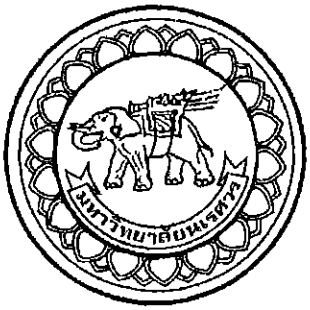
อภินันทนาการ



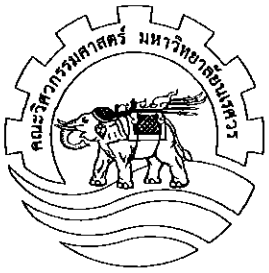
การออกแบบการไหลของการขนถ่ายขยะเทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

DESIGN OF THE FLOW OF MUNICIPAL WASTE FOR ELECTRICITY GENERATION

นายวัชรพล จันทร์พวง รหัส 55360505
นายวรรณวิศณ์ อ่ำทอง รหัส 55366422

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 7 มี.ค. 2561
เลขทะเบียน 19224692
เลขเรียกหนังสือ ปร
ว 378 ก
255ส

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบการไหลของการขนถ่ายขยะเทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า

ผู้จัดทำโครงงาน นายวัชรพล จันทร์พวง รหัส 55360505

นายวรรณวิศณ์ อ่ำทอง รหัส 55366422

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โพธิ์งาม สมกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2558

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โพธิ์งาม สมกุล)

.....กรรมการ

(ดร.สุธนิตย์ พุทธพนม)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมลักษณ์ วรรณฤมล กีเยลาโรว่า)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบการไหลของการขนถ่ายขยะเทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า
ผู้จัดทำโครงงาน	นายวัชรพล จันทร์พวง รหัส 55360505
	นายวรรณวิศณ์ อ่ำทอง รหัส 55366422
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โพธิ์งาม สมกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2558

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบการไหลของการขนถ่ายขยะในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก โดยมีการนำโปรแกรม Excel Solver ช่วยในการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะใช้เป็นต้นแบบในการจัดเส้นทางขนถ่ายขยะเทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการเก็บข้อมูลการปฏิบัติงานในปัจจุบันของการไหลของขยะในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกมาทำการศึกษา เพื่อที่จะทำการออกแบบเส้นทางการขนถ่ายขยะใหม่ โดยใช้รูปแบบในการขนส่งสินค้า 7 รูปแบบ เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ โดยเริ่มจากการแบ่งเขตการเก็บขยะเป็นจำนวน 33 แห่ง และกำหนดจุดที่ใช้ในการขนถ่ายขยะ กำหนดปริมาณขยะในแต่ละเขต จากนั้นทำการหารูปแบบการไหลของขยะที่ดีที่สุดภายใต้วัตถุประสงค์ต่างกัน 3 วัตถุประสงค์ คือ ค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายขยะที่น้อยที่สุด, ใช้ระยะทางในการขนส่งสั้นที่สุด และทำลายสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ผลการศึกษาวิจัย จะได้รูปแบบจำลองการขนถ่ายขยะสำหรับเทศบาลนครพิษณุโลก 3 รูปแบบ ภายใต้วัตถุประสงค์ดังนี้ รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งใช้ค่าใช้จ่ายการขนส่งขยะต่ำที่สุด 4,503.3 บาทต่อวัน, รูปแบบที่มีการขนส่งแบบ Milk Runs ทั้งหมดใช้ระยะทางในการขนส่ง 488.69 กิโลเมตร และรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งใช้ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด 204.79 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการขนส่งแบบปัจจุบันหรือรูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะคือ 232.76 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์)

Project title	Design of the flow of municipal waste for electricity generation
Name	Mr.Watcharapon Janpuang ID. 55360505
	Mr.Wannawit Umthong ID. 55366422
Project advisor	Assistant Professer Po-ngarm Somkun, Ph.D
Major	Industrial Engineering
Department	Industrial Engineering
Academic year	2015

.....

Abstract

The research project focuses on the design of municipal waste for Phitsanulok municipality. We use Excel Solver program to find the optimal solution, which can be used for the logistics network design of electricity generation from wastes.

We collected real data and studied current operations from Phitsanulok municipality. We then determined 33 zones as garbage sources and estimated the amount of garbage in each zone. We proposed 7 designs of garbage flows for our analysis. Three different objective functions are applied to find the best design for each of them. They are minimizing costs, distance and environmental impact, respectively.

The research gave the optimal objective values for each objective as follows : minimum cost is 4,503.3 baht, minimum distance is 488.69 kilometers and minimum carbon dioxide emission is 204.79 kg CO_2 e.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โพธิ์งาม สมกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้การสนับสนุนและคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนการติดต่อประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ มาตลอด

ขอขอบคุณทางเทศบาลนครพิษณุโลก และคุณเพียงเพ็ญ ศรีวิโรจน์ หัวหน้างานวางแผนสาธารณสุข เทศบาลพิษณุโลก ที่ได้ให้การสนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับการจัดเก็บขยะ เส้นทางเดินรถขยะ และข้อมูลต่างๆ

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้โอกาสได้ศึกษาเล่าเรียนความรู้ต่างๆ ทางวิชาการด้านนี้ ตลอดจนให้การสนับสนุนทางด้านต่างๆ มาเสมอ

ผู้จัดทำโครงงาน

นายวัชรพล จันทร์พวง

นายวรรณวิศณ์ อ่ำทอง

มิถุนายน 2559

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs) 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcomes) 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart) 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 ความหมายของโลจิสติกส์ 4
2.1.1 การออกแบบการถ่ายเทวัสดุ 4
2.1.2 การจัดการระบบโลจิสติกส์ 4
2.1.3 การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ 5
2.2 การบริหารจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน 5
2.2.1 การใช้ซ้ำ (Reuse) 5
2.2.2 การแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) 6
2.2.3 การหมักปุ๋ย (Composting) 6
2.2.4 การนำมาใช้เป็นพลังงาน 6
2.2.5 การประเมินประสิทธิภาพของการจัดการขยะมูลฝอย 7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 การออกแบบการขนส่ง....10
2.3.1 การขนส่งตรง (Direct Shipment)....10
2.3.2 การขนส่งตรงแบบ Milk Runs (Direct Shipment with Milk Runs)....11
2.3.3 การขนส่งแบบใช้ศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดผ่าน (Transportation with Cross Docking)....14
2.3.4 การขนส่งแบบ Cross Docking กับ Milk Runs (Cross Docking Shipment with Milk Runs)....15
2.3.5 การออกแบบขนส่งตามขนาดลูกค้า (Transportation Design by Size of Customers)....16
2.3.6 การออกแบบขนส่งตามความหนาแน่นลูกค้าและระยะทาง (Transportation Design by Customers Density and Distance)....16
2.3.7 การออกแบบขนส่งตามอุปสงค์ผลิตภัณฑ์และมูลค่า (Transportation Design by Product Demand and Value)....17
2.4 โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)....17
2.4.1 ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้น....18
2.4.2 ข้อสมมุติฐาน....18
2.4.3 รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้น....18
2.5 Microsoft Excel Solver....19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....20

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน....21
3.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง....22
3.1.1 ปริมาณและองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในปัจจุบัน....22
3.1.2 การขนส่งขยะมูลฝอย....22
3.1.3 การกำจัดขยะมูลฝอย....23
3.1.4 การจัดการขยะติดเชื้อ....23
3.1.5 การคัดแยกขยะมูลฝอย....24
3.1.6 การกำจัดขยะมูลฝอย....24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.7 ข้อมูลรถยนต์เก็บขนขยะมูลฝอย....24

3.1.8 ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะของเทศบาลนครพิษณุโลก เพื่อให้ทราบถึง (Facility) ที่ต้องใช้ในการจัดการโลจิสติกส์....24

3.2 ศึกษารูปแบบการไหลของการขนส่ง....25

3.3 เลือกรูปแบบการไหลที่ดีที่สุด....25

3.4 ทำการสร้างโปรแกรมเชิงเส้น....25

3.5 หาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น....25

3.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทำโครงงาน....25

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน....26

4.1 การแบ่งโซนจุดกำเนิดขยะและการประมาณปริมาณขยะ....26

4.1.1 การแบ่งโซนจุดกำเนิดขยะ....26

4.1.2 การประมาณปริมาณขยะของแต่ละโซน....27

4.2 การออกแบบการไหลของขยะ....29

4.2.1 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment....30

4.2.2 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ....31

4.2.3 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs....32

4.2.4 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรงโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง....33

4.2.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมดโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง....34

4.2.6 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง....35

4.2.7 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs....36

4.3 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของขยะภายใต้วัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด....37

4.3.1 ข้อตกลงเบื้องต้น....38

4.3.2 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment....39

4.3.3 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ....41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.4 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs 44
4.3.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรงโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 47
4.3.6 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมดโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 53
4.3.7 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง 58
4.3.8 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 67
4.3.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมในรูปแบบต่างๆ 73
4.4 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของขยะภายใต้วัตถุประสงค์ระยะทางรวมสั้นที่สุด 74
4.4.1 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment 74
4.4.2 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ 75
4.4.3 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs 78
4.4.4 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรงโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 81
4.4.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมดโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 84
4.4.6 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง 86
4.4.7 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 94
4.4.8 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมในรูปแบบต่างๆ 102
4.5 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของขยะภายใต้วัตถุประสงค์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 103
4.5.1 ข้อตกลงเบื้องต้น 103
4.5.2 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment 104
4.5.3 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ 105
4.5.4 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs 108

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง
โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 110
4.5.6 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด
โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 113
4.5.7 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง 116
4.5.8 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง
และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 124
4.5.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมในรูปแบบต่างๆ 129
4.6 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้ง 3 วัตถุประสงค์ 130
4.6.1 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด 130
4.6.2 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ระยะทางรวมสั้นที่สุด 130
4.6.3 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด 130

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 131
5.1 สรุป 131
5.2 ข้อเสนอแนะ 132

เอกสารอ้างอิง 133

ภาคผนวก ก ตารางการคำนวณค่าใช้จ่ายรูปแบบต่างๆ 135
ภาคผนวก ข ระยะทางของรูปแบบส่งตรงจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ 159
ภาคผนวก ค ตารางคำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบต่างๆ 172

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 195

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 การประเมินประสิทธิภาพของการจัดการขยะมูลฝอย 8

4.1 ความจุของรถแต่ละประเภท 27

4.2 การประมาณปริมาณขยะสำหรับแต่ละโซน 28

4.3 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆ 37

4.4 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขาไป 39

4.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ 40

4.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าบำรุงรักษารถขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment 41

4.7 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบส่งตรง Direct Shipment 41

4.8 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะในขาไป 42

4.9 ค่าใช้จ่ายการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะในขากลับ 42

4.10 คำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวก 43

4.11 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ 44

4.12 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะและส่งไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs ในขาไป 45

4.13 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะและส่งไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs ในขากลับ 45

4.14 คำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs จากสถานีขนถ่ายขยะ 46

4.15 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs 47

4.16 ปริมาณขยะแต่ละกลุ่ม 48

4.17 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในขาไป 49

4.18 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในขากลับ 50

4.19 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ 51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.20 คำนวณค่าบำรุงรักษาการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 52
4.21 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรงโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 52
4.22 คำนวณการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 53
4.23 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในขากลับ 54
4.24 คำนวณการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง จากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ 56
4.25 คำนวณค่าบำรุงรักษาการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 57
4.26 ค่าใช้จ่ายการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 57
4.27 ตัวอย่างการคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขาไป 58
4.28 ตัวอย่างการคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป 58
4.29 การคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขากลับ 59
4.30 ตัวอย่างการคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป 60
4.31 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 67
4.32 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 72
4.33 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมในรูปแบบต่างๆ 73
4.34 ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ขาไป 74
4.35 ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ไปยังจุดกำเนิดขยะขากลับ 75
4.36 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป 75
4.37 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ 77
4.38 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ 77
4.39 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.40 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs แต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป....78

4.41 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs แต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะขากลับ....80

4.42 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs จากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ....80

4.43 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs....80

4.44 แบ่งกลุ่มแต่ละโซน....81

4.45 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป....82

4.46 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขากลับ....83

4.47 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ....83

4.48 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรก....84

4.49 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป....84

4.50 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขากลับ....85

4.51 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ....86

4.52 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด....86

4.53 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขาไป....87

4.54 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป....88

4.55 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขากลับ....90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.56 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยัง สถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ 90

4.57 ระยะทางรวมของการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 93

4.58 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยัง สถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขาไป 94

4.59 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยัง สถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป 96

4.60 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยัง สถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขากลับ 97

4.61 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยัง สถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ 98

4.62 ระยะทางรวมของการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยัง จุดรับขยะแบบ Milk Runs 101

4.63 เปรียบเทียบระยะทางรวมในรูปแบบต่างๆ 102

4.64 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆ 103

4.65 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบส่งตรง Direct Shipment 104

4.66 ตัวอย่างการคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะ ของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ 105

4.67 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขาไป 106

4.68 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขากลับ 107

4.69 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายไปยัง จุดอำนวยความสะดวกต่างๆ 107

4.70 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 108

4.71 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในขาไป 108

4.72 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในขากลับ 109

4.73 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs จากสถานีขนถ่ายไปยัง ตำแหน่งต่างๆ 110

4.74 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs 110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.75 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกขาไป.....111

4.76 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกขากลับ.....112

4.77 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรก
จากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ 113

4.78 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs.....113

4.79 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดในขาไป.....114

4.80 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดในขากลับ.....115

4.81 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด
จากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ 116

4.82 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด.....116

4.83 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขาไป.....117

4.84 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป....117

4.85 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขากลับ.....118

4.86 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ.117

4.87 รวมค่าการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง.....124

4.88 รวมค่าการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยัง
จุดรับขยะแบบ Milk Runs 129

4.89 เปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซรวมในรูปแบบต่างๆ.....129

ก.1 คำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งรูปรูปแบบส่งตรง Direct Shipment.....135

ก.2 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 141

ก.3 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs 148

ก.4 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน).....150

ก.5 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม).....152

ก.6 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน).....154

ก.7 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม).....156

ข.1 ระยะทางของรูปแบบส่งตรงจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ.....159

ข.2 ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ไปยังจุดกำเนิดขยะขากลับ....163

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.3 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยัง
จุดกำเนิดขยะในขากลับ....167
ข.4 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs แต่ละโซนไปยัง
สถานีขนถ่ายขยะขากลับ....169
ค.1 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment....172
ค.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะ
ของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ....178
ค.3 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขาไป....183
ค.4 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขากลับ....185
ค.5 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs....187
ค.6 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในขากลับ....189
ค.7 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)....191
ค.8 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)....193

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การขนส่งตรง 10

2.2 การขนส่งแบบรวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้ารายเดียว 11

2.3 การขนส่งตรงแบบจากโรงงาน ไปให้ลูกค้าหลายราย 12

2.4 ขนส่งตรงแบบรวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้าหลายราย 13

2.5 การขนส่งแบบใช้ศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดผ่าน 14

2.6 การขนส่งแบบ Cross Docking และ Milk Runs จากผู้ผลิตหลายราย 15

2.7 การขนส่งแบบ Cross Docking และ Milk Runs ไปให้ลูกค้าหลายราย 16

3.1 แผนผังการจัดการขยะของเทศบาลฯ 21

3.2 รูปแบบการขนส่งขยะเทศบาลฯ 22

4.1 โซนเก็บขยะทั้ง 33 โซน 26

4.2 สถานที่อำนวยความสะดวกต่างๆ 29

4.3 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment 30

4.4 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ 31

4.5 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs 32

4.6 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 33

4.7 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง 34

4.8 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง 35

4.9 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง
และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 36

4.10 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 63

4.11 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 63

4.12 ผลลัพธ์หลังจากการ Solve ของรูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง 64

4.13 ผลลัพธ์จากการคำนวณเพื่อหาต้นทุนในการขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายที่ 1
ไปยังจุดกำจัดขยะต่างๆ 64

4.14 ผลลัพธ์จากการคำนวณเพื่อหาต้นทุนในการขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายที่ 2
ไปยังจุดกำจัดขยะต่างๆ 65

4.15 การคำนวณเพื่อหาค่าซ่อมบำรุงจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่าย 65

4.16 การคำนวณเพื่อหาค่าซ่อมบำรุงจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดรับต่างๆ 66

4.17 ผลลัพธ์หลังจากการ Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.18 รูปแบบการคำนวณบน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 70

4.19 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 70

4.20 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 71

4.21 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 71

4.22 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 71

4.23 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 72

4.24 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 92

4.25 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 92

4.26 ข้อมูลต่างๆในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 92

4.27 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 93

4.28 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 93

4.29 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 100

4.30 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 100

4.31 ข้อมูลต่างๆในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 100

4.32 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 101

4.33 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 101

4.34 รูปแบบการคำนวณบน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 121

4.35 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 122

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.36 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 122

4.37 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 122

4.38 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 123

4.39 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง 123

4.40 รูปแบบการคำนวณบน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง
ส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 126

4.41 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง
ส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 127

4.42 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง
ส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 127

4.43 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง
ส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 127

4.44 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง
ส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 128

4.45 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง
ส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs 128

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เทศบาลนครพิษณุโลกมีพื้นที่การปกครอง 18.26 ตร.กม. มีจำนวนประชากรในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ทั้งสิ้น 77,398 คน และมีครัวเรือน 31,716 ครัวเรือน ความหนาแน่นของประชากร 4.24 คนต่อตารางเมตร ปัจจุบันเทศบาลนครพิษณุโลกมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 81 ตันต่อวัน โดยดำเนินการเก็บขนขยะมูลฝอยด้วยรถบรรทุกขยะมูลฝอย ซึ่งจะทำการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดจุดต่างๆ จนเต็มคันรถแล้วนำมารวบรวมที่สถานีขนถ่ายตั้งอยู่ที่ตำบลท่าทอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก มีระยะทางห่างจากเขตเทศบาลนครพิษณุโลก ประมาณ 15 กิโลเมตร เพื่อทำการขนส่งขยะคราวละมากๆ ปัจจุบันมีรถลากตู้คอนเทนเนอร์จำนวน 3 คัน นำขยะไปประมาณวันละ 7-8 เที่ยว ไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอย (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

ขยะเทศบาล ประกอบไปด้วย ขยะที่สามารถขายได้ (ขยะรีไซเคิล) ร้อยละ 40, ขยะชีวภาพ ร้อยละ 40, ขยะอันตรายร้อยละ 3, ขยะติดเชื้อร้อยละ 2 และขยะที่ต้องกำจัดร้อยละ 15 (เทศบาลพิษณุโลก, 2557) จะเห็นได้ว่าขยะจำนวนมากต้องผ่านกระบวนการจัดการ และกำจัดโดยไม่ก่อประโยชน์ในทางใด ทางคณะผู้จัดทำโครงงานจึงเห็นว่าหากทางเทศบาลสามารถนำขยะดังกล่าวมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นนโยบายที่ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ จะทำให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามการจัดการโลจิสติกส์ขยะในเทศบาลนครพิษณุโลกในปัจจุบันยังไม่ได้รับความสนใจมากนัก เป็นเพียงการจัดการ โดยใช้ประสบการณ์ของผู้รับผิดชอบเป็นหลัก และหากจะมีการนำขยะมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจริง การจัดการโลจิสติกส์ในปัจจุบันก็ยังไม่พร้อมที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดการโลจิสติกส์กับการจัดการการไหลของขยะเทศบาลนครพิษณุโลก เพื่อรองรับการผลิตกระแสไฟฟ้า

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs)

1.3.1 รูปแบบการไหลของขยะเทศบาลนครพิษณุโลกภายใต้วัตถุประสงค์ เช่น เพิ่มประสิทธิภาพการไหลของขยะ ลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการไหล และเพิ่มอัตราการแยกขยะเพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

1.3.2 คำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับเป็นแนวทางในการจัดการโลจิสติกส์ขยะเทศบาลนครพิษณุโลก

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcomes)

1.4.1 รูปแบบการไหลที่เหมาะสมของขยะเทศบาลฯ ซึ่งประกอบไปด้วย จำนวนสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (Facilities) และทิศทางการไหลของขยะภายใต้เงื่อนไขดังนี้ เพิ่มประสิทธิภาพการไหลของขยะ ลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการไหล และเพิ่มอัตราการแยกขยะเพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

1.4.2 คำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้นแสดงปริมาณขยะที่ไหลผ่านสถานีขนถ่ายขยะ เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ต่อไป

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 การจัดการโลจิสติกส์ของขยะเทศบาลนครพิษณุโลก ที่ดำเนินการตั้งแต่จุดทิ้งขยะผ่านจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ จนถึงจุดสิ้นสุดของการเคลื่อนที่หรือจัดเก็บของขยะแต่ละประเภท

1.5.2 ประเภทของขยะจะแบ่งออก ดังนี้ ขยะที่สามารถขายได้ ขยะชีวภาพ ขยะอันตราย ขยะติดเชื้อ และขยะที่ต้องกำจัด

1.5.3 ขยะที่นำไปผลิตกระแสไฟฟ้าจะเป็นขยะที่สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ เช่น วัสดุที่ทำจากพลาสติก โฟม และไม้ เพราะเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า กำหนดให้เป็นวิธีการเผาเพื่อนำความร้อนไปต้มน้ำ และให้ไอน้ำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมเทศบาลนครพิษณุโลก

1.6.2 หอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

1.6.3 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2559

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา										
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย
1.8.1	ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น การออกแบบการขนส่ง และโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)	←	→									
1.8.2	หาข้อมูลขยะจากเทศบาลนครพิษณุโลก		←	→								
1.8.3	ทำการออกแบบ และเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของการขนส่งทั้งหมด				←	→						
1.8.4	เลือกรูปแบบการไหลที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขต่างๆ						←	→				
1.8.5	ทำการสร้างโปรแกรมเชิงเส้น						←	→				
1.8.6	หาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น โดยใช้ Microsoft Excel Solver								←	→		
1.8.7	วิเคราะห์และสรุปผลการทำโครงการ										←	→

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ความหมายของโลจิสติกส์

โลจิสติกส์ (Logistics) คือ การรวบรวมกิจกรรมที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดหาการเคลื่อนย้าย การจัดเก็บและการจัดส่งสินค้าทั้งหมดที่ทำการผลิต โดยมีการบริการและการบริหารข้อมูลเป็นปัจจัยสนับสนุนที่ช่วยทำให้การดำเนินงานต่างๆ ดังกล่าวสามารถบรรลุเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะเดียวกันโลจิสติกส์อาจหมายถึงกระบวนการวางแผน ดำเนินงานควบคุมการไหลและการจัดเก็บวัตถุดิบ พร้อมกับข้อมูลตั้งแต่จุดผลิตถึงผู้บริโภคให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด โดยมีจุดมุ่งหมาย คือ การปรับปรุงการบริการลูกค้าให้มีความพึงพอใจสูงสุด (สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, 2551 : 363) เพื่อให้ภาพรวมของการดำเนินการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องพิจารณาการทำงานหลัก โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

2.1.1 การออกแบบการถ่ายเทวัสดุ

เป็นขั้นตอนที่ผู้ออกแบบระบบโลจิสติกส์ต้องใช้ความรู้และทฤษฎีต่างๆ ทางวิศวกรรมเข้ามาช่วยมากที่สุดโดยพิจารณาถึงอุปสงค์ด้านปริมาณ สถานที่ ความแปรปรวน ข้อจำกัดที่มีอยู่ และทำการออกแบบขนาดตำแหน่งที่ตั้ง ทรัพยากรของอุปทาน อาทิ โรงงานอุตสาหกรรมคลังสินค้า เป็นต้น รวมทั้งออกแบบระบบการขนส่งวัสดุด้วยชนิดของพาหนะปริมาณแต่ละเที่ยว จุดพักสินค้า เป็นต้น ให้สามารถตอบสนองอุปสงค์ได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด ในการออกแบบนี้ต้องออกแบบด้วยหลักทฤษฎีที่อยู่ในกลุ่มการวิจัยดำเนินงาน (Operation Research)

2.1.2 การจัดการระบบโลจิสติกส์

เป็นการจัดการงานด้านต่างๆ ที่เป็นกิจกรรมในระบบโลจิสติกส์ เพื่อให้การดำเนินงานจริงเป็นไปตามที่ออกแบบไว้แต่ต้น ซึ่งการจัดการงานด้านต่างๆ เหล่านี้ ต้องใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมและการจัดการผสมผสานกันไม่ว่าจะเป็น การจัดตารางการขนส่ง การจัดการคลังสินค้าและระบบควบคุมวัสดุคงคลัง การจัดการคำสั่งซื้อ การจัดหาวัตถุดิบ การคัดเลือกและประเมินผู้ขาย การวางแผนความต้องการวัสดุ การบรรจุหีบห่อ การบริหารงานบุคคล และค่าจ้าง เป็นต้น

2.1.3 การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ

การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ มีเป้าหมายหลัก 2 ประการ คือ

2.1.3.1 จัดให้มีสารสนเทศในรูปแบบที่ต้องการ ในสถานที่และเวลาที่ต้องการ และมีความสม่ำเสมอเป็นการประสานระหว่างการจัดหาสารสนเทศให้ตรงกับความต้องการใช้

2.1.3.2 จัดการให้สารสนเทศมีความถูกต้อง เชื่อถือได้ไม่ล้าสมัย และไม่ผิดพลาด เครื่องมือต่างๆ ที่ถูกนำมาใช้เพื่อการจัดการสารสนเทศให้ได้ตามเป้าหมาย

2.2 การบริหารจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน

ทฤษฎีในการบริหารจัดการขยะมูลฝอยนั้นมีหลายรูปแบบ ดังนี้

2.2.1 การใช้ซ้ำ (Reuse)

การใช้ซ้ำ หมายถึง การนำขยะกลับมาใช้ใหม่ในรูปลักษณะเดิมหรือนำกลับมาใช้ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงหรือแปรรูปใดๆ (ปรัชนีย์ สถานสถิตย์, 2556 : 16)

โดยขบวนการใช้ซ้ำจะเกิดขึ้นจากการนำเอาขยะ หรือวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ดังวิธีการต่างๆ ต่อไปนี้

2.2.1.1 การนำวัตถุดิบที่ไม่ได้มาตรฐานกลับมาใช้ซ้ำ เป็นการนำวัตถุดิบที่ถูกตัดทิ้งเนื่องจากมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่จะผลิตเป็นสินค้ามาใช้ประโยชน์ด้านอื่นแทน เช่น แป้งสำหรับทำขนมปังที่ไม่ได้มาตรฐานมาใช้ทำเป็นอาหารสัตว์

2.2.1.2 การนำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานกลับมาใช้ซ้ำ เมื่อวัตถุดิบไปผลิตเป็นสินค้าหรือผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว แต่สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมานั้นไม่ได้มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานเหล่านั้นอาจนำมาใช้ซ้ำด้วยการจำหน่ายให้กับผู้บริโภคในรูปแบบสินค้าที่มีตำหนิ โดยตั้งราคาให้ถูกลง หรือนำไปใช้ในลักษณะอื่นได้อีก

2.2.1.3 การนำบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำ เป็นการนำเอาบรรจุภัณฑ์ของสินค้าชนิดต่างๆ ซึ่งมีศักยภาพ หรือสภาพทั่วไปที่ยังดีอยู่กลับมาใช้งานซ้ำอีก โดยสามารถแบ่งบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวออกเป็น 4 กลุ่มหลัก คือ บรรจุภัณฑ์แก้ว บรรจุภัณฑ์กระดาษ บรรจุภัณฑ์พลาสติก บรรจุภัณฑ์โลหะ

2.2.1.4 การนำผลพลอยได้จากการผลิตสินค้ามาใช้ซ้ำ เป็นการนำผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตต่างๆ มาทำให้เป็นประโยชน์แทนการนำไปกำจัดทำลาย เช่น การนำกากมันจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังมาผสมกับมันเส้น เพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์

2.2.2 การแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling)

การแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หมายถึง การนำเอาขยะรีไซเคิลหรือวัสดุเหลือใช้มาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นวัตถุดิบหรือเป็นวัตถุดิบรวม เพื่อผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ใหม่

สำหรับรายละเอียดของการนำขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทมาแปรรูป เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ มีดังต่อไปนี้

2.2.2.1 ขยะประเภทแก้ว โดยทั่วไปแก้วที่นำมาแปรรูปใหม่จะประกอบด้วยแก้วที่มีสีใส (Flint) สีชาหรือสีน้ำตาล (Amber) และสีเขียว (Green) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะมีการคัดแยกออกตามสีของแก้วก่อนแล้วนำมาบดละเอียด และหลอมเพื่อผลิตเป็นขวดแก้วใหม่

2.2.2.2 ขยะประเภทกระดาษ สำหรับขยะประเภทกระดาษ ซึ่งนำมาแปรรูปเป็นกระดาษรีไซเคิลเรียบร้อยแล้วนั้น จะมีสัญลักษณ์ที่เป็นตราสากลกำกับไว้ด้วย โดยสัญลักษณ์ดังกล่าวนี้เป็นการแสดงให้ทราบว่ากระดาษที่นำมาทำผลิตภัณฑ์ชิ้นนั้นเป็นกระดาษรีไซเคิล

2.2.2.3 ขยะประเภทพลาสติก ประเทศไทยมีปริมาณขยะประเภทพลาสติกที่นำกลับมาแปรรูปใหม่ เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติเบา ช่วยลดค่าขนส่ง รวมทั้งสามารถขึ้นรูปเป็นสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายและสะดวกในการใช้งาน จึงทำให้มีปริมาณการใช้พลาสติกเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

2.2.2.4 ขยะประเภทเหล็ก ได้ถูกแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่มากที่สุด เพราะประเทศไทยไม่มีอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก

2.2.2.5 ขยะประเภทอะลูมิเนียม ปัจจุบันมีสินค้าหลายชนิดหันมาใช้บรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมแทนแก้วมากขึ้น ซึ่งพบเห็นทั่วไป ได้แก่ กระป๋องน้ำอัดลม กระป๋องเบียร์ และกระป๋องน้ำผลไม้ เป็นต้น

2.2.2.6 ขยะประเภทยาง ขยะประเภทนี้ถูกนำมารีไซเคิลเป็นจำนวนไม่มาก

2.2.3 การหมักปุ๋ย (Composting)

การหมักทำปุ๋ย เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งหมายถึงการย่อยสลายขยะอินทรีย์ด้วยขบวนการทางธรรมชาติของจุลินทรีย์ โดยจะเป็นการเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ในขยะไปเป็นสารที่มีประโยชน์ในการบำรุงดินที่เรียกว่า “วัสดุปรับปรุงดิน (Humus-like Material)” ซึ่งเป็นวัสดุที่มีลักษณะคงรูปสีค่อนข้างดำมีความชื้นเล็กน้อย และไม่มีกลิ่นเหม็น

2.2.4 การนำมาใช้เป็นพลังงาน

เป็นการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ในรูปแบบการให้พลังงาน การแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และการหมักทำปุ๋ย คือ การนำมาใช้เป็นพลังงาน การแปรรูปให้เป็นพลังงาน มีวิธีดังต่อไปนี้

2.2.4.1 การผลิตพลังงานความร้อน

การผลิตพลังงานความร้อน ได้แก่ การนำขยะมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ (Combustible Waste) จำพวกเศษกิ่งไม้ใบไม้และแกลบ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำทำให้ได้ไอน้ำร้อน เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ เช่นส่งไปยังเครื่องทำความอบอุ่นภายในบ้านเรือนหรือตามอาคารต่างๆ รวมทั้งนำไปใช้ในกระบวนการผลิตภายในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นน้ำร้อนโดยตรงก็ได้แล้วแต่ความต้องการ

2.2.4.2 การผลิตพลังงานไฟฟ้า

การผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ การนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำในหม้อน้ำ (Boiler) แล้วน้ำไอร้อนที่รวบรวมได้ไปใช้หมุนเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Steam Turbine) เพื่อผลิตไฟฟ้าอีกต่อหนึ่ง

2.2.4.3 การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการหมักขยะมูลฝอยประเภทสารอินทรีย์ในภาวะที่ไร้ออกซิเจนเพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ สำหรับใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือความร้อน ส่วนกากที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปใช้ในการปลูกพืชได้อีก ส่วนประกอบของก๊าซส่วนใหญ่ได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอาจจะมีก๊าซแอมโมเนีย รวมทั้งไอน้ำเกิดขึ้นด้วยแต่การคัดแยกเฉพาะสารอินทรีย์ และนำไปหมักในถังหรือบ่อหมักเฉพาะ จะให้สัดส่วนก๊าซมีเทนมากกว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ

2.2.5 การประเมินประสิทธิภาพของการจัดการขยะมูลฝอย

ตารางการประเมินประสิทธิภาพนั้นสะท้อนให้เห็นถึงวัตถุประสงค์ในมุมมองที่ต่างกัน โดยทางผู้จัดทำโครงงานได้ทำการนำมุมมองด้านกระบวนการภายใน (Internal Processes) และด้านต้นทุนและค่าใช้จ่าย (Financial) ดังตารางที่ 2.1 มาผนวกเข้ากับเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโลจิสติกส์ของขยะเทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 2.1 การประเมินประสิทธิภาพของการจัดการขยะมูลฝอย

Perspective	Objective	Pls. units and method of calculation
Clients	CP.1. Meet the citizens	CP,1, Citizens satisfaction index(%)... $\frac{\text{No. of questionnaires with GOOD x 1+No. of questionnaires with REASONABLE x 0.6+No. of questionnaires INPROVE x 0.3}}{\text{(No. of questionnaires carried out−No. of NO OPINON questionnaries)}} \times 100$
Internal Processes	IPP.1. Comply with the national strategy for waste	IPP.1.1.Landfill(%) = $\frac{\text{Mix solid waste}}{\text{Municipal waste produce}} \times 100$ IPP.1.2. Solid waste production per capita (kg/cap.day) = $\frac{\text{Mixed solid waste produced}}{\text{(Resident population/reference period}}$ IPP.1.3. Recycling rate(%) = $\frac{\text{recyclable waste produced}}{\text{Mixed solid waste produced}} \times 100$
	IPP.2. Improving the operational service	IPP.2.1. Equipment cleaning(-) = $\frac{\text{Disposal equipment sanitized semi−buried}}{\text{Disposal equipment installed semi−buried}}$ IPP.2.2. Written response to complaints and suggestions(%) = $\frac{\text{Complaints and suggestions}}{\text{Responses to complaints and suggestion}} \times 100$ IPP.2.3. Use of the handling capacity (kg/equip year) = $\frac{\text{Mixed solid waste produced}}{\text{Handling equipment installed}}$ IPP.2.4. Vehicle park utilization (km/vehicle) = $\frac{\text{Distance travelled by waste collection vehicles}}{\text{No.of vehicles used for waste management collection}}$
	IPP.3. Productivity evaluation	IPP.3.1. Vehicle park capacity (kg/m^3year) = $\frac{\text{Mixed solid waste collected+Odd−dimension waste collected}}{\text{installed capacity of waste collection vehicles}}$ IPP.3.2. Dimension of full-time staff (workers/10^3 t)= $\frac{\text{Personel assigned to the waste management service}}{\text{Mixed solid waste collected+Odd−dimension waste collected} \times 10^3}$ IPP.3.3. Mixed waste disposal capacity (l/inhab.) = $\frac{\text{Volume of disposal equipment installed}}{\text{Resident population}}$
	IPP.4. Reduce non-renewable resources and greenhouse	IPP.4.1. Energy resource use (l/t) = $\frac{\text{Fuel consumed}}{\text{Mixed solid waste collected+Odd−dimension waste collected}}$ IPP4.2. Emission of greenhouse gases (kg/CO_2/t) = $\frac{co_2\text{emissions form waste collected vehicles}}{\text{Mixed solid waste collected+Odd−dimension waste collected}}$
	IPP.5. Optimize the life cycle of waste	IPP.5.1 Waste separation rate for recycling (%) = $\frac{\text{Separation of waste per type of waste(glass,plastic,metallic)}}{\text{Recycles waste collected}} \times 100$ IPP.5.2 Yard waste recovery rate (%) = $\frac{\text{Yard waste sent to organic recovery}}{\text{Yard waste produced}} \times 100$

ที่มา : Mendes et al., Ecological Indicators 30, 2013

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) การประเมินประสิทธิภาพของการจัดการขยะมูลฝอย

Perspective	Objective	PIs, units and method of calculation
Internal Processes	IP.6 Minimize accident risks	IPP.6.1 Work accidents (number/100 workers year) = $\frac{\text{Accidents at work}}{\text{Personnel assigned to the waste management service}}$
	IPP.7 Promote awareness	IPP.7.1 Awareness actions (%) = $\frac{\text{Awareness actions performed}}{\text{6 awareness actions planned in a 3 years period}} \times 100$
	IPP.8 Develop projects/services	IPP.8.1 Projects/services implementation (number/year) = No. of projects and services planned and implemented
Learning and Growth	LGP.1 Increase motivation and attendance	LGP.1.1 Absenteeism (%) = LGP.1.1. Absenteeism (%) = $\frac{\text{Missed work days}}{\text{Working days} \times \text{Personnel assigned to the waste management service}} \times 100$
	LGP.2 Developing skills	LGP.2.1 Total training hours (h/workers year) = $\frac{\text{Hours of training assisted}}{\text{Personnel assigned to the waste management service}}$
	LGP.3 Increase the performance evaluation	LGP.3.1 Performance assessment index (%) = $\frac{(\text{No. of assessed with Relevant} \times 1 + \text{No. of assessed with Fit} \times 0.6 + \text{No. of assessed with Inadequate} \times 0.3)}{\text{Total assessed}} \times 100$
Financial	FP.1 Meet and optimize the budget	FP.1.1 Waste disposal cost(€/t) = $\frac{\text{Costs of waste disposal in landfills}}{\text{Municipal waste going to landfill}}$
		FP.1.2 Total costs (€/year) = Sum of total annual costs
		FP.1.3 Annual revenue (€/year) = Sum of annual waste − related tax revenues

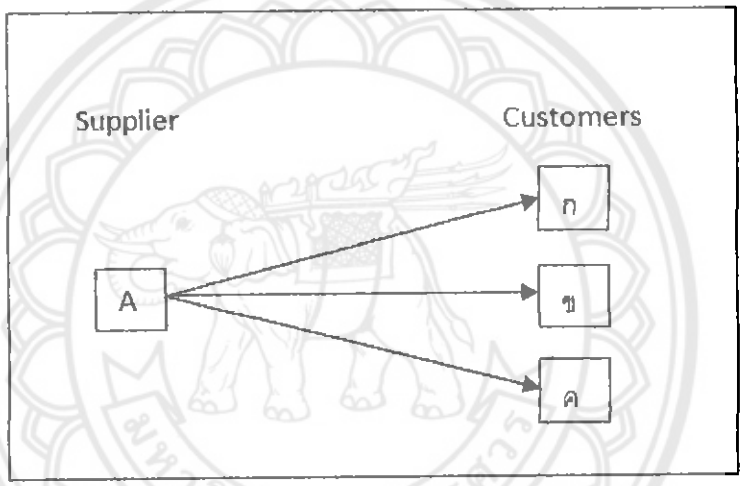
ที่มา : Mendes et al., Ecological Indicators 30, 2013

2.3 การออกแบบการขนส่ง

การจัดการการขนส่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้าในด้านเวลา และต้นทุน การออกแบบการขนส่งมีหลายทางเลือก (ไชยยศ ไชยมั่นคง และ มยุขพันธุ์ ไชยมั่นคง, 2554 : 107) ดังนี้

2.3.1 การขนส่งตรง (Direct Shipment)

การขนส่งตรง คือ การส่งสินค้าจากโรงงานเต็มคันรถตรงไปให้ลูกค้าแต่ละราย โดยสินค้าไม่ผ่านคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้า และไม่มีการเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะระหว่างทาง ข้อดีของการขนส่งตรง คือ ไม่ต้องใช้คลังสินค้า รวดเร็ว และระยะทางขนส่งสั้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การขนส่งตรง

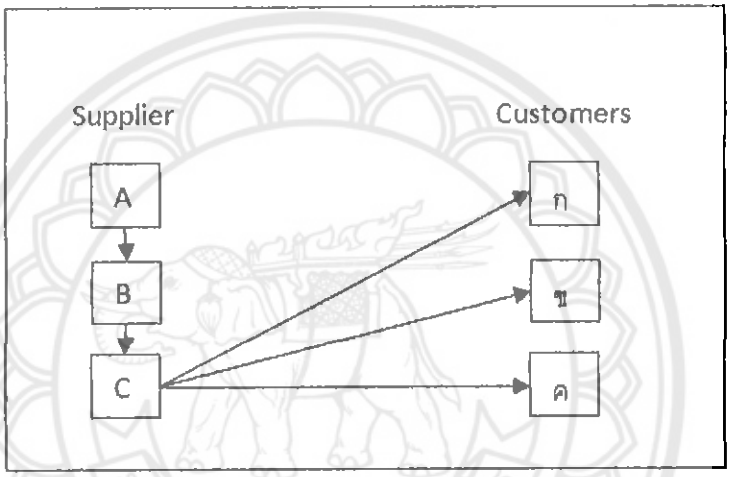
ที่มา : กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy)

2.3.2 การขนส่งตรงแบบ Milk Runs (Direct Shipment with Milk Runs)

การขนส่งตรงแบบ Milk Runs เป็นวิธีขนส่งเพื่อใช้ระวางยานพาหนะให้ได้ประโยชน์สูงสุดหรือเต็มคันรถ มีดังนี้

2.3.2.1 การขนส่งตรงแบบรวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้ารายเดียว

การขนส่งตรงผลิตภัณฑ์ไม่ต้องเก็บรักษา หรือพักที่คลังสินค้าทำให้สามารถลดต้นทุนการขนส่ง และส่งมอบได้รวดเร็ว วิธีการขนส่งดังกล่าวจะใช้ได้กับลูกค้าที่ซื้อปริมาณสินค้ามากพอเต็มคันรถ ในกรณีลูกค้าซื้อสินค้าไม่มากพอเต็มคันก็มีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีขนส่งแบบ Milk Runs โดยรวบรวมผลิตภัณฑ์จากหลายโรงงานเต็มคันรถไปให้ลูกค้าแต่ละราย ดังรูปที่ 2.2

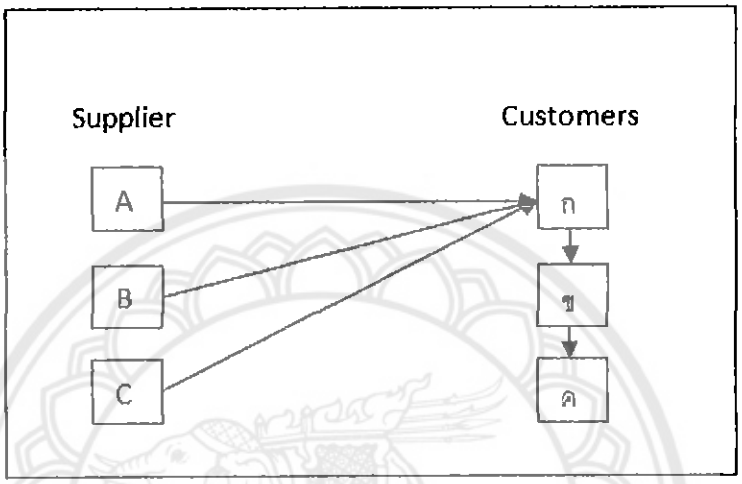


รูปที่ 2.2 การขนส่งแบบรวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้ารายเดียว

ที่มา : กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy)

2.3.2.2 การขนส่งตรงแบบจากโรงงานไปให้ลูกค้าหลายราย

การขนส่งตรงจากโรงงานไปให้ลูกค้า สามารถทำได้หากมีปริมาณสินค้ามากพอเต็มคันรถ ในกรณีลูกค้าแต่ละรายสั่งซื้อสินค้าในปริมาณไม่มากพอเต็มคันรถก็สามารถใช้วิธีการขนส่งแบบ Milk Runs ได้ โดยยานพาหนะบรรทุกสินค้าเต็มคันรถจากโรงงานไปให้ลูกค้าหลายราย วิธีขนส่งแบบนี้จะลดต้นทุนขนส่ง และเพิ่มระดับการให้บริการลูกค้า ดังรูปที่ 2.3

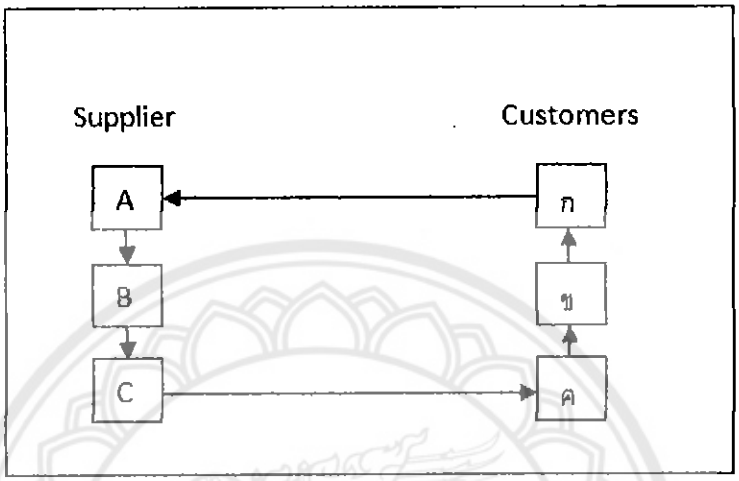


รูปที่ 2.3 การขนส่งตรงแบบจากโรงงาน ไปให้ลูกค้าหลายราย

ที่มา : กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy)

2.3.2.3 การขนส่งตรงแบบรวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้าหลายราย

วิธีขนส่งที่กล่าวมาเป็นแบบ Milk Runs จากซัพพลายเออร์หลายราย หรือไปให้ลูกค้าหลายราย วิธีขนส่งแบบนี้สามารถนำมาใช้โดยรวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายเต็มคันรถแล้วไปกระจายส่งให้ลูกค้าหลายราย ดังรูปที่ 2.4

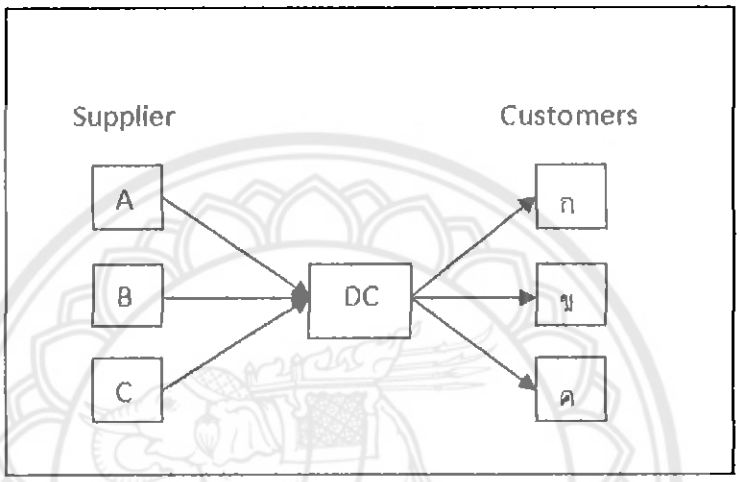


รูปที่ 2.4 การขนส่งตรงแบบรวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้าหลายราย

ที่มา : กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy)

2.3.3 การขนส่งแบบใช้ศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดผ่าน (Transportation with Cross Docking)

การขนส่งแบบ Cross Docking เป็นวิธีขนส่งที่ใช้ศูนย์กระจายสินค้า หรือคลังสินค้าเป็นจุดสินค้าเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะ สินค้าที่มาจากหลายโรงงานจะขนลงจากรถบรรทุกแล้วคัดแยกและรวบรวมไปให้ลูกค้าโดยไม่มีการจัดเก็บสินค้าที่ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center : DC) การขนส่งแบบ Cross Docking จึงใช้คลังสินค้าเป็นเพียงจุดผ่านเท่านั้น ดังรูปที่ 2.5



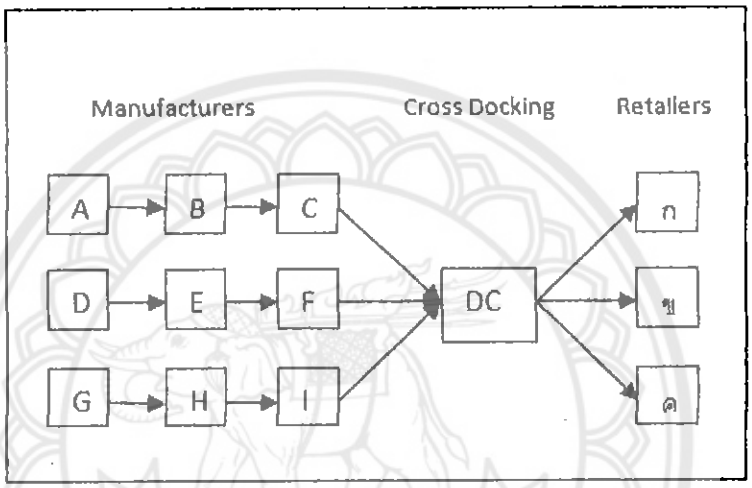
รูปที่ 2.5 การขนส่งแบบใช้ศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดผ่าน
ที่มา : กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy)

2.3.4 การขนส่งแบบ Cross Docking กับ Milk Runs (Cross Docking Shipment with Milk Runs)

การขนส่งแบบประสมระหว่าง Cross Docking กับ Milk Runs เป็นการใช้ประโยชน์หรือข้อดีของทั้งสองวิธี วิธีการขนส่งแบบประสม มีดังนี้

2.3.4.1 การขนส่งแบบ Cross Docking และ Milk Runs จากผู้ผลิตหลายราย

รถบรรทุกรวบรวมสินค้าจากหลายโรงงานเต็มคันรถ มายังศูนย์กระจายสินค้าเพื่อคัดแยก และรวบรวมแล้วส่งไปให้ร้านค้าปลีกแต่ละรายแบบเต็มคันรถ ดังรูปที่ 2.6

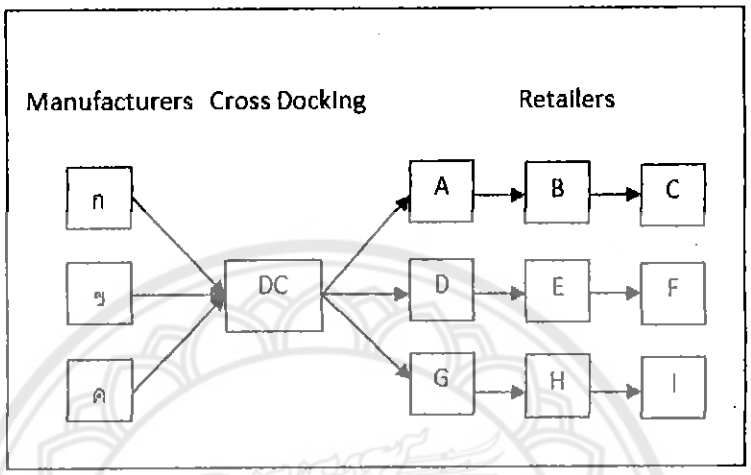


รูปที่ 2.6 การขนส่งแบบ Cross Docking และ Milk Runs จากผู้ผลิตหลายราย

ที่มา : กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy)

2.3.4.2 การขนส่งแบบ Cross Docking และ Milk Runs ไปให้ลูกค้าหลายราย

สินค้าจากหลายโรงงานบรรทุกเต็มคันรถมาที่ศูนย์กระจายสินค้าเพื่อจำแนก และรวบรวมสินค้าเต็มคันรถไปให้ร้านค้าปลีกแต่ละร้าน วิธีขนส่งแบบนี้ทำให้ใช้ประโยชน์ระวางยานพาหนะเต็มที่ซึ่งสามารถลดต้นทุนขนส่ง และเพิ่มความถี่การให้บริการ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การขนส่งแบบ Cross Docking และ Milk Runs ไปให้ลูกค้าหลายราย
ที่มา : กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy)

2.3.5 การออกแบบขนส่งตามขนาดลูกค้า (Transportation Design by Size of Customers)

การออกแบบขนส่งจะต้องพิจารณาขนาดของลูกค้าและที่ตั้ง ลูกค้ารายใหญ่ที่ซื้อสินค้ามากใช้การขนส่งตรงแบบสินค้าเต็มคันรถ ส่วนลูกค้ารายเล็กซึ่งสินค้าไม่เต็มคันรถใช้วิธีรวมสินค้าไปในรถคันเดียวแบบ Milk Runs

2.3.6 การออกแบบขนส่งตามความหนาแน่นลูกค้าและระยะทาง (Transportation Design by Customers Density and Distance)

การออกแบบขนส่งต้องพิจารณาปัจจัยด้านความหนาแน่น และระยะทางเพื่อให้การขนส่งมีประสิทธิภาพ ดังนี้

2.3.6.1 ลูกค้ากระจุกตัวหนาแน่นมาก

ลูกค้าควรพิจารณาระยะทางการประกอบการออกแบบขนส่ง ดังนี้ กระจุกตัวหนาแน่น และระยะใกล้ ใช้วิธีขนส่งแบบ Milk Runs, การกระจุกตัวหนาแน่น และระยะทางปานกลาง ใช้วิธีขนส่งแบบ Cross Docking กับ Milk Runs, การกระจุกตัวหนาแน่น และระยะทางไกล ใช้วิธีขนส่งแบบ Cross Dock กับ Milk Runs

2.3.6.2 ลูกค้ากระจุกตัวหนาแน่นปานกลาง

ลูกค้ากระจุกตัวปานกลางใช้วิธีขนส่ง ดังนี้ กระจุกตัวหนาแน่นปานกลางและระยะทางใกล้ ใช้วิธีขนส่งแบบ Milk Runs, กระจุกตัวหนาแน่นปานกลาง และระยะทางปานกลาง การใช้ยานพาหนะของบริษัทอาจมีต้นทุนสูง บริษัทจึงควรใช้บริการผู้รับจ้างขนส่งทั่วไปหรือผู้รับส่งพัสดุภัณฑ์, กระจุกตัวหนาแน่นปานกลาง และระยะทางไกล กรณีปริมาณสินค้ามากใช้บริการผู้รับจ้างขนส่งทั่วไป กรณีสินค้าน้อยใช้บริการขนส่งพัสดุภัณฑ์

2.3.6.3 ลูกค้าอยู่กระจัดกระจาย

การจัดการการขนส่ง มีข้อพิจารณา 2 ประการ คือ ปริมาณสั่งซื้อ และระยะทางลูกค้าอยู่ใกล้โรงงานหรือคลังสินค้าของบริษัท และสั่งซื้อปริมาณมากการใช้ยานพาหนะของบริษัทก็มีความเป็นไปได้ ลูกค้ารายย่อย และกระจัดกระจายใช้บริการผู้รับจ้างขนส่งทั่วไปหรือผู้รับส่งพัสดุภัณฑ์

2.3.7 การออกแบบขนส่งตามอุปสงค์ผลิตภัณฑ์และมูลค่า (Transportation Design by Product Demand and Value)

การออกแบบขนส่งตามอุปสงค์ผลิตภัณฑ์และมูลค่า มีดังนี้

2.3.7.1 มีอุปสงค์มากและมูลค่าสูง

สินค้ามูลค่าสูงมีต้นทุนสินค้าคงคลังสูง บริษัทจะไม่สต็อกสินค้าทุกแห่ง แต่จะเก็บไว้ที่คลังสินค้ากลาง การขนส่งสินค้าไปเติมสินค้าคงคลังให้ลูกค้าใช้รูปแบบขนส่งต้นทุนต่ำ

2.3.7.2 สินค้าที่มีอุปสงค์มากแต่มูลค่าต่ำ

เก็บสินค้าไว้ที่คลังสินค้าที่อยู่ใกล้ลูกค้า ซึ่งจะลดต้นทุนขนส่ง การส่งสินค้าไปเติมสินค้าคงคลังให้ลูกค้าใช้รูปแบบการขนส่งต้นทุนต่ำ โดยที่คลังสินค้าอยู่ใกล้ลูกค้า

2.3.7.3 สินค้าที่มีอุปสงค์น้อยแต่มูลค่าสูง

บริษัทต้องเก็บสต็อกน้อยที่สุดโดยเก็บไว้ที่คลังสินค้ากลาง และใช้รูปแบบขนส่งที่รวดเร็ว

2.3.7.4 สินค้าที่มีอุปสงค์น้อยและมูลค่าต่ำ

สินค้าประเภทนี้ให้เก็บไว้ที่คลังสินค้ากลาง และใช้รูปแบบขนส่งต้นทุนต่ำ

2.4 โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)

รูปแบบทั่วไปของโปรแกรมเชิงเส้น เป็นรูปแบบซึ่งสามารถจะปรับใช้ได้กับปัญหาต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะฟังก์ชันเป้าหมายอาจใช้ได้ในรูป กำไร ค่าใช้จ่าย การสูญเสีย เศษเหลือ จำนวนคนงานที่น้อยที่สุดที่จะจ้าง ฯลฯ ส่วนข้อจำกัดอาจจะอยู่ในรูปของข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ หรือที่อาจจะหาได้ ข้อจำกัดด้านการตลาด ข้อจำกัดด้านคุณภาพ ฯลฯ (ประกอบ จิรกิติ, 13 ธันวาคม 2533)

2.4.1 ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้น

2.4.1.1 ปัญหาการผลิต (Product Mix Problem) เป็นการพิจารณาหาปริมาณสินค้าแต่ละประเภทที่ควรจะทำการผลิต เพื่อที่จะให้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ไม่ว่าจะเป็น เครื่องจักร วัตถุดิบ แรงงาน นั้นเป็นไปอย่างเหมาะสม เพื่อที่จะได้ผลตอบแทนสูงสุด

2.4.1.2. ปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) เป็นการพิจารณาหาปริมาณสินค้าที่จะทำการขนส่งจากแหล่งผลิตสินค้าไปยังผู้บริโภคหรือจุดหมายปลายทาง เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด หรือส่งสินค้าถึงจุดหมายปลายทางได้เร็วที่สุด

2.4.2 ข้อสมมุติฐาน

การที่เราจะนำเอาวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น ไปใช้ในการแก้ปัญหาใดก็ตาม เราจะต้องพิจารณาในขั้นต้นว่า ปัญหาที่เราจะนำวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นไปใช้นั้น สอดคล้องกับข้อสมมุติฐาน (Underlying Assumptions) ของการโปรแกรมเชิงเส้นหรือไม่ ในกรณีที่ปัญหานั้นสอดคล้องกับข้อสมมุติฐานก็ใช้ได้ มิฉะนั้น หากเรานำเอาวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นไปใช้กับปัญหาซึ่งไม่ใช่ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น เช่น ปัญหาการโปรแกรมที่ไม่ใช่เชิงเส้น (Nonlinear Programming Problem) คำตอบที่ได้ (หากสามารถหาคำตอบได้) ก็จะเป็นคำตอบที่ไม่ถูกต้อง หรือไม่มีความหมายไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้

2.4.3 รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้น

รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้นมีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นที่พิจารณาอยู่นั้น เป็นปัญหาในลักษณะที่ต้องการหาค่าสูงสุด (Maximization) หรือต้องการหาค่าต่ำสุด (Minimization) ซึ่งจะเขียนได้ ดังสมการที่ 2.1 ถึง 2.3

2.4.3.1 ในกรณีหาค่าสูงสุด

หาค่าสูงสุดของ

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \qquad (2.1)$$

ภายใต้ข้อจำกัด

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\cdots \\ &\cdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n &\leq b_m \end{aligned} \qquad (2.2)$$

และ

$$x_1, x_2, \ldots, x_n \geq 0 \qquad (2.3)$$

โดยที่

x_j = ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) หรือจำนวนหน่วยของกิจกรรมที่ j ที่จะตัดสินใจทำ เช่น อาจหมายถึงจำนวนหน่วยของสินค้าที่ j ที่เราจะทำการผลิต j = 1, 2, . . ., n

c_j = ผลตอบแทน (Profit หรือ Return) ที่ได้จากการตัดสินใจทำกิจกรรมที่ j หนึ่งหน่วย เช่นในกรณีของการผลิตสินค้าชนิดที่ j หนึ่งหน่วย j = 1, 2, . . . , n

a_{ij} = จำนวนทรัพยากรชนิดที่ 1 ที่จะใช้ในการทำกิจกรรมที่ j หนึ่งหน่วย (Resource Consumption Rate) i = 1, 2, . . ., m และ j = 1, 2, . . ., n

b_i = จำนวนทรัพยากร (Resource) ชนิดที่ i ที่มีอยู่เพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ I = 1, 2, . . ., m

2.4.3.2 ในตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นมาตรฐานนี้ เราต้องการที่จะหาค่าของตัวแปรตัดสินใจ x_j ต่างๆ ว่าควรจะมีค่าเป็นเท่าไร จึงจะทำให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าสูงสุด โดยที่ตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้จะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัด ในการใช้ทรัพยากรทั้ง m ข้อจำกัด คือ ใช้ทรัพยากรไม่เกินปริมาณทรัพยากรที่เรามีอยู่ตลอดจนทั้งมีค่าไม่น้อยกว่าศูนย์ด้วย ค่า a_{ij}, b_i และ c_j ในตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นนี้ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เราทราบว่ามีค่าเป็นเท่าใด

2.4.3.3 ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นมาตรฐาน โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน คือ

ก. ฟังก์ชันเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ (Objective Function) ได้แก่ สมการที่ 2.1

ข. สมการข้อจำกัดของปัญหา (Function Constraints) ได้แก่สมการที่ 2.2

ค. สมการข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจที่จะต้องเป็นค่าไม่ติดลบ (Non-Negativity Constraint) ได้แก่ สมการที่ 2.3

2.5 Microsoft Excel Solver

Solver เป็นโปรแกรมย่อย (Add In) หนึ่งของโปรแกรมเอ็กเซล มีไว้เพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาประเภทต้องการคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด Solver สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่แท้จริงได้ แต่ไม่เสมอไป เพราะบางครั้งอาจให้เพียงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายในขอบเขตหนึ่ง หรือบางครั้งอาจให้เพียงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเท่าที่หาได้ภายในเวลาที่กำหนด (ศักดิ์สิทธิ์ ศุขสุเมฆ, 2557)

วิธีแก้ปัญหาที่ใช้โดย Solve สามารถเลือกอัลกอริธึม หรือวิธีแก้ปัญหาวิธีใดวิธีหนึ่งจากสามวิธีต่อไปนี้ ในกล่องโต้ตอบ Solver Parameters คือ

2.5.1 Gneralized Reduced Gradient (GRG) Nonlinear ใช้สำหรับปัญหาที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นแบบเรียบ

2.5.2 LP Simplex ใช้สำหรับปัญหาที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น

2.5.3 Evolutionary ใช้สำหรับปัญหาที่มีลักษณะไม่เรียบ

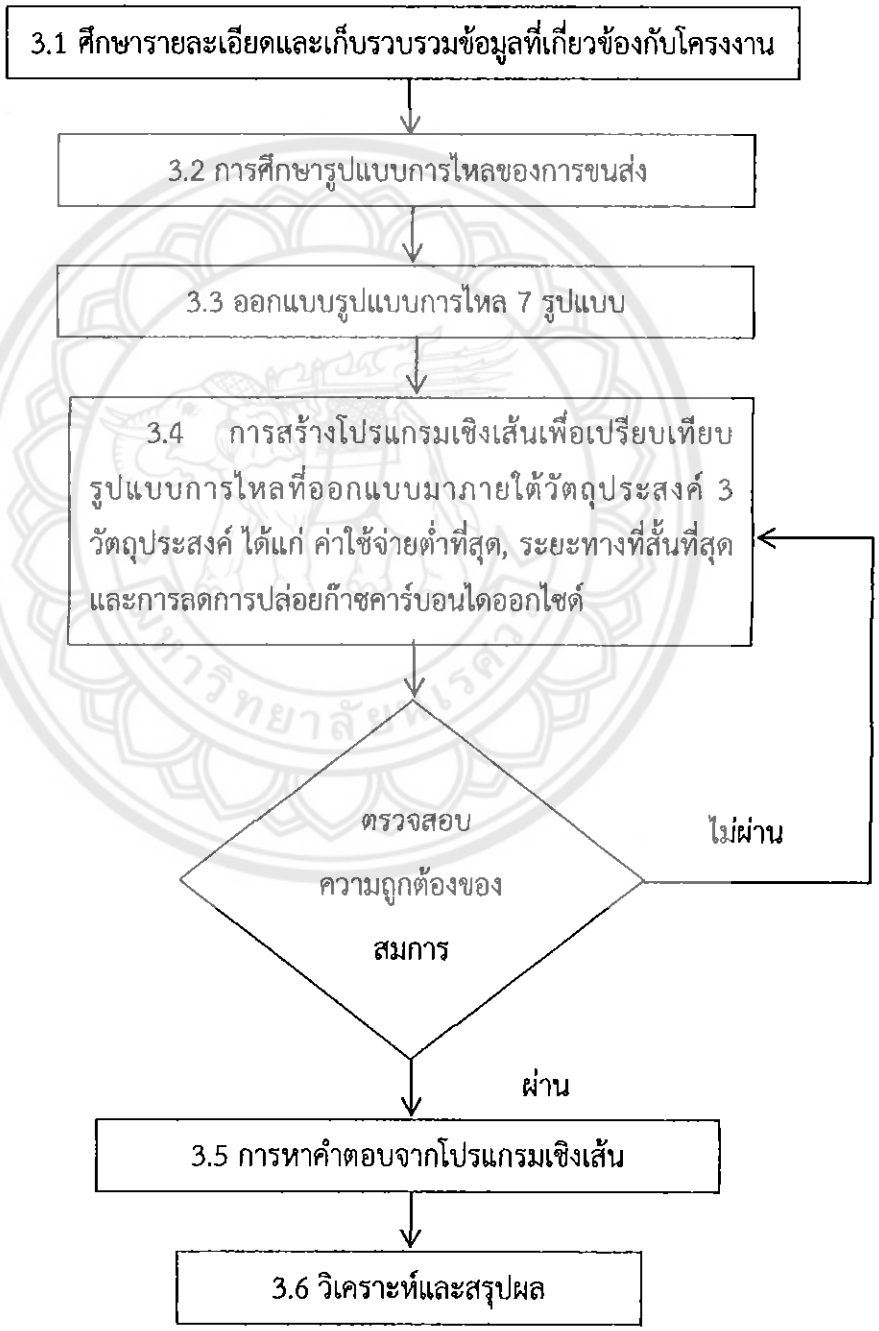
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ และวิทยา จันทร์ทรง (2548) ได้ศึกษาการจัดเส้นทางรถขนขยะในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่มีการประยุกต์การทำงานของโปรแกรม Arc View มีวัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อให้ได้มาซึ่งฐานข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สามารถนำไปสนับสนุนการจัดเส้นทางการจัดเก็บขยะของรถขนขยะลดลงเมื่อเทียบกับเส้นทางการจัดเก็บเดิมร้อยละ 44.68 และสามารถลดจำนวนรถขนขยะได้ 1 คัน

ศุภดา โกยวิวัฒน์ตระกูล (2545) ศึกษาระบบการจัดส่งน้ำนมดิบที่มีประสิทธิภาพในเขตภาคเหนือตอนบน กล่าวถึงระบบเส้นทางการขนส่ง ต้นทุนการขนส่งน้ำนมดิบ ซึ่งจะทำการประเมินค่าโดยวิธีถดถอย (Regression) และวิธีการขนส่งน้ำนมดิบของเกษตรกรจะใช้แบบจำลองแล้วใช้โลจิสติกส์ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษา เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม (ต้นทุนที่ต่ำที่สุด) ในการขนส่งน้ำนมดิบจากฟาร์มไปสู่ศูนย์รวบรวมนมและโรงงานแปรรูปในเขตภาคเหนือตอนบน โดยใช้โปรแกรมเส้นตรง (Linear Programming) ในการวิเคราะห์

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

ในการดำเนินการศึกษารูปแบบเส้นทางการขนถ่ายขยะให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ต่างๆ ผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดขั้นตอนการทำงานที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



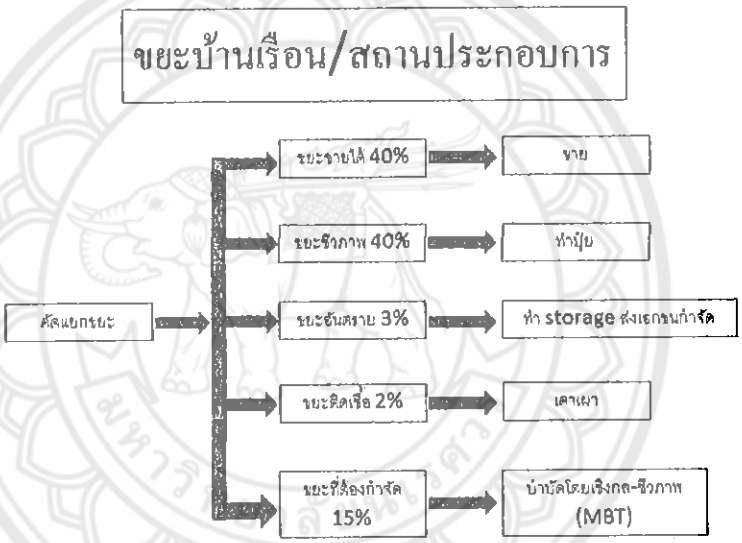
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1 การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องการบริหารจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน การออกแบบการขนส่งและโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว ยังศึกษาหาข้อมูลการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลฯ โดยข้อมูลด้านการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลนครพิษณุโลก มีดังนี้

3.1.1 ปริมาณและองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

ปัจจุบันเทศบาลนครพิษณุโลกมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 81 ตันต่อวัน เทศบาลนครพิษณุโลกได้ดำเนินการศึกษาสำรวจองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ณ สถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย ดังรูปที่ 3.1

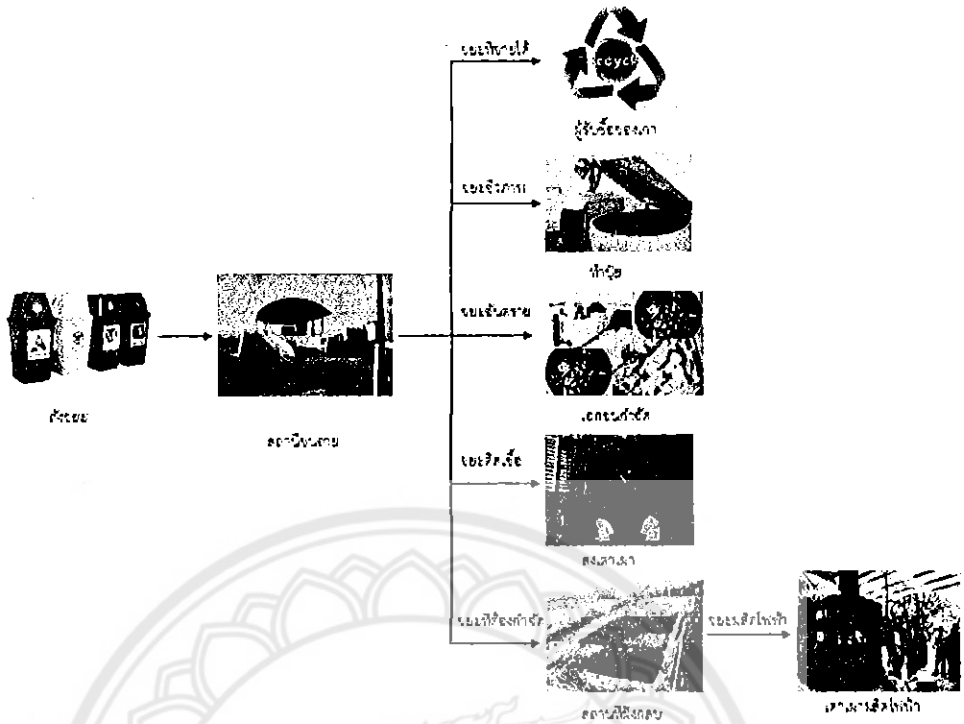


รูปที่ 3.2 แผนผังการจัดการขยะของเทศบาลนครพิษณุโลก

ที่มา : เทศบาลนครพิษณุโลก

3.1.2 การขนส่งขยะมูลฝอย

เทศบาลนครพิษณุโลกดำเนินการเก็บขนขยะมูลฝอย โดยรถบรรทุกขยะมูลฝอยซึ่งจะทำการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยจากจุดต่างๆ จนเต็มคันรถ แล้วนำมารวบรวมที่สถานีขนถ่ายตั้งอยู่ที่ตำบลท่าทอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก ซึ่งได้เริ่มเปิดทำการเมื่อ เดือนพฤษภาคม 2545 มีระยะทางห่างจากเขตเทศบาลนครพิษณุโลกประมาณ 15 กิโลเมตร เพื่อทำการขนส่งขยะคราวละมากๆ ไปยังสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ปัจจุบันมีรถลากตู้คอนเทนเนอร์ จำนวน 3 คัน นำขยะไปประมาณวันละ 7 - 8 เที่ยว รูปแบบการขนส่งขยะมี ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.3 รูปแบบการขนส่งขยะเทศบาลนครพิษณุโลก

ที่มา : http://library.mju.ac.th/km/doc/2arnPhitsanulok_model.PDF

3.1.3 การกำจัดขยะมูลฝอย

เทศบาลนครพิษณุโลกได้จัดหาที่ดินขนาดพื้นที่ 230 ไร่ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณบ้านบึงกอก ต.บึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก เพื่อใช้เป็นที่ฝังกลบขยะ มีระยะทางห่างจากเขตเทศบาลฯ ไปจุดฝังกลบประมาณ 30 กม. โดยทำการก่อสร้างบ่อฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล และได้เริ่มเปิดใช้งานในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2542 การดำเนินการกำจัดมูลฝอยนี้จะอยู่ภายใต้การดูแลของผู้เชี่ยวชาญอย่างใกล้ชิดก่อนที่ขยะมูลฝอยจะถูกฝังกลบ ได้มีการนำขยะไปบำบัด โดยวิธีเชิงกล – ชีวภาพ (Mechanical – Biological Waste Treatment : MBT)

3.1.4 การจัดการขยะติดเชื้อ

เทศบาลนครพิษณุโลกได้ดำเนินการจัดการขยะติดเชื้อ จากโรงพยาบาลและคลินิกต่างๆ ที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบ รวมถึงพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการทดสอบการใช้งานเตาเผาขยะแบบหมุน ขนาดไม่น้อยกว่า 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ณ บริเวณสถานีขนถ่ายขยะ ตำบลท่าทอง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

3.1.5 การคัดแยกขยะมูลฝอย

แนวทางในการดำเนินงานจะมุ่งเน้นไปที่ชุมชนเป็นหลัก โดยมีวัตถุประสงค์ให้มีการคัดแยกขยะจากต้นกำเนิด คือ ครัวเรือนในชุมชนต่างๆในความรับผิดชอบของเทศบาลนครพิษณุโลก เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ทางเทศบาลต้องนำไปกำจัด โดยเทศบาลได้มีแนวทางการคัดแยกขยะก่อนนำมาทิ้งให้ทางเทศบาลนำไปกำจัด คือ ขยะรีไซเคิล ขยะชีวภาพ ของเสียอันตราย และขยะติดเชื้อ

3.1.6 การกำจัดขยะมูลฝอย

การกำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลนครพิษณุโลกเดิม ใช้ระบบการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ปัจจุบันเทศบาลนครพิษณุโลกได้นำเทคโนโลยี บำบัดขยะโดยวิธีเชิงกล – ชีวภาพ

3.1.7 ข้อมูลรถยนต์เก็บขนขยะมูลฝอย

3.1.7.1 เทศบาลนครพิษณุโลก มีรถยนต์เก็บขนขยะมูลฝอย จำนวน 17 คัน แบ่งเป็น 3 ประเภท

ก. รถยนต์เก็บขนขยะแบบอัดท้าย จำนวน 1 คัน

ข. รถยนต์เก็บขนขยะแบบเทท้ายธรรมดา จำนวน 14 คัน

ค. รถยนต์เก็บขนขยะแบบตู้คอนเทนเนอร์ จำนวน 2 คัน

3.1.7.2 ความจุของรถยนต์เก็บขนขยะ มีดังนี้

ก. รถยนต์เก็บขนขยะแบบเทท้ายธรรมดา ความจุ 10.00 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 5 คัน

ข. รถยนต์เก็บขนขยะแบบเทท้ายธรรมดา ความจุ 8.76 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 8 คัน

ค. รถยนต์เก็บขนขยะแบบเทท้ายธรรมดา ความจุ 4.00 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1 คัน

ง. รถยนต์เก็บขนขยะแบบอัดท้าย ความจุ 10.00 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1 คัน

จ. รถยนต์เก็บขนขยะแบบตู้คอนเทนเนอร์ ความจุ 8.00 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 คัน

3.1.8 ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะของเทศบาลนครพิษณุโลก เพื่อให้ทราบถึง (Facility) ที่ต้องใช้ในการจัดการโลจิสติกส์

จากข้อมูลในรายงานได้ทำการเลือกเทคโนโลยีในการเผาขยะ เพื่อนำความร้อนไปต้มน้ำและให้ไอน้ำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังผลิตไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ โดยจะใช้ขยะแปรรูปวันละ 500 ตันต่อวัน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยอ้างอิงจากข้อมูลของทางเทศบาลนครพิษณุโลก (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

25
17224191
ศูนย์วิทยทรัพยากร
7 ก.พ. 2561

3.2 การศึกษารูปแบบการไหลของการขนส่ง

ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของการขนส่งในรูปแบบต่างๆ อย่างน้อย 7 รูปแบบ โดยมีการนำข้อมูลจากเทศบาลนครพิษณุโลกมาใช้ในการออกแบบการไหลของการขนส่งทั้งหมด เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อหารูปแบบการไหลของการขนส่งขยะที่ดีที่สุด

3.3 การเลือกรูปแบบการไหลที่ดีที่สุด

เลือกรูปแบบการไหลที่ดีที่สุด โดยวัตถุประสงค์ ดังนี้

3.3.1 การใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

3.3.2 การใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด

3.3.3 การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.4 การสร้างโปรแกรมเชิงเส้น

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาทำการวิเคราะห์และสร้างโปรแกรมเชิงเส้น โดยข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์นั้น จะอ้างอิงจากข้อมูลทางเทศบาลนครพิษณุโลก

3.5 การหาคำตอบจากโปรแกรมเชิงเส้น

นำโปรแกรมเชิงเส้นที่ได้มาลงในโปรแกรมวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบ (Solver) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

3.6 การวิเคราะห์และสรุปผลการทำโครงงาน

สรุปผลการออกแบบการไหลของขยะเทศบาลนครพิษณุโลก เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการดำเนินงาน แล้วจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

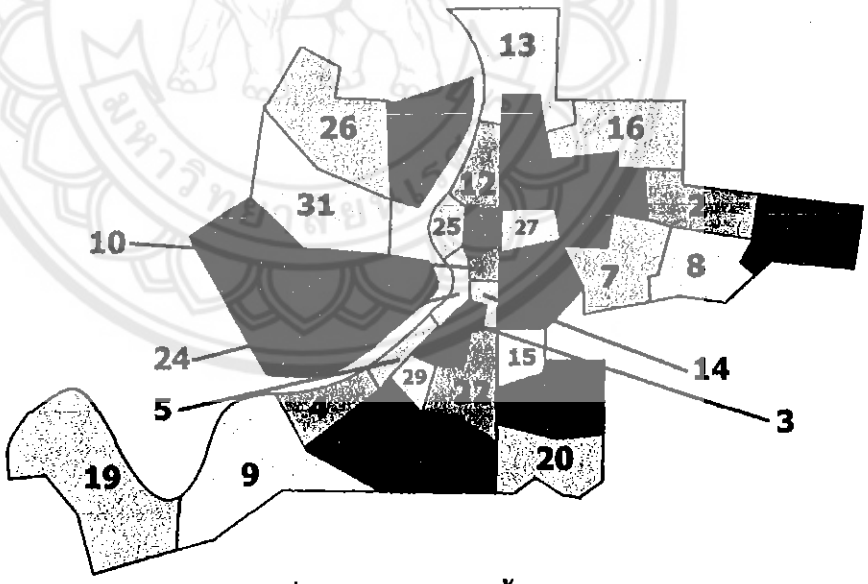
บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

บทนี้ กล่าวถึงผลการวิจัยโดยเริ่มนำเสนอผลในการแบ่งโซนจุดกำเนิดขยะ และการประมาณปริมาณขยะในแต่ละโซน โดยใช้ความจุสูงสุดของรถ จากนั้นทำการออกแบบการไหลของขยะทั้งหมด 7 รูปแบบ เพื่อทำการเปรียบเทียบภายใต้เป้าหมายที่ต่างกัน 3 เป้าหมาย ได้แก่ ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ระยะทางสั้นที่สุด และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด

4.1 การแบ่งโซนจุดกำเนิดขยะและการประมาณปริมาณขยะ

4.1.1 การแบ่งโซนจุดกำเนิดขยะ

เนื่องจากทางเทศบาลฯ มีการจัดเก็บขยะตามจุดต่างๆ ตามใบบันทึกเส้นทางการเก็บขนขยะ จึงใช้วิธีการแบ่งโซนการจัดเก็บขยะจากใบบันทึกเส้นทางการเก็บขนขยะที่ได้ขอข้อมูลจากทางเทศบาลนครพิษณุโลก โดยเลือกจุดใดจุดหนึ่งตามใบบันทึกเส้นทางการเก็บขนขยะเป็นจุดศูนย์กลางของแต่ละโซน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โซนเก็บขยะทั้ง 33 โซน

4.1.2 การประมาณปริมาณขยะของแต่ละโซน

ปริมาณขยะของทางเทศบาลนครพิษณุโลกมีจำนวน 81 ตัน / วัน (เทศบาลพิษณุโลก, 2557) จากโซนจุดกำเนิดขยะที่ได้แบ่งไว้ 33 โซน และรถขนถ่ายขยะมีความจุ (ลบ.ม.) ทำให้เป็นกิโลกรัม โดย 1 ลบ.ม. เท่ากับ 481 กิโลกรัม (N. N. Greenwood, 1997) ดังตารางที่ 4.1 ทั้งนี้รถขยะลำดับที่ 5 ใช้ขนขยะได้เฉพาะนอกเขตเทศบาลฯ เพราะมีขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.1 ความจุของรถแต่ละประเภท

ลำดับ	ประเภทรถ	ความจุ (ลบ.ม.)	แปลงความจุเป็นกิโลกรัม (กิโลกรัม)
1	อัดท้าย	10.00	4,810.00
2	เปิดข้าง เทท้าย	8.76	4,213.56
3	เปิดข้าง เทท้าย	8.00	3,848.00
4	เปิดข้าง เทท้าย	4.00	1,924.00
5	ขนถ่ายขนาดใหญ่	12.00	5,772.00

จากใบบันทึกเส้นทางการเก็บขนขยะได้มีการกำหนดรถที่ใช้ขนถ่ายขยะในแต่ละโซนไว้แล้ว ทางผู้จัดทำจึงได้ประมาณปริมาณขยะจากใบบันทึกเส้นทางการเก็บขนขยะ โดยคำนวณปริมาณขยะของแต่ละโซนขึ้นมา โดยใช้ความจุสูงสุดของรถแต่ละโซนนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตัวอย่าง การคำนวณสำหรับตารางที่ 4.2 จากใบบันทึกเส้นทางเก็บขยะโซน 1 ใช้รถเปิดข้างเทท้ายมีความจุ 4,213.56 กิโลกรัม

ปริมาณรวมของรถเก็บขยะคิดตามความจุสูงสุดของทั้ง 33 โซน คือ 149,187 กิโลกรัม

ปริมาณขยะที่เทศบาลพิษณุโลกเก็บได้คือ 81,000 กิโลกรัม / วัน

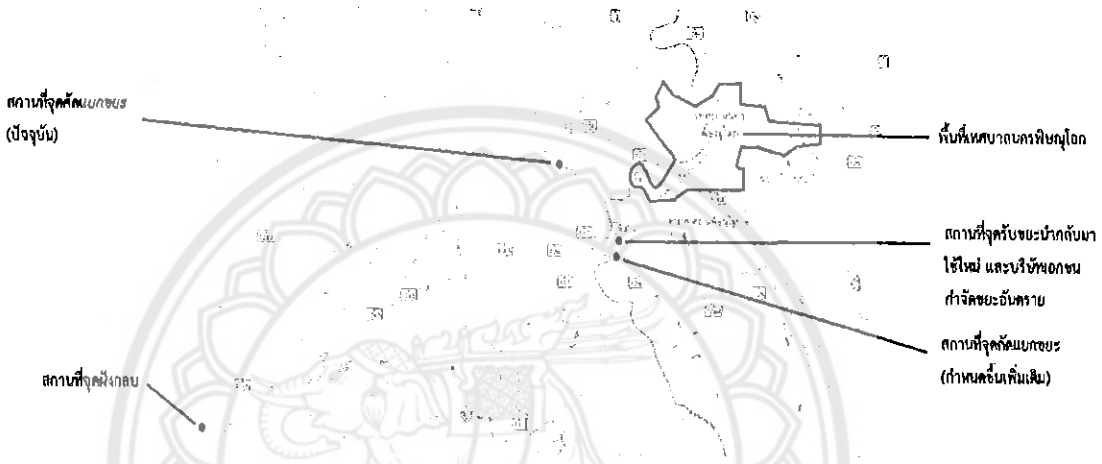
โซน 1 จึงสามารถประมาณปริมาณขยะได้เท่ากับ $\frac{4,213.56 \times 81,000}{149,187}$ = 2,287.72 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 การประมาณปริมาณขยะสำหรับแต่ละโซน

โซน	รถความจุ 4,810 กก.	รถความจุ 4,213.56 กก.	รถความจุ 3,848 กก.	รถความจุ 1,924 กก.	ปริมาณขยะที่เก็บเต็มคัน (กิโลกรัม)	ปริมาณที่ต้องเก็บ (กิโลกรัม)
1		1			4,213.56	2,287.72
2		1			4,213.56	2,287.72
3	1				4,810.00	2,611.56
4		1			4,213.56	2,287.72
5		1			4,213.56	2,287.72
6	1				4,810.00	2,611.56
7	1				4,810.00	2,611.56
8		1			4,213.56	2,287.72
9		1			4,213.56	2,287.72
10		1			4,213.56	2,287.72
11		1			4,213.56	2,287.72
12		1			4,213.56	2,287.72
13		1			4,213.56	2,287.72
14			1		3,848.00	2,089.24
15			3		11,544.00	6,267.73
16			1		3,848.00	2,089.24
17			1		3,848.00	2,089.24
18		1			4,213.56	2,287.72
19		1			4,213.56	2,287.72
20	1				4,810.00	2,611.56
21	1				4,810.00	2,611.56
22			2		7,696.00	4,178.49
23			1		3,848.00	2,089.24
24		1			4,213.56	2,287.72
25		1			4,213.56	2,287.72
26	1				4,810.00	2,611.56
27				1	1,924.00	1,044.62
28				1	1,924.00	1,044.62
29	1				4,810.00	2,611.56
30	1				4,810.00	2,611.56
31		1			4,213.56	2,287.72
32		1			4,213.56	2,287.72
33	1				4,810.00	2,611.56
รวม					149,187 กิโลกรัม	81,000 กิโลกรัม

4.2 การออกแบบการไหลของขยะ

การจัดการการขนส่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อตอบสนองความต้องการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะ และลดระยะทางในการขนส่งขยะ โดยใช้รูปแบบตามทฤษฎีทั้งหมด 5 รูปแบบ ดังหัวข้อ 2.3 และประยุกต์เพิ่มเติมจำนวน 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง และรูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง ที่ส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs โดยสถานที่จุดอำนวยความสะดวกต่างๆ มี ดังนี้

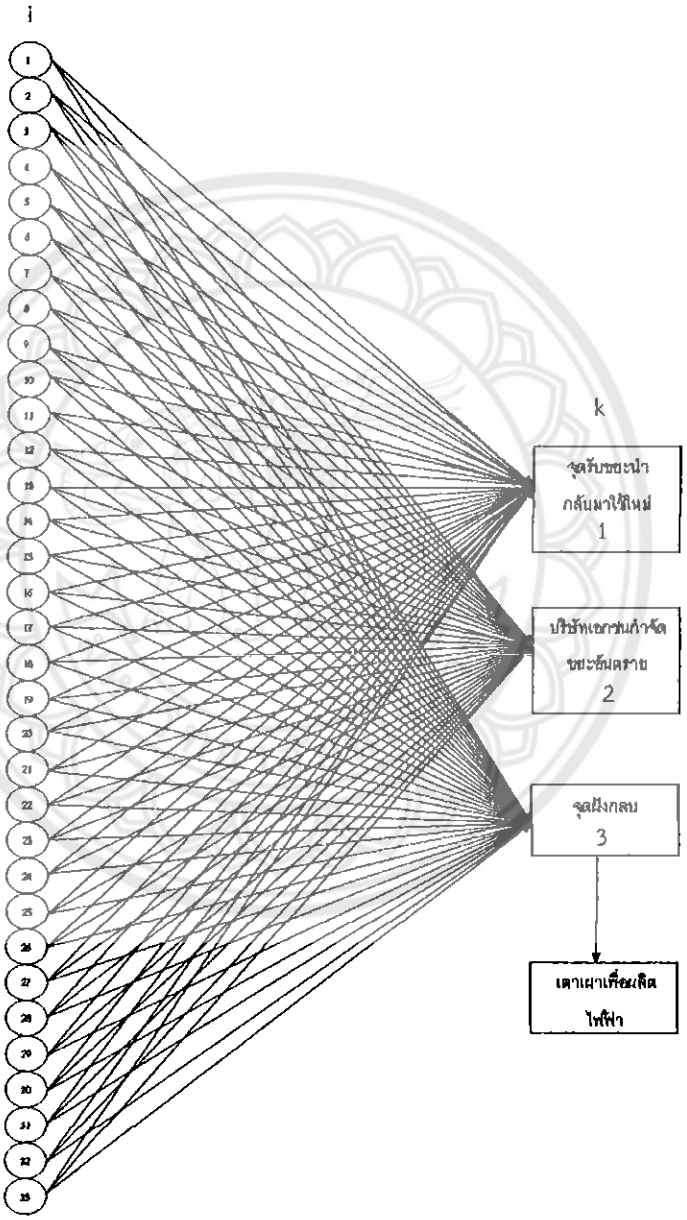


รูปที่ 4.2 สถานที่อำนวยความสะดวกต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 สถานที่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน คือ จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายกำจัดขยะอันตราย, จุดฝังกลบ และสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ส่วนสถานที่ที่กำหนดขึ้นใหม่ คือ สถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) โดยสถานีขนถ่ายขยะนี้จะรองรับปริมาณขยะได้ 40 ตัน เนื่องจากมีสถานที่ที่จำกัดต่อการคัดแยกขยะ

4.2.1 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment

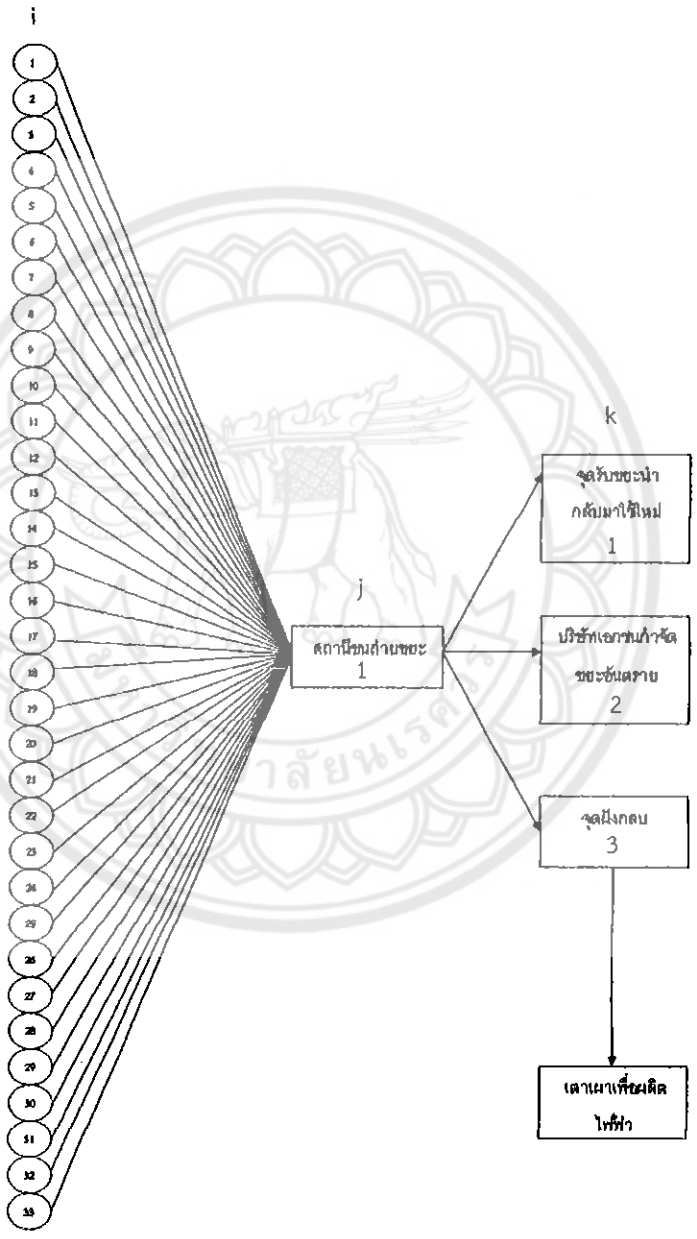
เป็นการขนส่งขยะจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายโดยตรง ซึ่งได้กำหนดให้ตำแหน่งทั้ง 33 โซนเป็นจุดเริ่มต้นในการขนถ่ายขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย, และจุดฝังกลบ ในแต่ละโซนจะคัดแยกขยะเอง โดยมีขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายร้อยละ 5, และจุดฝังกลบร้อยละ 55 ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment

4.2.2 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ

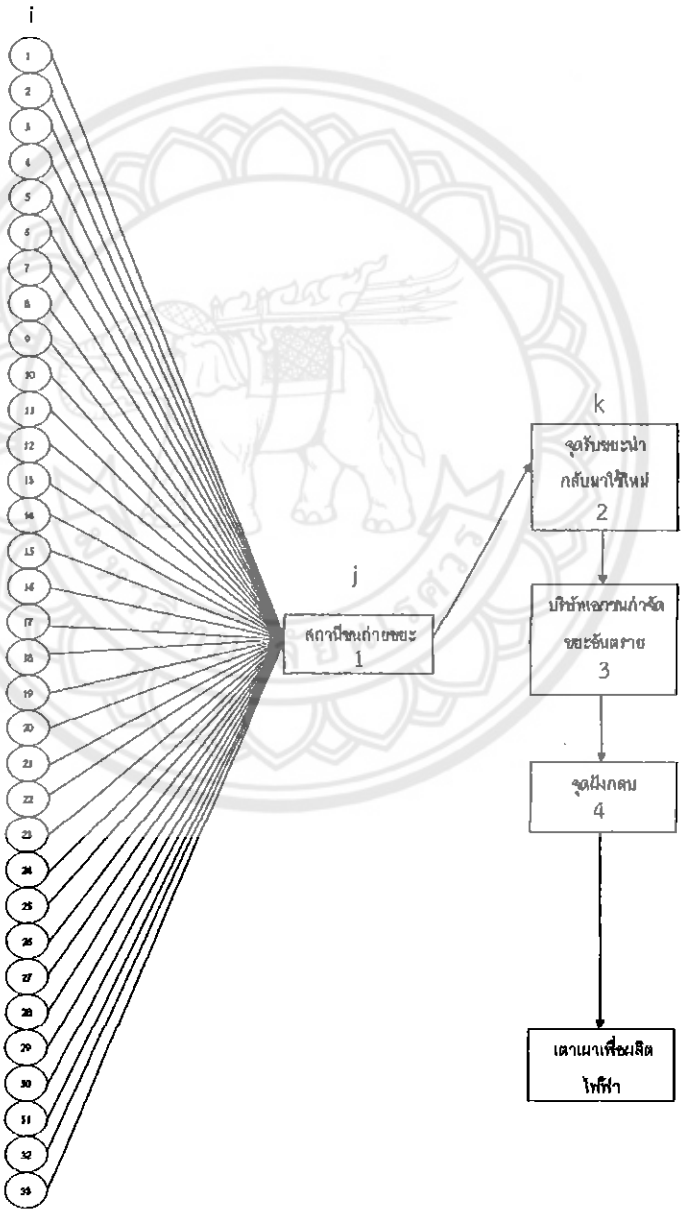
เป็นรูปแบบการขนส่งจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานีขนถ่ายขยะก่อนที่จะทำการส่งขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย, และจุดฝังกลบ โดยขยะจะถูกคัดแยกที่สถานีขนถ่าย และถูกส่งไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายร้อยละ 5, และจุดฝังกลบร้อยละ 55 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ

4.2.3 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs

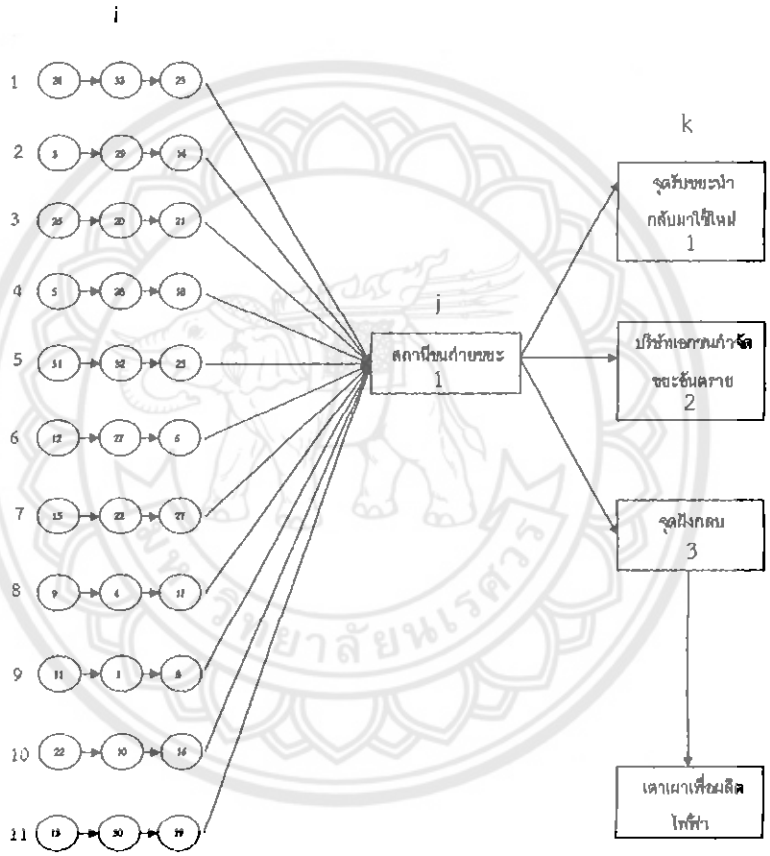
เป็นรูปแบบการขนส่งโดยกำหนดให้ตำแหน่งทั้ง 33 โซน เป็นจุดเริ่มต้นในการขนถ่ายขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะก่อน จากนั้นขยะทั้งหมดจะถูกไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย, และจุดฝังกลบ ตามลำดับ โดยขยะจะถูกคัดแยกที่ตัวมันเอง คือ จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายร้อยละ 5, และจุดฝังกลบร้อยละ 55 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs

4.2.4 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

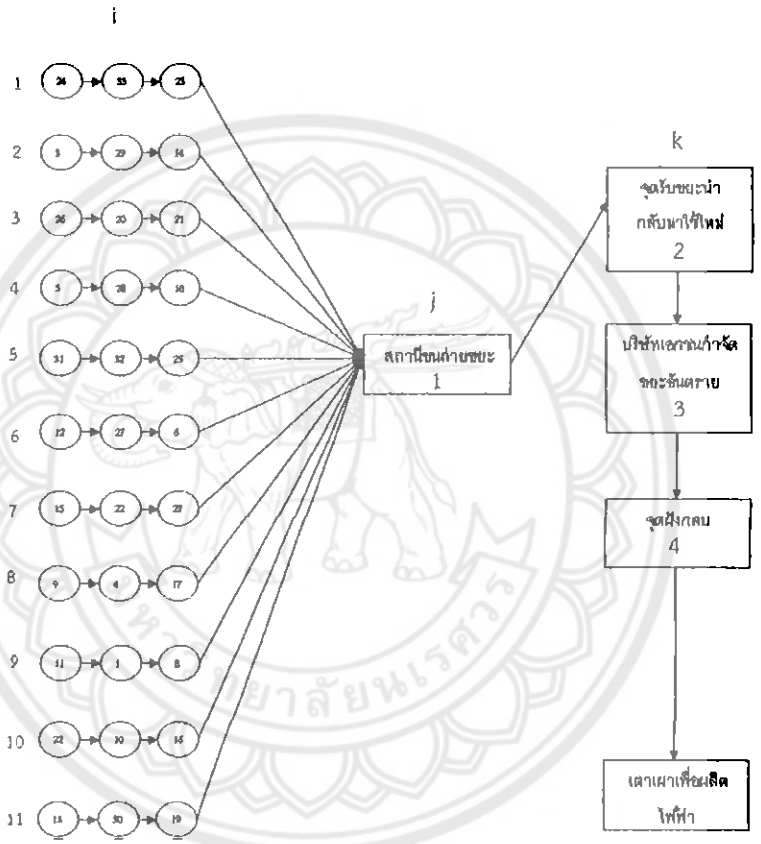
เป็นการรวบรวมขยะโดยมีการส่งขยะทบกันระหว่างโซนที่ 1 กับ โซนที่ 2 และโซนที่ 3 จากนั้นขยะทั้งหมดจะถูกส่งต่อไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ก่อนที่จะทำการส่งขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย, และจุดฝังกลบ โดยขยะจะถูกคัดแยกที่สถานีขนถ่ายขยะ และถูกส่งไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายร้อยละ 5, และจุดฝังกลบร้อยละ 55 ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

4.2.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

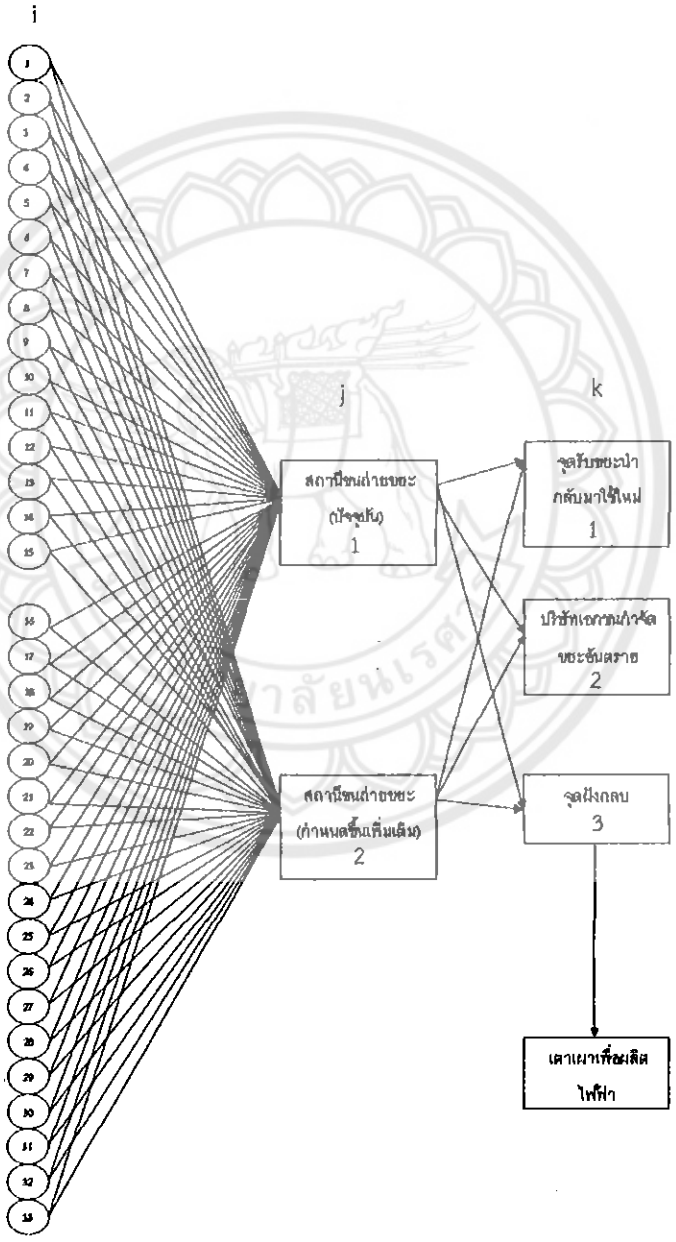
เป็นการรวบรวมขยะโดยมีการส่งขยะทบกันระหว่างโซนที่ 1 กับ โซนที่ 2 และโซนที่ 3 ขยะทั้งหมดจะถูกส่งต่อไปยังสถานีขนถ่ายขยะ จากนั้นขยะทั้งหมดจะถูกไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย, และจุดฝังกลบ ตามลำดับ โดยขยะจะถูกคัดแยกที่ตัวมันเอง คือ จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายร้อยละ 5, และจุดฝังกลบร้อยละ 55 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

4.2.6 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง

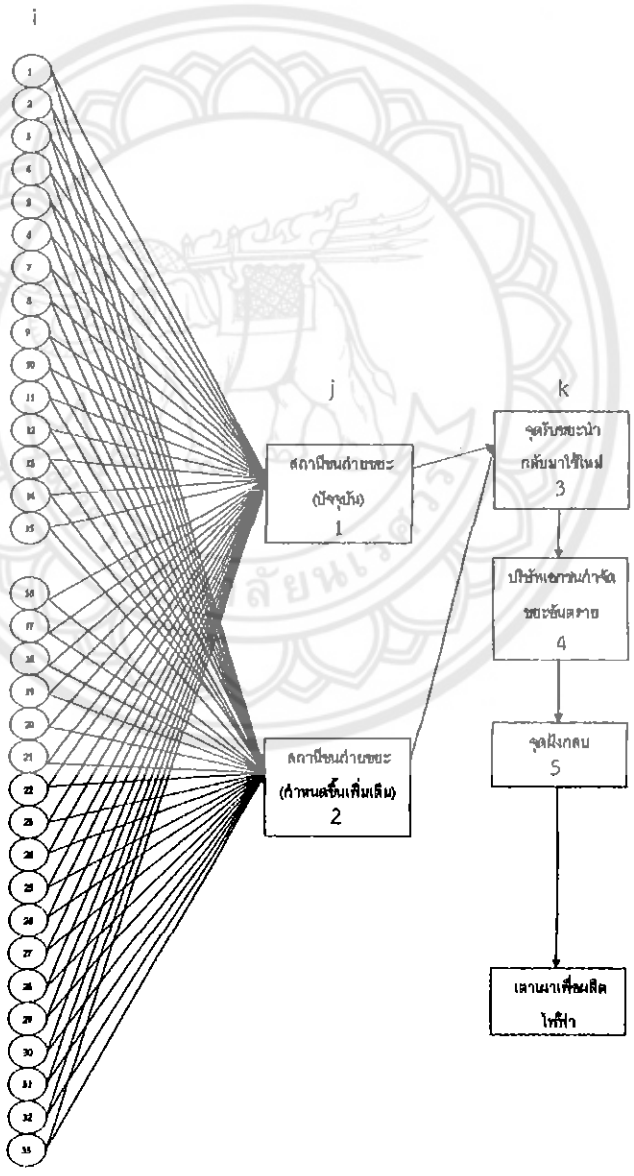
เป็นรูปแบบการขนส่งจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานีขนถ่ายขยะ แต่จะมีสถานีขนถ่ายขยะจำนวน 2 จุด ซึ่งแต่ละจุดจะมีระยะทางการขนถ่ายขยะไม่เท่ากัน จึงทำให้มีการเลือกการขนถ่ายขยะจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานีขนถ่ายขยะที่ใกล้ที่สุด จากนั้นขยะทั้งหมดจากสถานีขนถ่ายขยะจะถูกกระจายไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายร้อยละ 5, และจุดฝังกลบร้อยละ 55 ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง

4.2.7 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

เป็นรูปแบบการขนส่งจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานีขนถ่ายขยะ แต่จะมีสถานีขนถ่ายขยะจำนวน 2 จุด ซึ่งแต่ละจุดจะมีระยะทางการขนถ่ายขยะไม่เท่ากัน จึงทำให้มีการเลือกการขนถ่ายขยะจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานีขนถ่ายขยะที่ใกล้ที่สุด จากนั้นขยะทั้งหมดจากสถานีขนถ่ายขยะจะถูกส่งไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย, และจุดฝังกลบ ตามลำดับ โดยขยะจะถูกคัดแยกที่ตัวมันเอง คือ จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายร้อยละ 5, และจุดฝังกลบร้อยละ 55 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

4.3 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของขยะภายใต้วัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

การคำนวณหาค่าใช้จ่ายสำหรับรูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ แต่ละแบบในหัวข้อ 4.2 นั้น จะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายหลัก 2 ส่วน คือ (1) ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเมื่อคิดตามระยะทางและปริมาณขยะที่ขนส่ง และ (2) ค่าบำรุงรักษารถขยะ กำหนดให้ค่าใช้จ่ายการขนส่ง คือ 1.72 บาท / ตัน / กิโลเมตร (ชัชชาติ สิทธิพันธุ์, 2556) และค่าบำรุงรักษาของรถขยะ กำหนดให้เท่ากับ 0.5 บาท / กิโลเมตร และค่าบำรุงรถขนถ่ายขนาดใหญ่ คือ 0.6 บาท / กิโลเมตร (คงเดช ทรงแสง, 2552) โดยปกติรถขยะจะวิ่งประมาณ 10 กิโลเมตร / รอบ / วัน จึงได้ค่าบำรุงรักษาของรถขยะประมาณ 5 บาท / รอบ / วัน และค่าบำรุงรถขนถ่ายขนาดใหญ่ประมาณ 6 บาท / รอบ / วัน ในส่วนความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติจะใช้การประมาณของความจุรถขยะและจำนวนรอบรถ

$$\text{ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ} = \frac{\text{จำนวนรอบรถ} \times \text{ความจุรถ}}{\text{จำนวนรอบรถทั้งหมด}}$$

$$\text{ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ} = \frac{9(4,810) \times 16(4,213.56) \times 9(3,848) \times 2(1,924)}{36}$$

$$= 4,144 \text{ กิโลกรัม}$$

ส่วนของปริมาณของรถขนถ่ายขนาดใหญ่ คือ 5,772 กิโลกรัม ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	ความหมาย
i	จุดกำเนิดขยะ
j	สถานีขนถ่าย
k	จุดอำนวยความสะดวก
C_{ij}	ค่าใช้จ่ายค่าขนส่ง (บาท)
T_{jk}	ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งของสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวก (บาท)
U	ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย (บาท)
V	ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากตำแหน่งของบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายไปยังจุดฝังกลบ (บาท)
P_1	สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่
P_2	สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย
P_3	สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะ

