., & Hu, D. (2019). Study on the vehicle routing problem considering congestion and emission factors. *International Journal of Production Research*, 57(19), 6115-6129. doi: 10.1080/00207543.2018.1533260
- Zulvia, F. E., Kuo, R. J., & Nugroho, D. Y. (2020). A many-objective gradient evolution algorithm for solving a green vehicle routing problem with time windows and time dependency for perishable products. *Journal of Cleaner Production*, 242, 1-14. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118428



ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยสุรินทร์

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นางสาวธนัชพร สมใส
วัน เดือน ปี เกิด 15 พฤศจิกายน 2536
ที่อยู่ปัจจุบัน 4/1 ถนนพิทักษ์ ตำบลหล่มสัก อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยนเรศวร