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	ความหมาย
R_1	ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ หน่วย 5 (บาทต่อรอบ)
R_2	ค่าซ่อมบำรุงรถขนถ่ายขนาดใหญ่ หน่วย 6 (บาทต่อรอบ)
W_1	ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขนส่งขยะ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน
W_2	ความจุสูงสุดของรถขนถ่ายขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน
X_{ij}	ปริมาณขยะของจุดกำเนิดขยะ (ตัน)
D_{ij}	ระยะทางการขนส่ง (กิโลเมตร)

4.3.1 ข้อตกลงเบื้องต้น

4.3.1.1 ให้ $C_{ij} = 1.72xD_{ij}$ (ชัชชาติ สิทธิพันธุ์, 2556)

4.3.1.2 ให้สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่คิดเป็นร้อยละ 40 (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

4.3.1.3 ให้สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายคิดเป็นร้อยละ 5 (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

4.3.1.4 ให้สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะคิดเป็นร้อยละ 55 (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

4.3.1.5 ให้ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ หน่วย 5 บาทต่อรอบ (คงเดช ทรงแสง, 2552)

4.3.1.6 ให้ค่าซ่อมบำรุงรถขนถ่ายขนาดใหญ่ หน่วย 6 บาทต่อรอบ (คงเดช ทรงแสง, 2552)

4.3.1.7 ให้ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขนส่งขยะ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน จากหัวข้อ 4.3

4.3.1.8 ให้ความจุสูงสุดของรถขนถ่ายขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน จากตารางที่ 4.1

4.3.1.9 ให้สถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) รองรับขยะได้ 60 ตัน ในรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

4.3.1.10 ให้สถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) รองรับขยะได้ 40 ตัน ในรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

4.3.2 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment

จากรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในหัวข้อ 4.2.1 แบ่งขยะขนถ่ายไปยังจุดต่างๆ ตามที่ออกแบบไว้ คือ ขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, ขยะอันตรายและขยะติดเชื้อร้อยละ 5 และขยะชีวภาพและขยะที่นำไปผลิตไฟฟ้าได้ร้อยละ 55

4.3.2.1 ใช้สมการในการช่วยคำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งขาไป ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33}\sum_{k=1}^{3} C_{ik}X_{ik}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

C_{ik} คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากจุดกำเนิดขย ะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k ดังนั้น $C_{ik} = 1.72 \cdot D_{ik}$ (บาท)

X_{ik} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

D_{ik} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขาไป

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบส่งตรง Direct Shipment					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ k (C_{ik}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{ik}X_{ik}$ (บาท)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72x0.4=914.80	11.3	C_{11}=1.72x11.3=19.44	$\frac{914.8 \times 19.44}{1,000}$=17.80
		X_{12}=2,287.72x0.05=114.35	11.3	C_{12}=1.72x11.3=19.44	$\frac{114.35 \times 19.44}{1,000}$=2.20
		X_{13}=2,287.72x0.55=1,257.85	38.3	C_{13}=1.72x38.3=65.88	$\frac{1,257.85 \times 65.88}{1,000}$=82.90

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

4.3.2.2 ใช้สมการในการช่วยคำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งขากลับ ดังนี้

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{i=1}^{33} C_{ki}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ และ 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย}

C_{ki} คือ ค่าใช้จ่ายในการตีรถเปล่ากลับจากจุดอำนวยความสะดวก k ไปยังจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $C_{ki} = 1.72 \cdot D_{ki}$ (บาท)

D_{ki} คือ ระยะทางจากจุดอำนวยความสะดวก k ไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

ตารางการคิดต้นค่าใช้จ่ายรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (C_{ki}) (บาท)
1	11.3	C_{11}=1.72x11.3=19.44
	11.3	C_{21}=1.72x11.3=19.44
	36.5	C_{32}=1.72x36.562.78

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

4.3.2.3 รวมค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษา

$$R_1 \sum_{i=1}^{33}\sum_{k=1}^{3}\left\lceil\frac{X_{ik}}{W_1}\right\rceil$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

R_1 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ 5 บาทต่อรอบ

W_1 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน

X_{ik} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าบำรุงรักษารถขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	จำนวนรอบรถขยะระหว่างตำแหน่ง i กับ k ($\left\lceil \frac{X_{ik}}{W_1} \right\rceil$) (รอบ)	ค่าซ่อมบำรุงรักษา ($R_1 \left\lceil \frac{X_{ik}}{W_1} \right\rceil$) (บาท)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72x0.4=914.80	$\frac{914.8}{1,000x4.144}=1$	5x1=5.00
		X_{12}=2,287.72x0.05=114.35	$\frac{114.35}{1,000x4.144}=1$	5x1=5.00
		X_{13}=2,287.72x0.55=1,257.85	$\frac{1,257.85}{1,000x4.144}=1$	5x1=5.00

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

ได้รถขยะวิ่ง 99 รอบ คูณค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ 5 บาท ได้ 495.00 บาท

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบส่งตรง Direct Shipment

ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งทั้ง 33 โซน	6,166.25 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษา	495.00 บาทต่อวัน
รวม	6,661.25 บาทต่อวัน

4.3.3 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ

จากรูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะในหัวข้อ 4.2.2 จะแบ่งค่าใช้จ่ายจากโซนขยะถึงสถานีขนถ่าย และจากสถานีขนถ่ายถึงจุดต่างๆ ตามที่ออกแบบ คือ ขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, ขยะอันตรายและขยะติดเชื้อร้อยละ 5 และขยะชีวภาพและขยะที่นำไปผลิตไฟฟ้าได้ร้อยละ 55

4.3.3.1 ค่าใช้จ่ายจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} C_{i1} X_{i1}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

C_{i1} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ดังนั้น $C_{i1} = 1.72 \cdot D_{i1}$ (บาท)

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะในขาไป

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	C_{11}=1.72x11.9=20.47	$\frac{2,287.72 \times 20.47}{1,000}$=40.60

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

4.3.3.2 ใช้สมการในการช่วยคำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งขากลับ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} C_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

C_{1i} คือ ค่าใช้จ่ายในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $C_{1i} = 1.72 \cdot D_{1i}$ (บาท)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.9 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะในขากลับ

ตารางคำนวณการขนส่งแบบใช้จุดคัดแยกขยะขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (C_{1i}) (บาท)
2	11.7	C_{12}=1.72x11.7=20.12

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

4.3.3.3 ค่าใช้จ่ายจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{k=1}^{3} C_{1k}X_{1k}$$

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

C_{1k} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k ดังนั้น $C_{1k} = 1.72 \cdot D_{ik}$ (บาท)

X_{1k} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

D_{1k} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.10 คำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวก

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ				
ตำแหน่ง	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (X_{1k}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{1k}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (C_{1k}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{1k}X_{1k}$ (บาท)
1	X_{11}=81,000x0.4=32,400	13.3	C_{11}=1.72x13.3=22.88	$\frac{32,400x22.88}{1,000}$=741.2
2	X_{12}=81,000x0.05=4,050	13.3	C_{12}=1.72x13.3=22.88	$\frac{4,050x22.88}{1,000}$ =92.7
3	X_{13}=81,000x0.55=44,550	27.6	C_{13}=1.72x27.6=47.47	$\frac{44,550x47.47}{1,000}$=2,114.9
			รวม	2,948.80

4.3.3.4 รวมค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษารถขยะ

$$R_1 \sum_{i=1}^{33} \left[\frac{X_{i1}}{W_1}\right]$$

$$R_2 \sum_{k=1}^{3} \left[\frac{X_{1k}}{W_2}\right]$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวก ที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

R_1 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ 5 บาทต่อรอบ

R_2 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดใหญ่ 6 บาทต่อรอบ

W_1 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน

W_2 คือ ความจุสูงสุดของรถขยะขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

X_{1k} คือ ปริมาณขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

ได้รถขยะวิ่ง 35 รอบ คูณค่าซ่อมบำรุง 5 บาทต่อรอบ ได้ 175 บาท

ได้รถขยะขนาดใหญ่วิ่ง 15 รอบ คูณค่าซ่อมบำรุง 6 บาทต่อรอบ ได้ 90 บาท

รวมค่าใช้จ่ายบำรุงรักษารถขยะ 265 บาท

ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	2,222.32 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	2,948.80 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษา	265.00 บาทต่อวัน
รวม	5,436.12 บาทต่อวัน

4.3.4 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs

จากรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs ในหัวข้อที่ 4.2.4 จะคิดค่าใช้จ่ายจากโซนขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ และจากสถานีขนถ่ายขยะทั้งหมดขนส่งแบบ Milk Runs โดยมีขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, ขยะอันตรายและขยะติดเชื้อร้อยละ 5 และขยะชีวภาพและขยะที่นำไปผลิตไฟฟ้าได้ร้อยละ 55 ตามลำดับ

4.3.4.1 ค่าใช้จ่ายจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} C_{i1} X_{i1}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

C_{i1} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ดังนั้น $C_{i1} = 1.72 \cdot D_{i1}$ (บาท)

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะและส่งไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs ในขาไป

ตารางการคิดค่าใช้จ่าย					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	C_{11}=1.72x11.9=20.47	$\frac{2,287.72x20.47}{1,000}$=40.60

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

4.3.3.2 ใช้สมการในการช่วยคำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งขากลับ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} C_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

C_{1i} คือ ค่าใช้จ่ายในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i

ดังนั้น C_{1i} = 1.72·D_{1i} (บาท)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.13 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะและส่งไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs ในขากลับ

ตารางคำนวณการขนส่งแบบใช้จุดคัดแยกขยะขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (C_{1i}) (บาท)
2	11.7	C_{12}=1.72x11.7=20.12

4.3.4.3 ค่าใช้จ่ายจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ

ขยะจะถูกขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆแบบ Milk Runs โดยจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่กับบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายอยู่ที่เดียวกัน ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{j<k,\ k=j+1} C_{jk}X_{jk}$$

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1,2,3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

C_{jk} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k ดังนั้น $C_{jk} = 1.72 \cdot D_{jk}$ (บาท)

X_{jk} คือ ปริมาณขยะจากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k (กิโลกรัม)

D_{jk} คือ ระยะทางจากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.14 คำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs จา**กสถานีขนถ่าย**ขยะ

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs				
ลำดับ	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง j กับ k (X_{jk}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{jk}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ k (C_{jk}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{jk}X_{jk}$ (บาท)
1	X_{12}=81,000	13.3	C_{12}=1.72x13.3=22.88	$\frac{81,000 \times 22.88}{1,000}$=1853.90
2	X_{23}=81,000x0.05=4,050	0.0	C_{23}=1.72x0=0.00	$\frac{4,050 \times 0}{1,000}$=0.00
3	X_{34}=81,000x0.55=44,550	34.9	C_{34}=1.72x34.9=60.00	$\frac{44,550 \times 60}{1,000}$=2,673.00
			รวม	4,526.90

4.3.4.4 รวมค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษารถขยะ

$$R_1 \sum_{i=1}^{33} \left[\frac{X_{i1}}{W_1}\right]$$

$$R_2 \sum_{j<k,\ k=j+1} \left[\frac{X_{jk}}{W_2}\right]$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1, 2, 3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

R_1 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ 5 บาทต่อรอบ

R_2 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดใหญ่ 6 บาทต่อรอบ

W_1 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน

W_2 คือ ความจุสูงสุดของรถขยะขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน

X_{it} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

X_{jk} คือ ปริมาณขยะจากต้นทาง i ไปยังปลายทาง k (กิโลกรัม)

ได้รถขยะวิ่ง 35 รอบ คูณค่าซ่อมบำรุง 5 บาทต่อรอบ ได้ 175 บาท

ได้รถขยะขนาดใหญ่วิ่ง 23 รอบ คูณค่าซ่อมบำรุง 6 บาทต่อรอบ ได้ 138 บาท

รวมค่าใช้จ่ายบำรุงรักษารถขยะ 313 บาท

ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	2,222.32 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	4,526.90 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษา	313.00 บาทต่อวัน
รวม	7,062.22 บาทต่อวัน

4.3.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

จากรูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง ในหัวข้อที่ 4.2.5 โดยจะแบ่งเป็น 3 โซนซึ่งโซนที่ใกล้กันจะให้เก็บด้วยกัน ส่งไปยังสถานีขนถ่ายขยะและจากสถานีขนถ่ายขยะส่งไปยังจุดต่างๆ

4.3.5.1 แบ่งกลุ่มจำนวน 3 โซนที่ใกล้กัน ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ปริมาณขยะแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม	จุดกำเนิดขยะ	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
1	โซนที่ 24, 33 และ23	6,987
2	โซนที่ 3, 29 และ14	7,311
3	โซนที่ 26, 20 และ21	7,833
4	โซนที่ 5, 28 และ18	5,618
5	โซนที่ 31, 32 และ25	6,861
6	โซนที่ 12, 27 และ6	5,942
7	โซนที่ 15, 22 และ27	13,052
8	โซนที่ 9, 4 และ17	6,663
9	โซนที่ 11, 1 และ8	6,861
10	โซนที่ 22, 10 และ16	6,663
11	โซนที่ 13, 30 และ19	7,185

4.3.5.2 ค่าใช้จ่ายจากโซนของแต่ละ 3 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะใช้**สมการในการช่วยคำนวณ** ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} C_{i1} X_{i1}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 11}

C_{i1} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ดังนั้น $C_{i1} = 1.72 \cdot D_{i1}$ (บาท)

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.17 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในขาไป

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง					
กลุ่ม	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
1	6,987	X_{11}=6,987	10.00	C_{11}=1.72x10=17.20	$\frac{6,987x17.2}{1,000}$=120.2
2	7,311	X_{21}=7,311	9.63	C_{21}=1.72x9.63=16.56	$\frac{7,311x16.56}{1,000}$=121.1
3	7,833	X_{31}=7,833	11.05	C_{31}=1.72x11.05=19.00	$\frac{7,833x19}{1,000}$=148.9
4	5,618	X_{41}=5,618	9.90	C_{41}=1.72x9.9=17.03	$\frac{5,618x17.03}{1,000}$=95.7
5	6,861	X_{51}=6,861	11.25	C_{51}=1.72x11.25=19.35	$\frac{6,861x19.35}{1,000}$=129.4
6	5,942	X_{61}=5,942	12.00	C_{61}=1.72x12=20.64	$\frac{5,942x20.64}{1,000}$=122.6
7	13,052	X_{71}=13,052	12.15	C_{71}=1.72x12.15=20.90	$\frac{13,052x20.9}{1,000}$=272.8
8	6,663	X_{81}=6,663	13.70	C_{81}=1.72x13.7=23.56	$\frac{6,663x23.56}{1,000}$=157.0
9	6,861	X_{91}=6,861	13.90	C_{91}=1.72x13.9=23.91	$\frac{6,861x23.91}{1,000}$=164.1
10	6,663	$X_{10,1}$=6,663	16.40	$C_{10,1}$=1.72x16.4=28.21	$\frac{6,663x28.21}{1,000}$=188.0
11	7,185	$X_{11,1}$=7,185	22.80	$C_{11,1}$=1.72x22.8=39.23	$\frac{7,185x39.23}{1,000}$=281.9
				รวม	1,801.7

4.3.5.3 ใช้สมการในการช่วยคำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งขากลับ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} C_{1i}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 11}

C_{1i} คือ ค่าใช้จ่ายในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น C_{1i} = 1.72•D_{1i} (บาท)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.18 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในขากลับ

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบ Milk Runs และแบบส่งตรงขากลับ				
โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	จำนวนรอบ	ระยะทางรวม (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (C_{ji}) (บาท)
1	10.00	2	20.00	C_{11}=1.72x20.00=21.72
2	9.63	2	19.26	C_{12}=1.72x19.26=20.98
3	11.05	2	22.10	C_{13}=1.72x22.10=23.82
4	9.90	2	19.80	C_{14}=1.72x19.80=21.52
5	11.25	2	22.50	C_{15}=1.72x22.50=24.22
6	12.00	2	24.00	C_{16}=1.72x24.00=25.72
7	12.15	3	36.45	C_{17}=1.72x36.45=38.17
8	13.70	2	27.40	C_{18}=1.72x27.40=29.12
9	13.90	2	27.80	C_{19}=1.72x27.80=29.52
10	16.40	2	32.80	$C_{1,10}$=1.72x32.80=34.52
11	22.80	2	45.60	$C_{1,11}$=1.72x45.60=47.32
			รวม	316.63

4.3.5.4 ค่าใช้จ่ายจากสถานีขนถ่ายไปยังสถานีต่างๆ ใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{k=1}^{3} C_{1k}X_{1k}$$

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

C_{1k} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k ดังนั้น $C_{1k} = 1.72 \cdot D_{ik}$

X_{1k} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

D_{1k} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.19 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง จากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรก				
ตำแหน่ง	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (X_{1k}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{1k}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (C_{1k}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{1k}X_{1k}$ (บาท)
1	X_{11}=81,000x0.4=32,400	13.3	C_{11}=1.72x13.3=22.88	$\frac{32,400x22.88}{1,000}$=741.2
2	X_{12}=81,000x0.05=4,050	13.3	C_{12}=1.72x13.3=22.88	$\frac{4,050x22.88}{1,000}$=92.7
3	X_{13}=81,000x0.55=44,550	27.6	C_{13}=1.72x27.6=47.47	$\frac{44,550x47.47}{1,000}$=2,114.9
			รวม	2,948.8

4.3.5.5 ค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษารถขยะ

$$R_1 \sum_{i=1}^{11} \left[\frac{X_{i1}}{W_1}\right]$$

$$R_2 \sum_{k=1}^{3} \left[\frac{X_{1k}}{W_2}\right]$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ *i* โดย *i* = {1, 2, ..., 11}

k คือ จุดอำนวยความสะดวก ที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

R_1 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ 5 บาทต่อรอบ

R_2 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดใหญ่ 6 บาทต่อรอบ

W_1 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน

W_2 คือ ความจุสูงสุดของรถขยะขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

X_{1k} คือ ปริมาณขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.20 คำนวณค่าบำรุงรักษาการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

ตารางค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารถขนถ่ายขยะ				
กลุ่ม	ปริมาณขยะ (ตัน)	จำนวนรอบในการขนส่งขยะ (รอบ)	ค่าบำรุงรักษา (บาท/รอบ/วัน)	ค่าใช้จ่าย
1	6.987	2	5	10 บาท
2	7.311	2	5	10 บาท
3	7.833	2	5	10 บาท
4	5.618	2	5	10 บาท
5	6.861	2	5	10 บาท
6	5.942	2	5	10 บาท
7	13.052	4	5	20 บาท
8	6.663	2	5	10 บาท
9	6.861	2	5	10 บาท
10	6.663	2	5	10 บาท
11	7.185	2	5	10 บาท
ไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	32.400	6	6	36 บาท
ไปยังบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	4.050	1	6	6 บาท
ไปยังจุดฝังกลบ	44.550	8	6	48 บาท
			รวม	210 บาท

ตารางที่ 4.21 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรงโดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	2,118.33 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	2,948.80 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษา	210.00 บาทต่อวัน
รวม	5,277.13 บาทต่อวัน

4.3.6 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

จากรูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในหัวข้อที่ 4.2.6 ออกแบบแบบ Milk Runs ทั้งหมดโดยจะแบ่งเป็น 3 โซน ซึ่งโซนที่ใกล้กันจะให้เก็บด้วยกัน ส่งไปยังสถานีขนถ่ายขยะและจากสถานีขนถ่ายขยะส่งไปยังจุดต่างๆ แบบ Milk Runs ทั้งหมด

แบ่งกลุ่มจำนวน 3 โซนที่ใกล้กัน ดังตารางที่ 4.16

4.3.6.1 ค่าใช้จ่ายจากโซนของแต่ละ 3 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} C_{i1} X_{i1}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 11}

C_{i1} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ดังนั้น $C_{i1} = 1.72 \cdot D_{i1}$

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.22 คำนวณการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด					
กลุ่ม	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
1	6,987	X_{11}=6,987	10.00	C_{11}=1.72x10=17.20	$\frac{6,987x17.2}{1,000}$=120.20
2	7,311	X_{21}=7,311	9.63	C_{21}=1.72x9.63=16.56	$\frac{7,311x16.56}{1,000}$=121.10
3	7,833	X_{31}=7,833	11.05	C_{31}=1.72x11.05=19.00	$\frac{7,833x19}{1,000}$=148.90
4	5,618	X_{41}=5,618	9.90	C_{41}=1.72x9.9=17.03	$\frac{5,618x17.03}{1,000}$=95.70
5	6,861	X_{51}=6,861	11.25	C_{51}=1.72x11.25=19.35	$\frac{6,861x19.35}{1,000}$=129.40
6	5,942	X_{61}=5,942	12.00	C_{61}=1.72x12=20.64	$\frac{5,942x20.64}{1,000}$=122.60
7	13,052	X_{71}=13,052	12.15	C_{71}=1.72x12.15=20.90	$\frac{13,052x20.9}{1,000}$=272.80

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) คำนวณการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

กลุ่ม	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/คัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
8	6,663	X_{81}=6,663	13.7	C_{81}=1.72x13.7=23.56	$\frac{6,663x23.56}{1,000}$=157.00
9	6,861	X_{91}=6,861	13.9	C_{91}=1.72x13.9=23.91	$\frac{6,861x23.91}{1,000}$=164.10
10	6,663	$X_{10,1}$=6,663	16.4	$C_{10,1}$=1.72x16.4=28.21	$\frac{6,663x28.21}{1,000}$=188.00
11	7,185	$X_{11,1}$=7,185	22.8	$C_{11,1}$=1.72x22.8=39.23	$\frac{7,185x39.23}{1,000}$=281.90
				รวม	1,801.70

4.3.6.2 ใช้สมการในการช่วยคำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งขากลับ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} C_{1i}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 11}

C_{1i} คือ ค่าใช้จ่ายในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $C_{1i} = 1.72 \cdot D_{1i}$ (บาท)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.23 คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในขากลับ

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบ Milk Runs และแบบส่งตรงขากลับ				
โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	จำนวนรอบ	ระยะทางรวม (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (C_{ji}) (บาท)
1	10.00	2	20.00	C_{11}=1.72x20.00=21.72
2	9.63	2	19.26	C_{12}=1.72x19.26=20.98
3	11.05	2	22.10	C_{13}=1.72x22.10=23.82
4	9.90	2	19.80	C_{14}=1.72x19.80=21.52
5	11.25	2	22.50	C_{15}=1.72x22.50=24.22
6	12.00	2	24.00	C_{16}=1.72x24.00=25.72

ตารางที่ 4.23 (ต่อ) คำนวณการขนส่งแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองในขากลับ

7	12.15	3	36.45	C_{17}=1.72x36.45=38.17
8	13.70	2	27.40	C_{18}=1.72x27.40=29.12
9	13.90	2	27.80	C_{19}=1.72x27.80=29.52
10	16.40	2	32.80	$C_{1,10}$=1.72x32.80=34.52
11	22.80	2	45.60	$C_{1,11}$=1.72x45.60=47.32
			รวม	316.63

4.3.6.3 ค่าใช้จ่ายจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

ขยะจะถูกขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆแบบ Milk Runs แต่จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่กับบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายอยู่ที่เดียวกัน ใช้สมการในการช่วยคำนวณดังนี้

$$\sum_{j<k,\ k=j+1} C_{jk}X_{jk}$$

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1,2,3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

C_{jk} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากต้นทาง i ไปยังปลายทาง k ดังนั้น $C_{jk} = 1.72 \cdot D_{jk}$

X_{jk} คือ ปริมาณขยะจากต้นทาง i ไปยังปลายทาง k (กิโลกรัม)

D_{jk} คือ ระยะทางจากต้นทาง i ไปยังปลายทาง k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.24 คำนวณการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเองจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด				
ลำดับ	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง j กับ k (X_{jk}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{jk}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ k (C_{jk}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{jk}X_{jk}$ (บาท)
1	X_{11}=81,000	13.3	C_{11}=1.72x13.3=22.88	$\frac{81,000x22.88}{1,000}$=1,853.9
2	X_{12}=81,000x0.05=4,050	0.0	C_{12}=1.72x0=0.00	$\frac{4,050x0}{1,000}$=0.0
3	X_{23}=81,000x0.55=44,550	34.9	C_{23}=1.72x34.9=60.00	$\frac{44,550x60}{1,000}$=2,673.0
			รวม	4,526.9

4.3.6.4 ค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษารถขยะ

$$R_1 \sum_{i=1}^{11} \left\lceil \frac{X_{i1}}{W_1} \right\rceil$$

$$R_2 \sum_{j<k,\ k=j+1} \left\lceil \frac{X_{jk}}{W_2} \right\rceil$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 11}

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1,2,3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

R_1 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ 5 บาทต่อรอบ

R_2 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดใหญ่ 6 บาทต่อรอบ

W_1 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน

W_2 คือ ความจุสูงสุดของรถขยะขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

X_{jk} คือ ปริมาณขยะจากต้นทาง i ไปยังปลายทาง k (กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.25 คำนวณค่าบำรุงรักษาการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

ตารางค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารถขนถ่ายขยะ				
กลุ่ม	ปริมาณขยะ (ตัน)	จำนวนรอบในการขนส่งขยะ (รอบ)	ค่าบำรุงรักษา (บาท/รอบ/วัน)	ค่าใช้จ่าย
1	6.987	2	5	10 บาท
2	7.311	2	5	10 บาท
3	7.833	2	5	10 บาท
4	5.618	2	5	10 บาท
5	6.861	2	5	10 บาท
6	5.942	2	5	10 บาท
7	13.052	4	5	20 บาท
8	6.663	2	5	10 บาท
9	6.861	2	5	10 บาท
10	6.663	2	5	10 บาท
11	7.185	2	5	10 บาท
ไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	81.000	15	6	90 บาท
ไปยังจุดฝังกลบ	44.550	8	6	48 บาท
			รวม	258 บาท

ตารางที่ 4.26 ค่าใช้จ่ายการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	2,118.33 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	4,526.90 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายค่าบำรุงรักษา	258.00 บาทต่อวัน
รวม	6,903.03 บาทต่อวัน

4.3.7 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง

แบบนี้จะใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 จุด จะตั้งสถานีขนถ่าย (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) มาโดยจะตั้งใกล้กับจุดรับซื้อของเก่า โดยจะคิดค่าใช้จ่ายจากโซนทั้งหมดไปยังสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 จุด จากนั้นจะคิดค่าใช้จ่ายหลังจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดต่างๆ โดยจะกำหนดให้สถานีขนถ่าย (ปัจจุบัน) จะรองรับขยะได้ 60 ตัน และให้สถานีขนถ่าย (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) รองรับได้ 40 ตัน

4.3.7.1 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ สถานีขนถ่ายขยะที่ j โดย j = {1 = สถานีขนถ่ายขยะเก่า, 2 = สถานีขนถ่ายขยะใหม่}

C_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก j

ดังนั้น $C_{ij} = 1.72 \cdot D_{ij}$ (บาท)

D_{ij} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.27 ตัวอย่างการคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขาไป

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ(ปัจจุบัน)		
โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ j (C_{ij}) (บาท/ตัน)
1	11.9	C_{11}=1.72x11.9=20.47

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.28 ตัวอย่างการคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ(กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)		
โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ j (C_{ij}) (บาท/ตัน)
1	9.8	C_{11}=1.72x9.8=16.86

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ก

4.3.7.2 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากสถานีไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ สถานีขนถ่ายขยะที่ j โดย j = {1 = สถานีขนถ่ายขยะเก่า, 2 = สถานีขนถ่ายขยะใหม่}

C_{ji} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดอำนวยความสะดวก j ไปยังจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $ji = 1.72 \cdot D_{ji}$ (บาท)

D_{ji} คือ ระยะทางจากจุดอำนวยความสะดวก j ไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.29 การคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขากลับ

ตารางคำนวณการขนส่งแบบใช้จุดคัดแยกขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)ขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ i(C_{ji}) (บาท)
12	11.5	$C_{1,13}$=19.78
13	11.5	$C_{1,13}$=19.78
16	9.8	$C_{1,17}$=16.86
20	10.1	$C_{1,21}$=17.37
21	10.1	$C_{1,21}$=17.37
22	9.4	$C_{1,23}$=16.14
23	9.4	$C_{1,23}$=16.14
24	9.5	$C_{1,25}$=16.34
25	9.5	$C_{1,25}$=16.34
26	9.4	$C_{1,26}$=16.17
27	8	$C_{1,28}$=13.76
28	8	$C_{1,28}$=13.76
31	8.7	$C_{1,32}$=14.96
32	8.7	$C_{1,32}$=14.96
33	9.0	$C_{1,33}$=15.48
	รวม	245.21

ตารางที่ 4.30 ตัวอย่างการคำนวณการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป

ตารางคำนวณการขนส่งแบบใช้จุดคัดแยกขยะ 2 ตำแหน่ง (ใหม่)ขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ i(C_{ji}) (บาท)
2	11.2	C_{22}=19.26
3	7.1	C_{32}=12.21
4	6.3	C_{25}=10.84
5	6.3	C_{25}=10.84
6	8.7	C_{27}=14.96
7	8.7	C_{27}=14.96
8	5.3	C_{29}=9.12
9	5.3	C_{29}=9.12
10	10.7	$C_{2,11}$=18.4
11	10.7	$C_{2,11}$=18.4
14	8.0	$C_{2,15}$=13.76
15	11.9	$C_{2,16}$=20.47
17	8.3	$C_{2,17}$=14.28
18	2.8	$C_{2,19}$=4.82
19	2.8	$C_{2,19}$=4.82
29	10.2	$C_{2,30}$=17.54
30	10.2	$C_{2,30}$=17.54
	รวม	231.34

4.3.7.3 การกำหนดตัวแปร

ดัชนีตัวแปร

i คือ ตำแหน่งของจุดกำเนิดขยะ โดยที่ i = {1,2,...,33}

j คือ ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายขยะ โดยที่ j = {1,2}

k คือ ตำแหน่งของจุดอำนวยความสะดวก โดยที่ k = {1,2,3}

พารามิเตอร์

C_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งของจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (บาทต่อตัน)

T_{jk} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งของสถานีขนถ่าย i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (บาทต่อตัน)

P_1 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่คิดเป็นร้อยละ 40

P_2 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายคิดเป็นร้อยละ 5

P_3 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะคิดเป็นร้อยละ 55

R_1 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ หน่วย 5 (บาทต่อรอบ)

R_2 คือ ค่าซ่อมบำรุงรถขนถ่ายขนาดใหญ่ หน่วย 6 (บาทต่อรอบ)

W_1คือ.ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขนส่งขยะ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน

W_2 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขนถ่ายขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij} คือ ปริมาณขยะของจุดกำเนิดขยะ (ตัน)

สมการเป้าประสงค์

$$\text{Min } z=\sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} C_{ij}X_{ij}+T_{11}P_1\sum_{i=1}^{33}X_{i1}+T_{12}P_2\sum_{i=1}^{33}X_{i1}+T_{13}P_3\sum_{i=1}^{33}X_{i1}$$

$$+T_{21}P_1\sum_{i=1}^{33}X_{i2}+T_{22}P_2\sum_{i=1}^{33}X_{i2}+T_{23}P_3\sum_{i=1}^{33}X_{i2}+R_1\left[\sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2}\left[\frac{X_{ij}}{W_1}\right]\right]$$

$$+R_2\left[\left[\frac{P_1\sum_{i=1}^{33}X_{i1}}{W_2}\right]+\left[\frac{P_1\sum_{i=1}^{33}X_{i2}}{W_2}\right]\right]$$

$$+R_2\left[\left[\frac{P_2\sum_{i=1}^{33}X_{i1}}{W_2}\right]+\left[\frac{P_2\sum_{i=1}^{33}X_{i2}}{W_2}\right]\right]$$

$$+R_2\left[\left[\frac{P_3\sum_{i=1}^{33}X_{i1}}{W_2}\right]+\left[\frac{P_3\sum_{i=1}^{33}X_{i2}}{W_2}\right]\right]$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$X_{11}+X_{12}=2.28772$$
$$X_{21}+X_{22}=2.28772$$
$$X_{31}+X_{32}=2.61156$$
$$X_{41}+X_{42}=2.28772$$
$$X_{51}+X_{52}=2.28772$$

$$X_{61}+X_{62}=2.61156$$
$$X_{71}+X_{72}=2.61156$$
$$X_{81}+X_{82}=2.28772$$
$$X_{91}+X_{92}=2.28772$$
$$X_{10,1}+X_{10,2}=2.28772$$
$$X_{11,1}+X_{11,2}=2.28772$$
$$X_{12,1}+X_{12,2}=2.28772$$
$$X_{13,1}+X_{13,2}=2.28772$$
$$X_{14,1}+X_{14,2}=2.08924$$
$$X_{15,1}+X_{15,2}=6.26773$$
$$X_{16,1}+X_{16,2}=2.08924$$
$$X_{17,1}+X_{17,2}=2.08924$$
$$X_{18,1}+X_{18,2}=2.28772$$
$$X_{19,1}+X_{19,2}=2.28772$$
$$X_{20,1}+X_{20,2}=2.61156$$
$$X_{21,1}+X_{21,2}=2.61156$$
$$X_{22,1}+X_{22,2}=4.17849$$
$$X_{23,1}+X_{23,2}=2.08924$$
$$X_{24,1}+X_{24,2}=2.28772$$
$$X_{25,1}+X_{25,2}=2.28772$$
$$X_{26,1}+X_{26,2}=2.61156$$
$$X_{27,1}+X_{27,2}=1.04462$$
$$X_{28,1}+X_{28,2}=1.04462$$
$$X_{29,1}+X_{29,2}=2.61156$$
$$X_{30,1}+X_{30,2}=2.61156$$
$$X_{31,1}+X_{31,2}=2.28772$$
$$X_{32,1}+X_{32,2}=2.28772$$
$$X_{33,1}+X_{33,2}=2.61156$$
$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,1} \leq 60$$
$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,2} \leq 40$$
$$X_{ij} \geq 0$$

4.3.7.4 การที่จะเลือกเส้นทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่าย 1 หรือ 2 นั้นจะเลือกใช้โปรแกรม Excel Solver ช่วยในการหาผลเฉลย

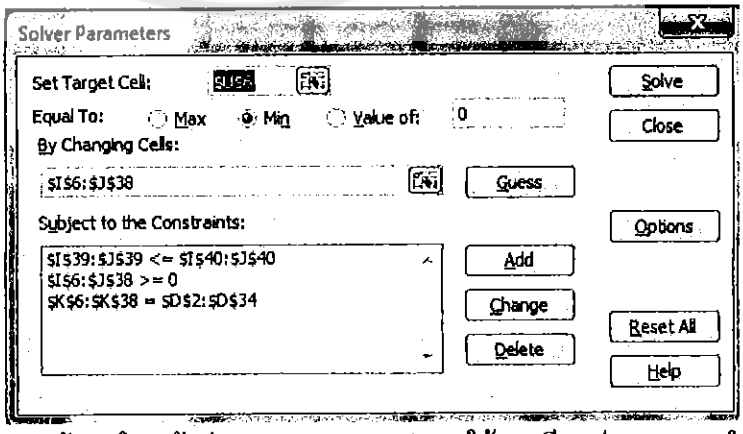
ต้นทุนค่าขนส่ง (บาท/ตัน) ↓ ↓ ปริมาณขยะ (ตัน) ↓

โซน	Ci,j=1	Ci,j=2	Xi,j	โซน(ต่อ)	Ci,j=1	Ci,j=2	Xi,j
z1	20.47	16.86	2.29	z18	14.96	12.73	2.29
z2	20.12	19.26	2.29	z19	10.49	4.82	2.29
z3	14.45	12.21	2.61	z20	16.86	15.82	2.61
z4	12.21	9.98	2.29	z21	17.37	16.68	2.61
z5	13.07	10.84	2.29	z22	14.96	14.28	4.18
z6	18.06	16	2.6	z23	16.14	15.31	2.09
z7	17.2	14.96	2.6	z24	16.14	15.14	2.29
z8	19.44	16.68	2.29	z25	16.34	16.51	2.29
z9	14.79	9.12	2.29	z26	16.17	18.92	2.61
z10	17.37	14.96	2.29	z27	16.86	16.86	1.04
z11	21.16	18.4	2.29	z28	13.76	13.07	1.04
z12	17.72	16.51	2.29	z29	15.82	14.28	2.61
z13	19.78	18.58	2.29	z30	18.06	17.54	2.61
z14	15.31	12.9	2.09	z31	15.31	18.06	2.29
z15	16.17	13.76	6.27	z32	14.96	17.72	2.29
z16	21.67	20.47	2.09	z33	15.48	15.14	2.61
z17	16.86	14.28	2.09				

หาต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำที่สุด (บาท/ตัน) จากสมการ $\sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} C_{ij} X_{ij}$

รูปที่ 4.10 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

จากรูปที่ 4.10 ตาราง C_{ij} = 1 คือค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่าย(ปัจจุบัน), ตาราง C_{ij} = 2 คือค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่าย (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม), ตาราง X_{ij} คือ ปริมาณขยะของแต่ละจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ



รูปที่ 4.11 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

จากรูปที่ 4.11 เลือกช่องผลลัพธ์ที่จะให้โปรแกรมแสดงผล ทำการกำหนดวัตถุประสงค์ให้หาค่าต่ำสุด (Min) โดยเลือกข้อมูลที่จะให้โปรแกรมตัดสินใจไว้ในช่อง By Changing Cells แล้วใส่ข้อจำกัดหรือว่าเงื่อนไขต่างๆ ก่อนที่จะทำการ Solve

ปริมาณขยะจากโซนที่ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะที่ j

โซน	สถานีขนถ่ายขยะที่ 1	สถานีขนถ่ายขยะที่ 2	รวม	หน่วย
z1	0	2.29	2.29	ตัน
z2	2.29	0	2.29	ตัน
z3	0	2.61	2.61	ตัน
z4	0	2.29	2.29	ตัน
z5	0	2.29	2.29	ตัน
z6	0	2.6	2.6	ตัน
z7	0	2.6	2.6	ตัน
z8	0	2.29	2.29	ตัน
z9	0	2.29	2.29	ตัน
z10	0	2.29	2.29	ตัน
z11	0	2.29	2.29	ตัน
z12	2.29	0	2.29	ตัน
z13	2.29	0	2.29	ตัน
z14	0	2.09	2.09	ตัน
z15	0	6.27	6.27	ตัน
z16	2.09	0	2.09	ตัน
z17	0	2.09	2.09	ตัน
z18	0	2.29	2.29	ตัน
z19	0	2.29	2.29	ตัน
z20	2.61	0	2.61	ตัน
z21	2.61	0	2.61	ตัน
z22	4.18	0	4.18	ตัน
z23	2.09	0	2.09	ตัน
z24	2.29	0	2.29	ตัน
z25	2.29	0	2.29	ตัน
z26	2.61	0	2.61	ตัน
z27	1.04	0	1.04	ตัน
z28	1.04	0	1.04	ตัน
z29	1.48	1.13	2.61	ตัน
z30	2.61	0	2.61	ตัน
z31	2.29	0	2.29	ตัน
z32	2.29	0	2.29	ตัน
z33	2.61	0	2.61	ตัน
ปริมาณขยะสุทธิ	41	40	81	ตัน
ค่า facility capacity	60	40	100	ตัน

รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์หลังจากการ Solve ของรูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง

จากรูปที่ 4.12 มีจุดกำเนิดขยะที่จะขนถ่ายขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ได้แก่ โซนที่ 2,12,13,16,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33 สถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ได้แก่ โซนที่ 1,3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,15,17,18,19,29

T11	22.876	บาท/ตัน
P1	0.4	ตัน
Sum X1,1:X33,1	41	ตัน
ผลรวม	375.166	บาท

ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายที่ 1 ไปยังจุดรับซื้อขยะนำกลับมาใช้ใหม่ จากสมการ $T_{11}P_1\sum_{i=1}^{33}X_{i1}$

+

T12	22.876	บาท/ตัน
P2	0.05	ตัน
Sum X1,1:X33,1	41	ตัน
ผลรวม	46.896	บาท

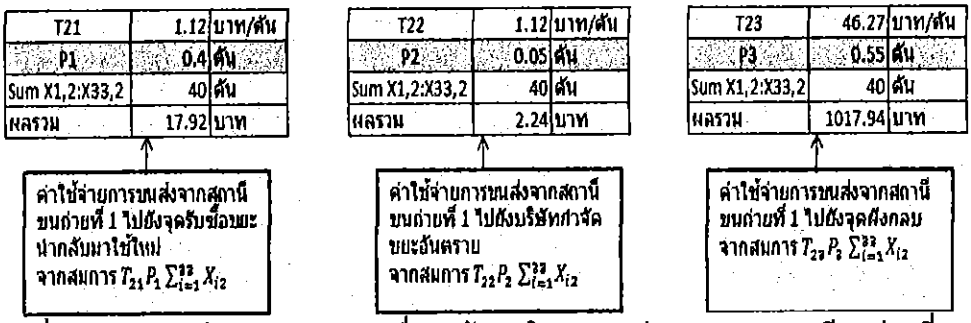
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายที่ 1 ไปยังบริษัทกำจัดขยะอันตราย จากสมการ $T_{12}P_2\sum_{i=1}^{33}X_{i1}$

+

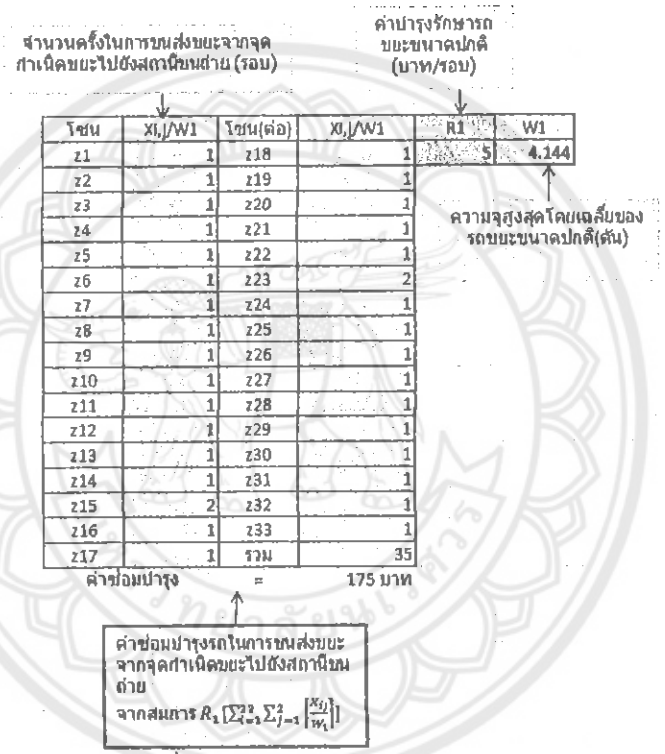
T13	47.47	บาท/ตัน
P3	0.55	ตัน
Sum X1,1:X33,1	41	ตัน
ผลรวม	1070.45	บาท

ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายที่ 1 ไปยังจุดฝังกลบ จากสมการ $T_{13}P_3\sum_{i=1}^{33}X_{i1}$

รูปที่ 4.13 ผลลัพธ์จากการคำนวณเพื่อหาต้นทุนในการขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายที่ 1 ไปยังจุดกำจัดขยะต่างๆ

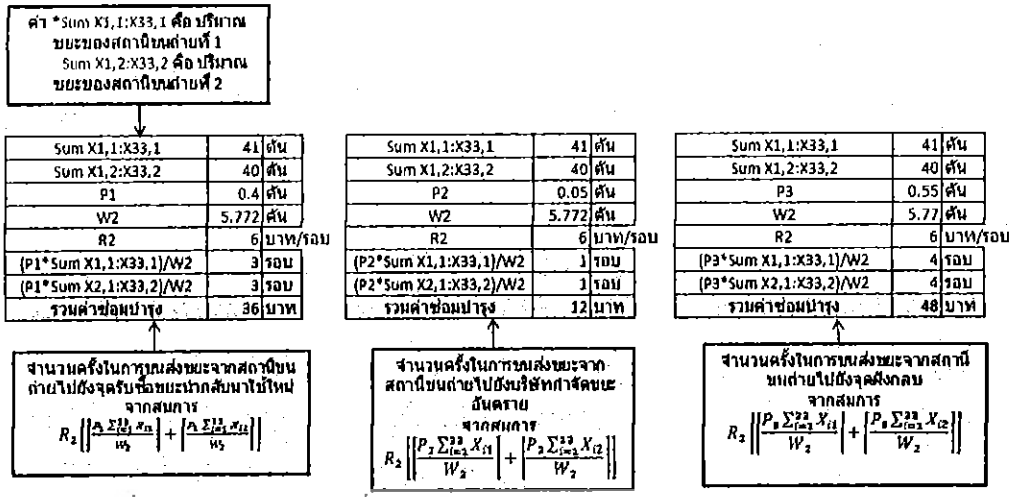


รูปที่ 4.14 ผลลัพธ์จากการคำนวณเพื่อหาต้นทุนในการขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายที่ 2 ไปยังจุดกำจัดขยะต่างๆ



รูปที่ 4.15 การคำนวณเพื่อหาค่าซ่อมบำรุงจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่าย

จากรูปที่ 4.15 เป็นการคำนวณหาค่าซ่อมบำรุงในการขนส่งขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่าย โดยการนำค่าของปริมาณขยะจากจุดกำเนิดของแต่ละโซนหารด้วยค่าความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขยะขนาดปกติ แล้วหาผลรวม ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 35 รอบ จากนั้นนำผลรวมที่ได้ไปคูณกับค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ คำตอบที่ได้จะเท่ากับ 175 บาท



รูปที่ 4.16 การคำนวณเพื่อหาค่าซ่อมบำรุงจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดรับต่างๆ

ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายที่ 2 ไปยังตำแหน่งรับซื้อขยะนำกลับมาใช้ใหม่	17.92	บาท
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายที่ 2 ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตร	2.24	บาท
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายที่ 2 ไปยังตำแหน่งฝังกลบ	1017.94	บาท
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่าย	175	บาท
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งรับซื้อขยะนำกลับมาใช	36	บาท
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขย	12	บาท
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งฝังกลบ	48	บาท
รวมค่าใช้จ่ายค่าขนส่ง	4026.69	บาท

รูปที่ 4.17 ผลลัพธ์หลังจากการ Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

ตารางที่ 4.31 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	1,701.63 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	375.17 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	46.90 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งฝังกลบ	1,070.45 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	17.92 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	2.24 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งฝังกลบ	1,017.94 บาทต่อวัน
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	175.00 บาทต่อวัน
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	36 .00 บาทต่อวัน
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	12.00 บาทต่อวัน
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งฝังกลบ	48.00 บาทต่อวัน
รวมค่าใช้จ่ายค่าขนส่ง	4,503.25 บาทต่อวัน

4.3.8 รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

แบบนี้จะใช้สถานีขนถ่าย 2 จุด จะตั้งสถานีขนถ่ายใหม่มา โดยจะตั้งใกล้กับจุดรับซื้อของเก่า โดยจะคิดค่าใช้จ่ายจากโซนทั้งหมดไปยังสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 จุด จากนั้นจะคิดค่าใช้จ่ายจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ แบบ Milk Runs โดยจะกำหนดให้สถานีขนถ่าย (ปัจจุบัน) จะรองรับขยะได้ 60 ตัน และให้สถานีขนถ่าย (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) รองรับได้ 40 ตัน ในส่วนปริมาณเฉลี่ยของรถขยะจะใช้การประมาณของความจุรถขยะ และจำนวนรอบรถจากข้อมูลในหัวข้อที่ 4.3.7 ส่วนค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.27, 4.28, 4.29, และ4.30

4.3.8.1 การกำหนดตัวแปร

ดัชนีตัวแปร

i คือ ตำแหน่งของจุดกำเนิดขยะ โดยที่ i = {1,2,...,33}

j คือ ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายขยะ โดยที่ j = {1,2}

k คือ ตำแหน่งของจุดจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่

พารามิเตอร์

C_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งของจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (บาทต่อตัน)

T_{jk} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งของสถานีขนถ่าย i ไปยังจุด k (บาทต่อตัน)

U คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย

V คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากตำแหน่งของบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายไปยังจุดฝังกลบ

P_2 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายคิดเป็นร้อยละ 5

P_3 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะคิดเป็นร้อยละ 55

R_1 คือ ค่าบำรุงรักษารถขยะขนาดปกติ หน่วย 5 (บาทต่อรอบ)

R_2 คือ ค่าซ่อมบำรุงรถขนถ่ายขนาดใหญ่ หน่วย 6 (บาทต่อรอบ)

W_1 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขนส่งขยะ มีค่าเท่ากับ 4.144 ตัน

W_2 คือ ความจุสูงสุดโดยเฉลี่ยของรถขนถ่ายขนาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.772 ตัน

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij} คือ ปริมาณขยะของจุดกำเนิดขยะ (ตัน)

สมการเป้าประสงค์

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} C_{ij}X_{ij} + T_{11}\sum_{i=1}^{33} X_{i1} + T_{21}\sum_{i=1}^{33} X_{i2}$$

$$+U(P_2+P_3)\sum_{i=1}^{33} X_i + VP_3\sum_{i=1}^{33} X_i$$

$$+R_1\left[\sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2}\left[\frac{X_{ij}}{W_1}\right]\right] + R_2\left[\left[\frac{\sum_{i=1}^{33} X_{i1}}{W_2}\right] + \left[\frac{\sum_{i=1}^{33} X_{i2}}{W_2}\right]\right]$$

$$+R_2\left[\left[\frac{P_3\sum_{i=1}^{33} X_i}{W_2}\right]\right]$$

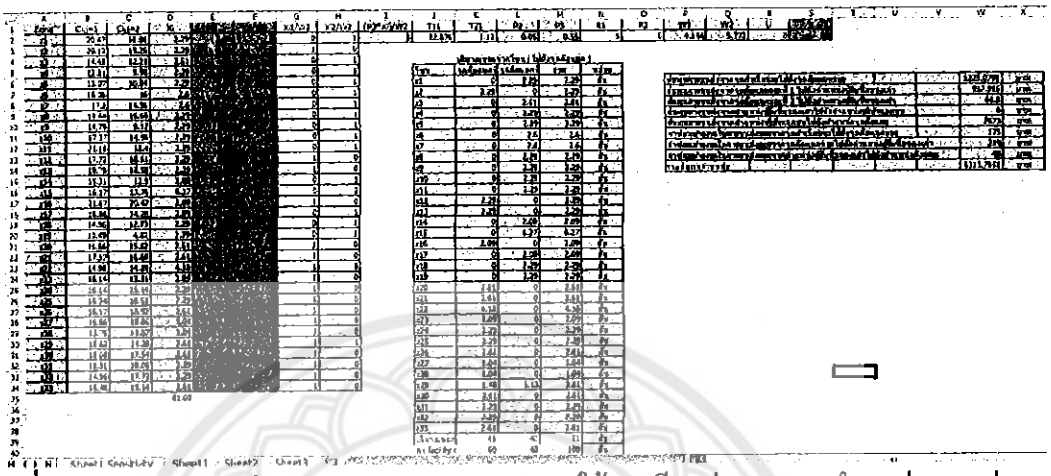
ภายใต้เงื่อนไข

$$X_{11}+X_{12}=2.28772$$
$$X_{21}+X_{22}=2.28772$$
$$X_{31}+X_{32}=2.61156$$

$$X_{41}+X_{42}=2.28772$$
$$X_{51}+X_{52}=2.28772$$
$$X_{61}+X_{62}=2.61156$$
$$X_{71}+X_{72}=2.61156$$
$$X_{81}+X_{82}=2.28772$$
$$X_{91}+X_{92}=2.28772$$
$$X_{10,1}+X_{10,2}=2.28772$$
$$X_{11,1}+X_{11,2}=2.28772$$
$$X_{12,1}+X_{12,2}=2.28772$$
$$X_{13,1}+X_{13,2}=2.28772$$
$$X_{14,1}+X_{14,2}=2.08924$$
$$X_{15,1}+X_{15,2}=6.26773$$
$$X_{16,1}+X_{16,2}=2.08924$$
$$X_{17,1}+X_{17,2}=2.08924$$
$$X_{18,1}+X_{18,2}=2.28772$$
$$X_{19,1}+X_{19,2}=2.28772$$
$$X_{20,1}+X_{20,2}=2.61156$$
$$X_{21,1}+X_{21,2}=2.61156$$
$$X_{22,1}+X_{22,2}=4.17849$$
$$X_{23,1}+X_{23,2}=2.08924$$
$$X_{24,1}+X_{24,2}=2.28772$$
$$X_{25,1}+X_{25,2}=2.28772$$
$$X_{26,1}+X_{26,2}=2.61156$$
$$X_{27,1}+X_{27,2}=1.04462$$
$$X_{28,1}+X_{28,2}=1.04462$$
$$X_{29,1}+X_{29,2}=2.61156$$
$$X_{30,1}+X_{30,2}=2.61156$$
$$X_{31,1}+X_{31,2}=2.28772$$
$$X_{32,1}+X_{32,2}=2.28772$$
$$X_{33,1}+X_{33,2}=2.61156$$
$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,1} \le 60$$
$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,2} \le 40$$

$$X_{ij} \geq 0$$

4.3.8.2 ทำการคำนวณโดยใช้ Excel Solver



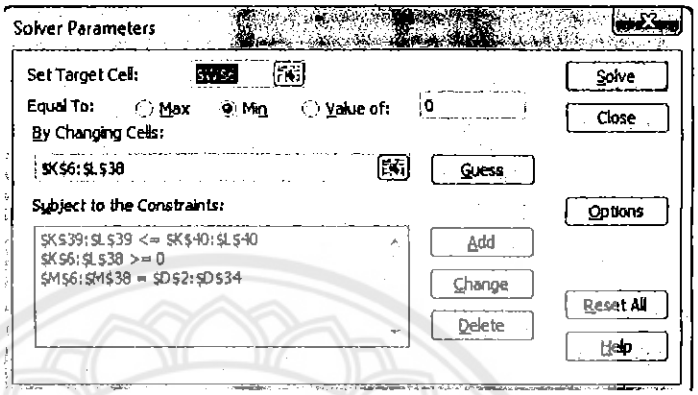
รูปที่ 4.18 รูปแบบการคำนวณบน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Zone	Cij-1	Cij-2	Xij			Xi1/W2	Xi2/W2
2	z1	20.47	16.86	2.29			0	1
3	z2	20.12	19.26	2.29			1	0
4	z3	14.45	12.21	2.61			0	1
5	z4	12.21	9.98	2.29			0	1
6	z5	13.07	10.84	2.29			0	1
7	z6	18.06	16	2.6			0	1
8	z7	17.2	14.96	2.6			0	1
9	z8	19.44	16.68	2.29			0	1
10	z9	14.79	9.12	2.29			0	1
11	z10	17.37	14.96	2.29			0	1
12	z11	21.16	18.4	2.29			0	1
13	z12	17.72	16.51	2.29			1	0
14	z13	19.78	18.58	2.29			1	0
15	z14	15.31	12.9	2.09			0	1
16	z15	16.17	13.76	6.27			0	2
17	z16	21.67	20.47	2.09			1	0
18	z17	16.86	14.28	2.09			0	1
19	z18	14.96	12.73	2.29			0	1
20	z19	10.49	4.82	2.29			0	1
21	z20	16.86	15.82	2.61			1	0
22	z21	17.37	16.68	2.61			1	0
23	z22	14.96	14.28	4.18			1	0
24	z23	16.14	15.31	2.09			1	0
25	z24	16.14	15.14	2.29			1	0
26	z25	16.34	16.51	2.29			1	0
27	z26	16.17	18.92	2.61			1	0
28	z27	16.86	16.86	1.04			1	0
29	z28	13.76	13.07	1.04			1	0
30	z29	15.82	14.28	2.61			1	1
31	z30	18.06	17.54	2.61			1	0
32	z31	15.31	18.06	2.29			1	0
33	z32	14.96	17.72	2.29			1	0
34	z33	15.48	15.14	2.61			1	0

รูปที่ 4.19 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	(P3*X0)/W2	T11	T21	P2	P3	R1	R2	W1	W2	U	
2	8	22.876	1.12	0.05	0.55	5	6	4.144	5.772	0	
3											

รูปที่ 4.20 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆ ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs



รูปที่ 4.21 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	J	K	L	M	N
4		ปริมาณขยะจากโซน i ไปยังจุดคัดแยก j			
5	โซน	จุดคัดแยกที่1	จุดคัดแยกที่2	รวม	หน่วย
6	z1	0	2.29	2.29	ตัน
7	z2	2.29	0	2.29	ตัน
8	z3	0	2.61	2.61	ตัน
9	z4	0	2.29	2.29	ตัน
10	z5	0	2.29	2.29	ตัน
11	z6	0	2.6	2.6	ตัน
12	z7	0	2.6	2.6	ตัน
13	z8	0	2.29	2.29	ตัน
14	z9	0	2.29	2.29	ตัน
15	z10	0	2.29	2.29	ตัน
16	z11	0	2.29	2.29	ตัน
17	z12	2.29	0	2.29	ตัน
18	z13	2.29	0	2.29	ตัน
19	z14	0	2.09	2.09	ตัน
20	z15	0	6.27	6.27	ตัน
21	z16	2.09	0	2.09	ตัน
22	z17	0	2.09	2.09	ตัน
23	z18	0	2.29	2.29	ตัน
24	z19	0	2.29	2.29	ตัน
25	z20	2.61	0	2.61	ตัน
26	z21	2.61	0	2.61	ตัน
27	z22	4.18	0	4.18	ตัน
28	z23	2.09	0	2.09	ตัน
29	z24	2.29	0	2.29	ตัน
30	z25	2.29	0	2.29	ตัน
31	z26	2.61	0	2.61	ตัน
32	z27	1.04	0	1.04	ตัน
33	z28	1.04	0	1.04	ตัน
34	z29	1.48	1.13	2.61	ตัน
35	z30	2.61	0	2.61	ตัน
36	z31	2.29	0	2.29	ตัน
37	z32	2.29	0	2.29	ตัน
38	z33	2.61	0	2.61	ตัน
39	ปริมาณขยะ	41	40	81	ตัน
40	ค่า facility c	60	40	100	ตัน

Sheet1 Sensitivity | Sheet1 | Sheet

รูปที่ 4.22 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
6	ต้นทุนการขนส่งจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดคัดแยกขยะ							1225.08	บาท
7	ต้นทุนการขนส่งจากจุดคัดแยกขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่า							937.916	บาท
8	ต้นทุนการขนส่งจากจุดคัดแยกขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่า							44.8	บาท
9	ต้นทุนการขนส่งจากตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่าไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชน							0	บาท
10	ต้นทุนการขนส่งจากตำแหน่งบริษัทเอกชนไปยังตำแหน่งจุดฝังกลบ							2673	บาท
11	ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดคัดแยกขยะ							175	บาท
12	ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากจุดคัดแยกขยะไปยังตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่า							210	บาท
13	ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่าไปยังตำแหน่งฝังกลบ							48	บาท
14	รวมต้นทุนค่าขนส่ง							5313.796	บาท

รูปที่ 4.23 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งขยะไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

ตารางที่ 4.32 ค่าใช้จ่ายการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	1,701.63 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	937.92 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	44.80 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	0.00 บาทต่อวัน
ค่าใช้จ่ายการขนส่งจากตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายไปยังตำแหน่งจุดฝังกลบ	2,673.00 บาทต่อวัน
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	175.00 บาทต่อวัน
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	210.00 บาทต่อวัน
ค่าซ่อมบำรุงรถในการขนส่งขยะจากตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังตำแหน่งฝังกลบ	48.00 บาทต่อวัน
รวมค่าใช้จ่ายค่าขนส่ง	5,790.35 บาทต่อวัน

4.3.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมในรูปแบบต่างๆ

นำค่าใช้จ่ายรวมของรูปแบบทั้งหมดมาเปรียบเทียบ เพื่อหารูปแบบที่ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดของวัน

ตารางที่ 4.33 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมในรูปแบบต่างๆ

รูปแบบการไหล	ค่าใช้จ่ายของค่าขนส่ง	ค่าใช้จ่ายของค่าบำรุงรถขยะ	ค่าใช้จ่ายรวม
1. รูปแบบส่งตรง Direct Shipment	6,166.3 บาท/วัน	495 บาท/วัน	6,661.3 บาท/วัน
2. รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ	5,171.1 บาท/วัน	265 บาท/วัน	5,436.1 บาท/วัน
3. รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs	6,749.2 บาท/วัน	313 บาท/วัน	7,062.2 บาท/วัน
4. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	5,067.1 บาท/วัน	210 บาท/วัน	5,277.1 บาท/วัน
5. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	6,645.2 บาท/วัน	258 บาท/วัน	6,903.2 บาท/วัน
6. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง	4,232.3 บาท/วัน	271 บาท/วัน	4,503.3 บาท/วัน
7. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs	5,357.4 บาท/วัน	433 บาท/วัน	5,790.4 บาท/วัน

จากตารางที่ 4.33 จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด คือ รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง โดยมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 4,503.3 บาท / วัน และค่าใช้จ่ายรวมที่สูงที่สุด คือ รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง โดยมีค่าใช้จ่าย เท่ากับ 6,903.2 บาท / วัน

4.4 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของขยะภายใต้วัตถุประสงค์ระยะทางรวมสั้นที่สุด

การหาระยะทางแต่ละรูปแบบการไหลในหัวข้อ 4.2 จะหาโดยใช้เว็บ Google Map ในการช่วยหา โดยจะเลือกจุดเก็บขยะเป็นจุดเริ่มต้น และสิ้นสุดที่จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และจุดฝังกลบ ดังนี้

4.4.1 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment

แบบส่งตรงจะหาระยะทางจากจุดโซนไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และจุดฝังกลบ โดยตรงแบบไม่ผ่านสถานีขนถ่าย

4.4.1.1 ระยะทางรวมจากจุดกำเนิดขยะไปยังตำแหน่งต่างๆในขาไป

$$\sum_{i=1}^{33}\sum_{k=1}^{3} D_{ik}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

D_{ik} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.34 ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ik}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=11.3
	D_{12}=11.3
	D_{13}=38.3

ทั้งนี้ตารางระยะทางทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ข

4.4.1.2 ระยะทางรวมจากจุดกำเนิดขยะไปยังตำแหน่งต่างในขากลับ

$$\sum_{k=1}^{3}\sum_{i=1}^{33} D_{ki}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

D_{ki} คือ ระยะทางจากจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ k ไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.35 ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ไปยังจุดกำเนิดขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=11.3
	D_{21}=11.3
	D_{32}=36.5

ทั้งนี้ตารางระยะทางทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ข

ระยะทางรวมทั้ง 33 โซนทั้งหมด คือ 3,493.7 กิโลเมตร

4.4.2 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ

รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะหาจากแต่ละโซนทั้ง 33 โซน ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ และจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และจุดฝังกลบ

4.4.2.1 ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} D_{i1}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิด i ขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.36 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{i1}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=11.9
2	D_{21}=11.7
3	D_{31}=8.4
4	D_{41}=7.1
5	D_{51}=7.6

ตารางที่ 4.36 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{i1}) (กิโลเมตร)
6	D_{61}=10.5
7	D_{71}=10.0
8	D_{81}=11.3
9	D_{91}=8.6
10	$D_{10,1}$=10.1
11	$D_{11,1}$=12.3
12	$D_{12,1}$=10.3
13	$D_{13,1}$=11.5
14	$D_{14,1}$=8.9
15	$D_{15,1}$=9.4
16	$D_{16,1}$=12.6
17	$D_{17,1}$=9.8
18	$D_{18,1}$=8.7
19	$D_{19,1}$=6.1
20	$D_{20,1}$=9.8
21	$D_{21,1}$=10.1
22	$D_{22,1}$=8.7
23	$D_{23,1}$=9.4
24	$D_{24,1}$=9.4
25	$D_{25,1}$=9.5
26	$D_{26,1}$=9.4
27	$D_{27,1}$=9.8
28	$D_{28,1}$=8.0
29	$D_{29,1}$=9.2
30	$D_{30,1}$=10.5
31	$D_{31,1}$=8.9
32	$D_{32,1}$=8.7
33	$D_{33,1}$=9.0
รวม	317.2

4.4.2.2 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} D_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.37 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กิโลเมตร)
2	D_{12}=11.7

ทั้งนี้ตารางระยะทางทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ข

4.4.2.3 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{k=1}^{3} D_{1k}$$

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

D_{1k} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.38 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

ตำแหน่ง	ระยะทาง (D_{1k}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=13.3
2	D_{12}=13.3
3	D_{13}=27.6
รวม	54.2

ตารางที่ 4.39 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ

ระยะทางของแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	621.9 กิโลเมตร
ระยะทางของสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ	54.2 กิโลเมตร
รวม	676.1 กิโลเมตร

4.4.3 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs

หาระยะทางจากโซนแต่ละโซนทั้ง 33 โซน ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ และระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และจุดฝังกลบ แบบ Milk Runs

4.4.3.1 ระยะทางจากโซนทั้ง 33 โซน ไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป **ใช้สมการ ดังนี้**

$$\sum_{i=1}^{33} D_{i1}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิด i ขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ **(กิโลเมตร)**

ตารางที่ 4.40 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs **แต่ละโซนไปยัง** สถานีขนถ่ายขยะในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=11.9
2	D_{21}=11.7
3	D_{31}=8.4
4	D_{41}=7.1
5	D_{51}=7.6
6	D_{61}=10.5
7	D_{71}=10.0
8	D_{81}=11.3
9	D_{91}=8.6
10	$D_{10,1}$=10.1
11	$D_{11,1}$=12.3

ตารางที่ 4.40 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs แต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
12	$D_{12,1}$=10.3
13	$D_{13,1}$=11.5
14	$D_{14,1}$=8.9
15	$D_{15,1}$=9.4
16	$D_{16,1}$=12.6
17	$D_{17,1}$=9.8
18	$D_{18,1}$=8.7
19	$D_{19,1}$=6.1
20	$D_{20,1}$=9.8
21	$D_{21,1}$=10.1
22	$D_{22,1}$=8.7
23	$D_{23,1}$=9.4
24	$D_{24,1}$=9.4
25	$D_{25,1}$=9.5
26	$D_{26,1}$=9.4
27	$D_{27,1}$=9.8
28	$D_{28,1}$=8.0
29	$D_{29,1}$=9.2
30	$D_{30,1}$=10.5
31	$D_{31,1}$=8.9
32	$D_{32,1}$=8.7
33	$D_{33,1}$=9.0
รวม	317.2

4.4.3.2 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} D_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.41 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs แต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กิโลเมตร)
2	D_{12}=11.7

ทั้งนี้ตารางระยะทางทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ข

4.4.3.3 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ โดยขนส่งแบบ Milk Runs ซึ่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่กับบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายอยู่ที่เดียวกัน ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{j<k,\ k=j+1} D_{jk}$$

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1,2,3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

D_{jk} คือ ระยะทางจากต้นทาง i ไปยังปลายทาง k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.42 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs จากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ

ช่วง	ระยะทาง (D_{jk}) (กิโลเมตร)
1	D_{12}=13.3
2	D_{23}=0.0
3	D_{34}=34.9
รวม	48.2

ตารางที่ 4.43 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

ระยะทางของแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	621.9 กิโลเมตร
ระยะทางของสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	48.2 กิโลเมตร
รวม	670.1 กิโลเมตร

4.4.4 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซน

การขนส่งแบบ Milk runs จะจัดโซนทั้ง 33 โซน ให้เป็นกลุ่มๆละ 3 โซน จึงจะหาระยะทางไปถึงสถานีขนถ่ายขยะ และจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ แบ่งกลุ่มจำนวน 3 โซนที่ใกล้กัน ดังตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 แบ่งกลุ่มแต่ละโซน

กลุ่ม	ลำดับโซน
1	โซนที่ 24, 33 และ23
2	โซนที่ 3, 29 และ14
3	โซนที่ 26, 20 และ21
4	โซนที่ 5, 28 และ18
5	โซนที่ 31, 32 และ25
6	โซนที่ 12, 27 และ6
7	โซนที่ 15, 22 และ27
8	โซนที่ 9, 4 และ17
9	โซนที่ 11, 1 และ8
10	โซนที่ 22, 10 และ16
11	โซนที่ 13, 30 และ19

4.4.4.1 ระยะทางของแต่ละกลุ่มโซน ไปยังสถานีขนถ่ายขยะใช้สมการในขาไป ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} D_{i1}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิด i ขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.45 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป

กลุ่ม	ระยะทาง (D_{i1}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=10.00
2	D_{21}=9.63
3	D_{31}=11.05
4	D_{41}=9.90
5	D_{51}=11.25
6	D_{61}=12.00
7	D_{71}=12.15
8	D_{81}=13.70
9	D_{91}=13.90
10	$D_{10,1}$=16.40
11	$D_{11,1}$=22.80
รวม	142.78

4.4.4.2 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ **ใช้สมการ ดังนี้**

$$\sum_{i=1}^{33} D_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i **(กิโลเมตร)**

ตารางที่ 4.46 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	จำนวนรอบ	ระยะทางรวม (กม.)
1	D_{11}=10.00	2	20.00
2	D_{21}=9.63	2	19.26
3	D_{31}=11.05	2	22.10
4	D_{41}=9.90	2	19.80
5	D_{51}=11.25	2	22.50
6	D_{61}=12.00	2	24.00
7	D_{71}=12.15	3	36.45
8	D_{81}=13.70	2	27.40
9	D_{91}=13.90	2	27.80
10	$D_{10,1}$=16.40	2	32.80
11	$D_{11,1}$=22.80	2	45.60
		รวม	297.71

4.4.4.3 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ **ใช้สมการ ดังนี้**

$$\sum_{k=1}^{3} D_{1k}$$

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

D_{1k} **คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ** k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.47 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่ง	ระยะทาง (D_{1k}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=13.3
2	D_{12}=13.3
3	D_{13}=27.6
รวม	54.2

ตารางที่ 4.48 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรก

ระยะทางของแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	440.49 กิโลเมตร
ระยะทางของสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	54.20 กิโลเมตร
รวม	494.69 กิโลเมตร

4.4.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

การขนส่งแบบ Milk runs จะจัดโซนทั้ง 33 โซน ให้เป็นกลุ่มๆละ 3 โซน จึงจะหาระยะทางไปถึงสถานีขนถ่ายขยะ และจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และจุดฝังกลบโดยขนส่งแบบ Milk Runs

แบ่งกลุ่มจำนวน 3 โซนที่ใกล้กัน ดังตารางที่ 4.44

4.4.5.1 ระยะทางของแต่ละกลุ่มโซน ไปยังสถานีขนถ่ายขยะใช้สมการในขาไป ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} D_{i1}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิด i ขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.49 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป

กลุ่ม	ระยะทาง (D_{i1}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=10.00
2	D_{21}=9.63
3	D_{31}=11.05
4	D_{41}=9.90
5	D_{51}=11.25
6	D_{61}=12.00
7	D_{71}=12.15
8	D_{81}=13.70
9	D_{91}=13.90

ตารางที่ 4.49 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ และ Milk Runs ทั้งหมดแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป

10	$D_{10,1}$=16.40
11	$D_{11,1}$=22.80
รวม	142.78

4.4.5.2 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} D_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.50 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดแต่ละกลุ่มไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	จำนวนรอบ	ระยะทางรวม (กม.)
1	D_{11}=10.00	2	20.00
2	D_{21}=9.63	2	19.26
3	D_{31}=11.05	2	22.10
4	D_{41}=9.90	2	19.80
5	D_{51}=11.25	2	22.50
6	D_{61}=12.00	2	24.00
7	D_{71}=12.15	3	36.45
8	D_{81}=13.70	2	27.40
9	D_{91}=13.90	2	27.80
10	$D_{10,1}$=16.40	2	32.80
11	$D_{11,1}$=22.80	2	45.60
		รวม	297.71

4.4.5.3 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{j<k,\ k=j+1} D_{jk}$$

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1,2,3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

D_{jk} คือ ระยะทางจากต้นทาง i ไปยังปลายทาง k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.51 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ

ช่วงที่	ระยะทาง (D_{jk}) (กิโลเมตร)
1	D_{12}=13.30
2	D_{23}=0.00
3	D_{34}=34.90
รวม	48.20

ตารางที่ 4.52 ระยะทางรวมของการขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ และ Milk Runs ทั้งหมด

ระยะทางของแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	440.49 กิโลเมตร
ระยะทางของสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	48.20 กิโลเมตร
รวม	488.69 กิโลเมตร

4.4.6 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง

หาระยะทางจากโซนทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง และระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และจุดฝังกลบต่อไป

4.4.6.1 ระยะทางจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะใช้สมการในขาไป ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} D_{ij}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

ตารางที่ 4.53 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
26	$D_{26,1}$=9.4
27	$D_{27,1}$=9.8
28	$D_{28,1}$=8.0
29	$D_{29,1}$=9.2
30	$D_{30,1}$=10.5
31	$D_{31,1}$=8.9
32	$D_{32,1}$=8.7
33	$D_{33,1}$=9.0
รวม	317.2

ตารางที่ 4.54 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
1	D_{12}=9.8
2	D_{22}=11.2
3	D_{32}=7.1
4	D_{42}=5.8
5	D_{52}=6.3
6	D_{62}=9.3
7	D_{72}=8.7
8	D_{82}=9.7
9	D_{92}=5.3
10	$D_{10,2}$=8.7
11	$D_{11,2}$=10.7
12	$D_{12,2}$=9.6
13	$D_{13,2}$=10.8
14	$D_{14,2}$=7.5
15	$D_{15,2}$=8

ตารางที่ 4.54 (ต่อ) ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
16	$D_{16,2}$=11.9
17	$D_{17,2}$=8.3
18	$D_{18,2}$=7.4
19	$D_{19,2}$=2.8
20	$D_{20,2}$=9.2
21	$D_{21,2}$=9.7
22	$D_{22,2}$=8.3
23	$D_{23,2}$=8.9
24	$D_{24,2}$=8.8
25	$D_{25,2}$=9.6
26	$D_{26,2}$=11
27	$D_{27,2}$=9.8
28	$D_{28,2}$=7.6
29	$D_{29,2}$=8.3
30	$D_{30,2}$=10.2
31	$D_{31,2}$=10.5
32	$D_{32,2}$=10.3
33	$D_{33,2}$=8.8
รวม	289.9

4.4.6.2 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{33} D_{ji}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ สถานีขนถ่ายขยะที่ j โดย j = {1 = สถานีขนถ่ายขยะเก่า, 2 = สถานีขนถ่ายขยะใหม่}

D_{ij} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะ j ไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.55 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)
12	$D_{1,13}$=11.5
13	$D_{1,13}$=11.5
16	$D_{1,17}$=9.8
20	$D_{1,21}$=10.1
21	$D_{1,21}$=10.1
22	$D_{1,23}$=9.4
23	$D_{1,23}$=9.4
24	$D_{1,25}$=9.5
25	$D_{1,25}$=9.5
26	$D_{1,26}$=9.4
27	$D_{1,28}$=8.0
28	$D_{1,28}$=8.0
31	$D_{1,32}$=8.7
32	$D_{1,32}$=8.7
33	$D_{1,33}$=9.0
รวม	142.60

ตารางที่ 4.56 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)
2	D_{22}=11.2
3	D_{23}=7.1
4	D_{25}=6.3
5	D_{25}=6.3
6	D_{27}=8.7
7	D_{27}=8.7
8	D_{29}=5.3

ตารางที่ 4.56 (ต่อ) ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ

9	D_{29}=5.3
10	$D_{2,11}$=10.7
11	$D_{2,11}$=10.7
14	$D_{2,15}$=8.0
15	$D_{2,16}$=11.9
17	$D_{2,17}$=8.3
18	$D_{2,19}$=2.8
19	$D_{2,19}$=2.8
29	$D_{2,30}$=10.2
30	$D_{2,30}$=10.2
รวม	134.5

4.4.6.3 กำหนดตัวแปร

i คือ ตำแหน่งของจุดกำเนิดขยะ โดยที่ i = {1,2,...,33}

j คือ ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายขยะ โดยที่ j = {1,2}

k คือ ตำแหน่งของจุดอำนวยความสะดวก โดยที่ k = {1,2,3}

D_{ij} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (กิโลเมตร)

D_{jk} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะ j ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลเมตร)

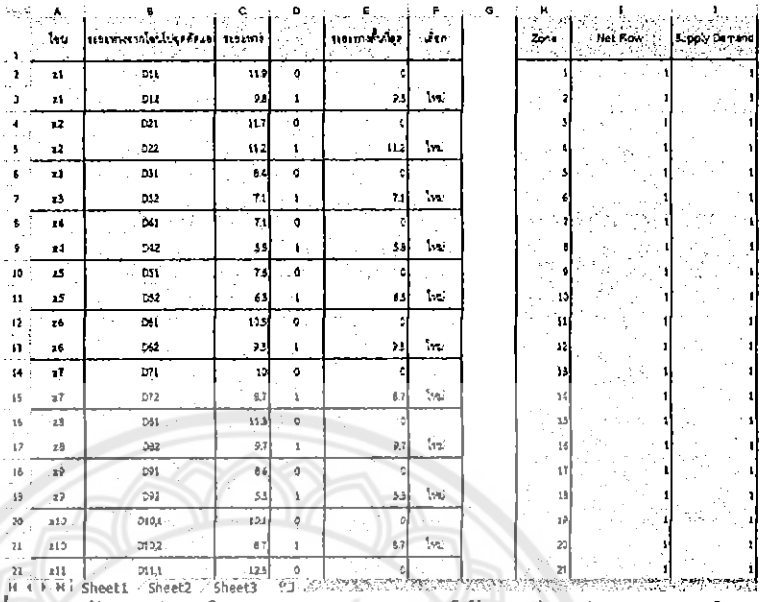
สมการเป้าประสงค์

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} D_{ij} + \sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{3} D_{jk}$$

เงื่อนไข

$$D_{ij}, D_{jk} \geq 0$$

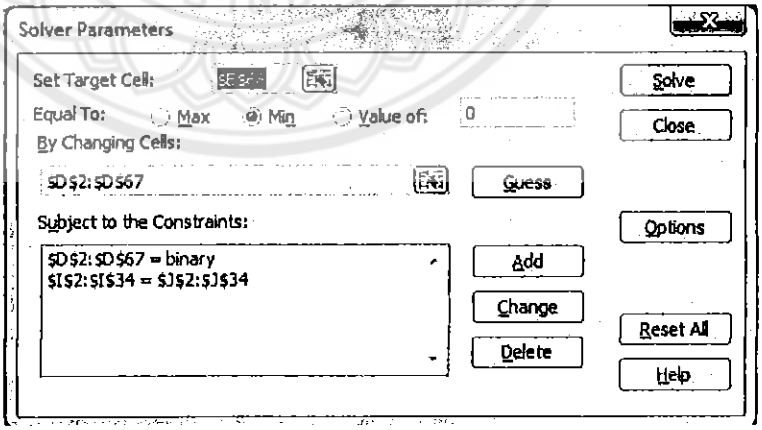
4.4.6.3 ทำการคำนวณโดยใช้ Excel Solver



รูปที่ 4.24 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

	L	M	N	O	P	Q	R
1	Djk	D11	D12	D13	D21	D22	D23
2		13.3	13.3	27.6	0.65	0.65	26.9

รูปที่ 4.25 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.26 ข้อมูลต่างๆ ในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

	A	B	C	D	E	F
47	z23	D23,2	8.9	1	8.9	ใหม่
48	z24	D24,1	9.4	0	0	
49	z24	D24,2	8.8	1	8.8	ใหม่
50	z25	D25,1	9.5	1	9.5	
51	z25	D25,2	9.6	0	0	เก่า
52	z26	D26,1	9.4	1	9.4	
53	z26	D26,2	11	0	0	เก่า
54	z27	D27,1	9.8	1	9.8	
55	z27	D27,2	9.8	0	0	เก่า
56	z28	D28,1	8	0	0	
57	z28	D28,2	7.6	1	7.6	ใหม่
58	z29	D29,1	9.2	0	0	
59	z29	D29,2	9.3	1	9.3	ใหม่
60	z30	D30,1	10.5	0	0	
61	z30	D30,2	10.2	1	10.2	ใหม่
62	z31	D31,1	8.9	1	8.9	
63	z31	D31,2	10.5	0	0	เก่า
64	z32	D32,1	8.7	1	8.7	
65	z32	D32,2	10.3	0	0	เก่า
66	z33	D33,1	9	0	0	
67	z33	D33,2	8.8	1	8.8	ใหม่
68					285	

รูปที่ 4.27 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

จากรูปที่ 4.27 คือ ระยะทางจากแต่ละจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะที่สั้นที่สุด โดยโปรแกรมจะเลือกระยะทางที่สั้นที่สุดรวมได้คือ 285 กิโลเมตร

	L	M	N	O	P	Q	R
6	**รวมระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดคัดแยกขยะที่สั้นที่สุด**					**285**	**กิโลเมตร**
7	**รวมระยะทางจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่าง**					**82.4**	**กิโลเมตร**
8			**รวม**			**367.4**	**กิโลเมตร**

รูปที่ 4.28 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

ตารางที่ 4.57 ระยะทางรวมของการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

ระยะทางของแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	562.10 กิโลเมตร
ระยะทางของสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	82.40 กิโลเมตร
รวม	644.50 กิโลเมตร

4.4.7 แบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

หาระยะทางจากโซนทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง และระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ต่อไป โดยขนส่งแบบ Milk Runs

4.4.7.1 ระยะทางจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} D_{ij}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ สถานีขนถ่ายขยะที่ j โดย j = {1 = สถานีขนถ่ายขยะเก่า, 2 = สถานีขนถ่ายขยะใหม่}

D_{ij} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j **(กิโลเมตร)**

ตารางที่ 4.58 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=11.9
2	D_{21}=11.7
3	D_{31}=8.4
4	D_{41}=7.1
5	D_{51}=7.6
6	D_{61}=10.5
7	D_{71}=10
8	D_{81}=11.3
9	D_{91}=8.6
10	$D_{10,1}$=10.1
11	$D_{11,1}$=12.3

ตารางที่ 4.58 (ต่อ) ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
12	$D_{12,1}$=10.3
13	$D_{13,1}$=11.5
14	$D_{14,1}$=8.9
15	$D_{15,1}$=9.4
16	$D_{16,1}$=12.6
17	$D_{17,1}$=9.8
18	$D_{18,1}$=8.7
21	$D_{21,1}$=10.1
22	$D_{22,1}$=8.7
23	$D_{23,1}$=9.4
24	$D_{24,1}$=9.4
25	$D_{25,1}$=9.5
26	$D_{26,1}$=9.4
27	$D_{27,1}$=9.8
28	$D_{28,1}$=8.0
29	$D_{29,1}$=9.2
30	$D_{30,1}$=10.5
31	$D_{31,1}$=8.9
32	$D_{32,1}$=8.7
33	$D_{33,1}$=9.0
รวม	317.2

ตารางที่ 4.59 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
1	D_{12}=9.8
2	D_{22}=11.2
3	D_{32}=7.1
4	D_{42}=5.8
5	D_{52}=6.3
6	D_{62}=9.3
7	D_{72}=8.7
8	D_{82}=9.7
9	D_{92}=5.3
10	$D_{10,2}$=8.7
11	$D_{11,2}$=10.7
12	$D_{12,2}$=9.6
13	$D_{13,2}$=10.8
14	$D_{14,2}$=7.5
15	$D_{15,2}$=8.0
16	$D_{16,2}$=11.9
17	$D_{17,2}$=8.3
18	$D_{18,2}$=7.4
19	$D_{19,2}$=2.8
20	$D_{20,2}$=9.2
21	$D_{21,2}$=9.7
22	$D_{22,2}$=8.3
23	$D_{23,2}$=8.9
24	$D_{24,2}$=8.8
25	$D_{25,2}$=9.6
26	$D_{26,2}$=11.0

ตารางที่ 4.59 (ต่อ) ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
27	$D_{27,2}$=9.8
28	$D_{28,2}$=7.6
29	$D_{29,2}$=8.3
30	$D_{30,2}$=10.2
31	$D_{31,2}$=10.5
32	$D_{32,2}$=10.3
33	$D_{33,2}$=8.8
รวม	289.9

4.4.7.2 ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการ ดังนี้

$$\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{33} D_{ji}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ สถานีขนถ่ายขยะที่ j โดย j = {1 = สถานีขนถ่ายขยะเก่า, 2 = สถานีขนถ่ายขยะใหม่}

D_{ij} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะ j ไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.60 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)
12	$D_{1,13}$=11.5
13	$D_{1,13}$=11.5
16	$D_{1,17}$=9.8
20	$D_{1,21}$=10.1
21	$D_{1,21}$=10.1
22	$D_{1,23}$=9.4
23	$D_{1,23}$=9.4
24	$D_{1,25}$=9.5

ตารางที่ 4.60 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) ในขากลับ

25	$D_{1,25}$=9.5
26	$D_{1,26}$=9.4
27	$D_{1,28}$=8.0
28	$D_{1,28}$=8.0
31	$D_{1,32}$=8.7
32	$D_{1,32}$=8.7
33	$D_{1,33}$=9.0
รวม	142.60

ตารางที่ 4.61 ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)
2	D_{22}=11.2
3	D_{23}=7.1
4	D_{25}=6.3
5	D_{25}=6.3
6	D_{27}=8.7
7	D_{27}=8.7
8	D_{29}=5.3
9	D_{29}=5.3
10	$D_{2,11}$=10.7
11	$D_{2,11}$=10.7
14	$D_{2,15}$=8.0
15	$D_{2,16}$=11.9
17	$D_{2,17}$=8.3
18	$D_{2,19}$=2.8

ตารางที่ 4.61 (ต่อ) ระยะทางของแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ

19	$D_{2,19}$=2.8
29	$D_{2,30}$=10.2
30	$D_{2,30}$=10.2
รวม	134.5

4.4.7.3 กำหนดตัวแปร

i คือ ตำแหน่งของจุดกำเนิดขยะ โดยที่ i = {1,2,...,33}

j คือ ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายขยะ โดยที่ j = {1,2}

D_{ij} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (กิโลเมตร)

D_{j3} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะ j ไปยังจุดรับซื้อขยะนำกลับมาใช้ใหม่ (กิโลเมตร)

T คือ ระยะทางจากจุดรับซื้อขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย (กิโลเมตร)

B คือ ระยะทางจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายไปยังจุดฝังกลบ (กิโลเมตร)

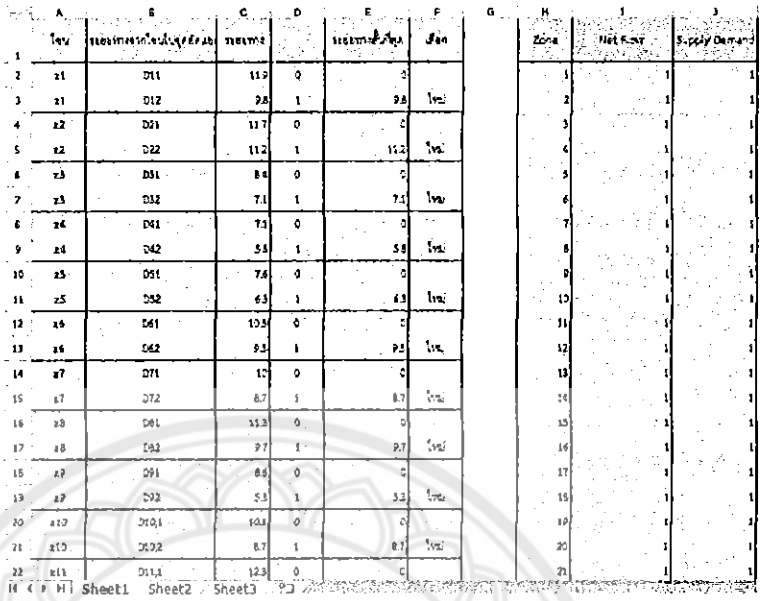
สมการเป้าประสงค์

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{33}\sum_{J=1}^{2} D_{ij} + \sum_{j=1}^{2} D_{j3} + T + B$$

เงื่อนไข

$$D_{ij}, D_{jk} \geq 0$$

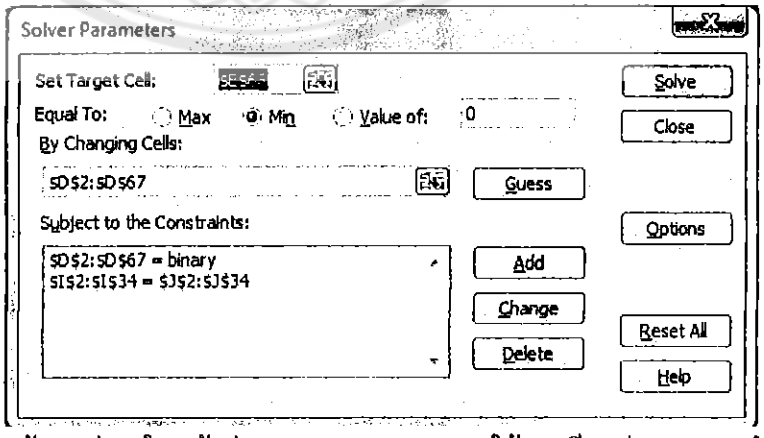
4.4.7.3 ทำการคำนวณโดยใช้ Excel Solver



รูปที่ 4.29 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	L	M	N	O	P
1	Djk	D13	D23	T	B
2		13.3	0.65	0	34.9

รูปที่ 4.30 ข้อมูลต่างๆใน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs



รูปที่ 4.31 ข้อมูลต่างๆในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	A	B	C	D	E	F
47	z23	D23,2	8.9	1	8.9	ใหม่
48	z24	D24,1	9.4	0	0	
49	z24	D24,2	8.8	1	8.8	ใหม่
50	z25	D25,1	9.5	1	9.5	
51	z25	D25,2	9.6	0	0	เก่า
52	z26	D26,1	9.4	1	9.4	
53	z26	D26,2	11	0	0	เก่า
54	z27	D27,1	9.8	1	9.8	
55	z27	D27,2	9.8	0	0	เก่า
56	z28	D28,1	8	0	0	
57	z28	D28,2	7.6	1	7.6	ใหม่
58	z29	D29,1	9.2	0	0	
59	z29	D29,2	8.3	1	8.3	ใหม่
60	z30	D30,1	10.5	0	0	
61	z30	D30,2	10.2	1	10.2	ใหม่
62	z31	D31,1	8.9	1	8.9	
63	z31	D31,2	10.5	0	0	เก่า
64	z32	D32,1	8.7	1	8.7	
65	z32	D32,2	10.3	0	0	เก่า
66	z33	D33,1	9	0	0	
67	z33	D33,2	8.8	1	8.8	ใหม่
68					285	

รูปที่ 4.32 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

จากรูปที่ 4.32 คือ ระยะทางจากแต่ละจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะที่สั้นที่สุด โดยโปรแกรมจะเลือกระยะทางที่สั้นที่สุดรวมได้ คือ 285 กิโลเมตร

	L	M	N	O	P	Q	R
6	รวมระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดคัดแยกขยะที่สั้นที่สุด					285	กิโลเมตร
7	รวมระยะทางจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่าง					48.85	กิโลเมตร
8	รวม					367.4	กิโลเมตร

รูปที่ 4.33 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

ตารางที่ 4.62 ระยะทางรวมของการขนส่งแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง และส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

ระยะทางของแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	562.10 กิโลเมตร
ระยะทางของสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	48.85 กิโลเมตร
รวม	610.95 กิโลเมตร

4.4.8 การเปรียบเทียบระยะทางรวมในรูปแบบต่างๆ

นำระยะทางรวมในรูปแบบต่างๆ ทั้งหมดมาเปรียบเทียบหารูปแบบที่มีระยะทางสั้นที่สุด

ตารางที่ 4.63 เปรียบเทียบระยะทางรวมในรูปแบบต่างๆ

รูปแบบการไหล	ระยะทาง (กม.)
1. รูปแบบส่งตรง Direct Shipment	3,493.70
2. รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ	676.10
3. รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs	670.10
4. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	494.69
5. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	488.69
6. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง	644.50
7. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs	610.95

จากตารางที่ 4.63 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่มีระยะทางสั้นที่สุด คือ รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง โดยมีระยะทางเท่ากับ 488.69 กิโลเมตร และรูปแบบที่มีระยะทางยาวที่สุด คือ รูปแบบส่งตรง Direct Shipment โดยมีระยะทางเท่ากับ 3,493.70 กิโลเมตร

4.5 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของขยะภายใต้วัตถุประสงค์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การหาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะใช้ข้อมูลจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554) โดยใช้ระยะทางคูณด้วยปริมาณขยะที่ขนส่ง จากนั้นนำไปคูณกับค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามประเภทรถ ซึ่งจะใช้ค่าแฟกเตอร์ของรถบรรทุกขยะที่บรรทุกมาร้อยละ 50 ของความจุทั้งหมด คือ 0.0833 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ / ตัน / กิโลเมตร เพราะรถบรรทุกขยะมาไม่เต็มคัน

ตารางที่ 4.64 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	ความหมาย
i	จุดกำเนิดขยะ
j	สถานีขนถ่าย
k	จุดอำนวยความสะดวก
F_{ij}	ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO2 e/ตัน)
G_{jk}	ค่าแฟกเตอร์ของสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (kg CO2 e/ตัน)
M	ค่าแฟกเตอร์ของจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย (kg CO2 e/ตัน)
Q	ค่าแฟกเตอร์ของบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายไปยังจุดฝังกลบ (kg CO2 e/ตัน)
P_1	สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่
P_2	สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย
P_3	สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะ
X_{ij}	ปริมาณขยะของจุดกำเนิดขยะ (ตัน)

4.5.1 ข้อตกลงเบื้องต้น

4.5.1.1 ให้ $F_{ij} = 0.0833 \times D_{ij}$ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554)

4.5.1.2 ให้สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่คิดเป็นร้อยละ 40 (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

4.5.1.3 ให้สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายคิดเป็นร้อยละ 5 (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

4.5.1.4 ให้สัดส่วนขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะคิดเป็นร้อยละ 55 (เทศบาลพิษณุโลก, 2557)

4.5.1.5 ให้สถานีขนถ่ายขยะ (ปัจจุบัน) รองรับขยะได้ 60 ตัน ในรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

4.5.1.6 ให้สถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) รองรับขยะได้ 40 ตัน ในรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

4.5.2 รูปแบบส่งตรง Direct Shipment

แบ่งขยะขนถ่ายไปยังจุดต่างๆ ตามที่ออกแบบไว้ คือ ขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, ขยะอันตรายและขยะติดเชื้อร้อยละ 5 และขยะชีวภาพและขยะที่นำไปผลิตไฟฟ้าได้ร้อยละ 55 ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

4.5.2.1 การปล่อยก๊าซจากแต่ละโซนไปยังตำแหน่งต่างๆ ขาไป ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33}\sum_{k=1}^{3} F_{ik}X_{ik}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

F_{ik} คือ ค่าแฟกเตอร์จากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k ดังนั้น $F_{ik} = 0.0833 \cdot D_{ik}$

X_{ik} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

D_{ik} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.65 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบส่งตรง Direct Shipment

ตารางการปล่อยก๊าซแบบส่งตรง Direct Shipment					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (F_{ik}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{ik}X_{ik}$) (kg CO2 e)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72x0.4=914.80	11.3	F_{11}=0.0833x11.3=0.94	$\frac{914.8 \times 0.94}{1,000}$=0.86
		X_{12}=2,287.72x0.05=114.35	11.3	F_{12}=0.0833x11.3=0.94	$\frac{114.35 \times 0.94}{1,000}$=0.11
		X_{13}=2,287.72x0.55=1,257.85	38.3	F_{13}=0.0833x38.3=3.19	$\frac{1,257.85 \times 3.19}{1,000}$=4.01

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

4.5.2.2 การปล่อยก๊าซจากแต่ละโซนไปยังตำแหน่งต่างๆ ขาไป ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33}\sum_{k=1}^{3} F_{ki}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ และ 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย}

F_{ki} คือ ค่าแฟกเตอร์จากจุดอำนวยความสะดวก k ไปยังจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $F_{ki} = 0.0833 \cdot D_{ki}$

D_{ki} คือ ระยะทางจากจุดอำนวยความสะดวก k ไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.66 ตัวอย่างการคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

ตารางการคิดค่าการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (F_{ki}) (kg CO2 e)
1	11.3	F_{11}=0.0833x11.3=0.94
	11.3	F_{21}=0.0833x11.3=0.94
	36.5	F_{32}=0.0833x11.3=3.04

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

รวมการปล่อยก๊าซแบบส่งตรง คือ 296.46 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์

4.5.3 รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ

จะคิดการปล่อยก๊าซจากโซนขยะถึงสถานีขนถ่าย และจากสถานีขนถ่ายถึงตำแหน่งต่างๆ ตามที่ออกแบบ คือ ขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, ขยะอันตรายและขยะติดเชื้อร้อยละ 5 และขยะชีวภาพและขยะที่นำไปผลิตไฟฟ้าได้ร้อยละ 55

4.5.3.1 การปล่อยก๊าซจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} F_{i1}X_{i1}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

F_{i1} คือ ค่าแฟกเตอร์จากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก ดังนั้น $F_{i1} = 0.0833 \cdot D_{i1}$

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.67 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขาไป

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{i1}X_{i1}$) (kg CO2 e)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	F_{11}=0.0833x11.9=0.99	$\frac{2,287.72 \times 0.99}{1,000}$=2.26

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

4.5.3.2 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} F_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

F_{1i} คือ ค่าการปล่อยก๊าซในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $F_{1i} = 0.0833 \cdot D_{1i}$ (kg CO2 e)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.68 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2e)
2	11.7	F_{12}=0.833x11.7=0.97

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

4.5.3.3 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ ใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$\sum_{k=1}^{3} F_{1k}X_{1k}$$

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

F_{1k} คือ ค่าแฟกเตอร์จากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k ดังนั้น $F_{1k} = 1.72 \cdot D_{1k}$

X_{1k} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

D_{1k} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.69 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ				
ตำแหน่ง	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (X_{1k}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{1k}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (F_{1k}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{1k}X_{1k}$) (kg CO2 e)
1	X_{11}=81,000x0.4=32,400	13.3	C_{11}=0.0833x13.3=1.11	$\frac{32,400 \times 1.11}{1,000}$=35.96
2	X_{12}=81,000x0.05=4,050	13.3	C_{12}=0.0833x13.3=1.11	$\frac{4,050 \times 1.11}{1,000}$=4.50
3	X_{13}=81,000x0.55=44,550	27.6	C_{13}=0.0833x27.6=2.30	$\frac{44,550 \times 2.3}{1,000}$=102.47
			รวม	142.93

ตารางที่ 4.70 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ

การปล่อยก๊าซทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	89.83 kg CO2 e
การปล่อยก๊าซสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	142.93 kg CO2 e
รวม	232.76 kg CO2 e

4.5.4 รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs

จะคิดการปล่อยก๊าซจากโซนขยะถึงสถานีขนถ่าย และจากสถานีขนถ่ายถึงตำแหน่งต่างๆ แบบขนส่ง Milk Runs ตามที่ออกแบบ คือ ขยะนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 40, ขยะอันตรายและขยะติดเชื้อร้อยละ 5 และขยะชีวภาพและขยะที่นำไปผลิตไฟฟ้าได้ร้อยละ 55

4.5.4.1 การปล่อยก๊าซจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} F_{i1} X_{i1}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

F_{i1} คือ ค่าแฟกเตอร์จากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก ดังนั้น $F_{i1} = 0.0833 \cdot D_{i1}$

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.71 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในขาไป

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{i1}X_{i1}$) (kg CO2 e)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	F_{11}=0.0833x11.9=0.99	$\frac{2,287.72 \times 0.99}{1,000}$=2.26

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

4.5.4.2 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{33} F_{1i}$$

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

F_{1i} คือ ค่าการปล่อยก๊าซในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $F_{1i} = 0.0833 \cdot D_{1i}$ (kg CO2 e)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.72 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2e)
2	11.7	F_{12}=0.833x11.7=0.97

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

4.5.4.3 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ แบบ Milk Runs โดยจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่กับบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายอยู่ที่เดียวกัน ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{j<k,\ k=j+1} F_{jk}X_{jk}$$

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1,2,3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

F_{jk} คือ ค่าแฟกเตอร์จากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k ดังนั้น $F_{jk} = 0.0833 \cdot D_{jk}$

X_{jk} คือ ปริมาณขยะจากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k (กิโลกรัม)

D_{jk} คือ ระยะทางจากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.73 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs จากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ

ตารางการการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs				
ช่วงที่	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง j กับ k (X_{jk}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{jk}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง j กับ k (F_{jk}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{jk}X_{jk}$) (kg CO2 e)
1	X_{12}=81,000	13.3	F_{12}=0.0833x13.3=1.11	$\frac{81,000x1.11}{1,000}$=89.91
2	X_{23}=81,000x0.05=4,050	0	F_{23}=0.0833x0=0.00	$\frac{4,050x0}{1,000}$=0.00
3	X_{34}=81,000x0.55=44,550	34.9	F_{34}=0.0833x34.9=2.91	$\frac{44,550x2.91}{1,000}$=129.64
			รวม	219.55

ตารางที่ 4.74 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

การปล่อยก๊าซทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	89.83 kg CO2 e
การปล่อยก๊าซสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	219.55 kg CO2 e
รวม	309.38 kg CO2 e

4.5.5 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

การปล่อยก๊าซแบบนี้ต้องแบ่งโซนเป็นกลุ่มๆละ 3 โซน โดยเริ่มจากโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ และจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ โดยแบ่งกลุ่ม ดังตารางที่ 4.16

4.5.5.1 การปล่อยก๊าซโซนของแต่ละ 3 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} F_{i1}X_{i1}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 11}

F_{i1} คือ ค่าแฟกเตอร์จากกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ดังนั้น $F_{i1} = 0.0833 \cdot D_{i1}$

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.75 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกขาไป

ตารางการการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรก					
กลุ่ม	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $F_{i1}X_{i1}$ (บาท)
1	6,987	X_{11}=6,987	10.00	F_{11}=0.0833x10=0.83	$\frac{6,987x0.83}{1,000}$=5.80
2	7,311	X_{21}=7,311	9.63	F_{21}=0.0833x9.63=0.80	$\frac{7,311x0.8}{1,000}$=5.85
3	7,833	X_{31}=7,833	11.05	F_{31}=0.0833x11.05=0.92	$\frac{7,833x0.92}{1,000}$=7.21
4	5,618	X_{41}=5,618	9.90	F_{41}=0.0833x9.9=0.82	$\frac{5,618x0.82}{1,000}$=4.61
5	6,861	X_{51}=6,861	11.25	F_{51}=0.0833x11.25=0.94	$\frac{6,861x0.94}{1,000}$=6.45
6	5,942	X_{61}=5,942	12.00	F_{61}=0.0833x12=1.00	$\frac{5,942x1}{1,000}$=5.94
7	13,052	X_{71}=13,052	12.15	F_{71}=0.0833x12.15=1.01	$\frac{13,052x1.01}{1,000}$=13.18
8	6,663	X_{81}=6,663	13.70	F_{81}=0.0833x13.7=1.14	$\frac{6,663x1.14}{1,000}$=7.60
9	6,861	X_{91}=6,861	13.9	F_{91}=0.0833x13.9=1.16	$\frac{6,861x1.16}{1,000}$=7.96
10	6,663	$X_{10,1}$=6,663	16.4	$F_{10,1}$=0.0833x16.4=1.37	$\frac{6,663x1.37}{1,000}$=9.13
11	7,185	$X_{11,1}$=7,185	22.8	$F_{11,1}$=0.0833x22.8=1.90	$\frac{7,185x1.9}{1,000}$=13.65
				รวม	87.38

4.5.5.2 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} F_{1i}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

F_{1i} คือ ค่าการปล่อยก๊าซในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $F_{1i} = 0.0833 \cdot D_{1i}$ (kg CO2 e)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.76 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	จำนวนรอบ	ระยะทางรวม (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2e)
1	10.00	2	20.00	F_{11}=0.0833x20.00=1.67
2	9.63	2	19.26	F_{12}=0.0833x19.26=1.60
3	11.05	2	22.10	F_{13}=0.0833x22.10=1.84
4	9.90	2	19.80	F_{14}=0.0833x19.80=1.65
5	11.25	2	22.50	F_{15}=0.0833x22.50=1.87
6	12.00	2	24.00	F_{16}=0.0833x24.00=2.00
7	12.15	3	36.45	F_{17}=0.0833x36.45=3.04
8	13.70	2	27.40	F_{18}=0.0833x27.40=2.28
9	13.90	2	27.80	F_{19}=0.0833x27.80=2.32
10	16.40	2	32.80	$F_{1,10}$=0.0833x32.80=2.73
11	22.80	2	45.60	$F_{1,11}$=0.0833x45.60=3.80
			รวม	24.80

4.5.5.3 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ ใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$\sum_{k=1}^{3} F_{1k}X_{1k}$$

k คือ จุดอำนวยความสะดวกที่ k โดย k = {1 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 2 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 3 = จุดฝังกลบ}

F_{1k} คือ แฟกเตอร์จากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k ดังนั้น $F_{1k} = 0.0833 \cdot D_{ik}$

X_{1k} คือ ปริมาณขยะจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลกรัม)

D_{1k} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.77 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรกจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในตอนแรก				
ตำแหน่ง	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (X_{1k}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{1k}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ k (F_{1k}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{1k}X_{1k}$) (kg CO2 e)
1	X_{11}=81,000x0.4=32,400	13.3	C_{11}=0.0833x13.3=1.11	$\frac{32,400x1.11}{1,000}$=35.96
2	X_{12}=81,000x0.05=4,050	13.3	C_{12}=0.0833x13.3=1.11	$\frac{4,050x1.11}{1,000}$=4.50
3	X_{13}=81,000x0.55=44,550	27.6	C_{13}=0.0833x27.6=2.3	$\frac{44,550x2.3}{1,000}$=102.47
			รวม	142.93

ตารางที่ 4.78 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

การปล่อยก๊าซทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	112.18 kg CO2 e
การปล่อยก๊าซสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	142.93 kg CO2 e
รวม	255.11 kg CO2 e

4.5.6 รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง

การปล่อยก๊าซแบบนี้ต้องแบ่งโซนเป็นกลุ่มๆละ 3 โซน โดยเริ่มจากโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ และจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ ขนส่งแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยแบ่งกลุ่ม ดังตารางที่ 4.16

4.5.6.1 การปล่อยก๊าซโซนของแต่ละ 3 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} F_{i1}X_{i1}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 11}

F_{i1} คือ ค่าแฟกเตอร์จากกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ ดังนั้น F_{i1}=0.0833·D_{i1}

X_{i1} คือ ปริมาณขยะจากกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลกรัม)

D_{i1} คือ ระยะทางจากกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.79 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดในขาไป

ตารางการการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด					
กลุ่ม	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{i1}X_{i1}$) (kg CO2 e)
1	6,987	X_{11}=6,987	10.00	F_{11}=0.0833x10=0.83	$\frac{6,987x0.83}{1,000}$=5.80
2	7,311	X_{21}=7,311	9.63	F_{21}=0.0833x9.63=0.80	$\frac{7,311x0.8}{1,000}$=5.85
3	7,833	X_{31}=7,833	11.05	F_{31}=0.0833x11.05=0.92	$\frac{7,833x0.92}{1,000}$=7.21
4	5,618	X_{41}=5,618	9.90	F_{41}=0.0833x9.9=0.82	$\frac{5,618x0.82}{1,000}$=4.61
5	6,861	X_{51}=6,861	11.25	F_{51}=0.0833x11.25=0.94	$\frac{6,861x0.94}{1,000}$=6.45
6	5,942	X_{61}=5,942	12.00	F_{61}=0.0833x12=1.00	$\frac{5,942x1}{1,000}$=5.94
7	13,052	X_{71}=13,052	12.15	F_{71}=0.0833x12.15=1.01	$\frac{13,052x1.01}{1,000}$=13.18
8	6,663	X_{81}=6,663	13.70	F_{81}=0.0833x13.7=1.14	$\frac{6,663x1.14}{1,000}$=7.60
9	6,861	X_{91}=6,861	13.90	F_{91}=0.0833x13.9=1.16	$\frac{6,861x1.16}{1,000}$=7.96
10	6,663	$X_{10,1}$=6,663	16.40	$F_{10,1}$=0.0833x16.4=1.37	$\frac{6,663x1.37}{1,000}$=9.13
11	7,185	$X_{11,1}$=7,185	22.80	$F_{11,1}$=0.0833x22.8=1.90	$\frac{7,185x1.9}{1,000}$=13.65
				รวม	87.38

4.5.6.2 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะในขากลับ ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{11} F_{1i}$$

i คือ กลุ่มจุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

F_{1i} คือ ค่าการปล่อยก๊าซในการตีรถเปล่ากลับจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i ดังนั้น $F_{1i} = 0.0833 \cdot D_{1i}$ (kg CO2 e)

D_{1i} คือ ระยะทางจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังกลุ่มจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.80 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	จำนวนรอบ	ระยะทางรวม (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2e)
1	10.00	2	20.00	F_{11}=0.0833x20.00=1.67
2	9.63	2	19.26	F_{12}=0.0833x19.26=1.60
3	11.05	2	22.10	F_{13}=0.0833x22.10=1.84
4	9.90	2	19.80	F_{14}=0.0833x19.80=1.65
5	11.25	2	22.50	F_{15}=0.0833x22.50=1.87
6	12.00	2	24.00	F_{16}=0.0833x24.00=2.00
7	12.15	3	36.45	F_{17}=0.0833x36.45=3.04
8	13.70	2	27.40	F_{18}=0.0833x27.40=2.28
9	13.90	2	27.80	F_{19}=0.0833x27.80=2.32
10	16.40	2	32.80	$F_{1,10}$=0.0833x32.80=2.73
11	22.80	2	45.60	$F_{1,11}$=0.0833x45.60=3.80
			รวม	24.80

4.5.6.3 การปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ แบบ Milk Runs โดยจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่กับบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายอยู่ที่เดียวกัน ใช้สมการในการช่วยคำนวณดังนี้

$$\sum_{j<k,\ k=j+1} F_{jk}X_{jk}$$

j คือ ต้นทาง i โดยที่ i = {1,2,3}

k คือ ปลายทาง ที่ k โดย k = {2 = จุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่, 3 = บริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย และ 4 = จุดฝังกลบ}

F_{jk} คือ ค่าแฟกเตอร์จากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k ดังนั้น $F_{jk} = 0.0833 \cdot D_{jk}$

X_{jk} คือ ปริมาณขยะจากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k (กิโลกรัม)

D_{jk} คือ ระยะทางจากต้นทาง j ไปยังปลายทาง k (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.81 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมดจากสถานีขนถ่ายไปยังตำแหน่งต่างๆ

ตารางการการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด				
ตำแหน่ง	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง j กับ k (X_{jk}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ijk}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง j กับ k (F_{jk}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{jk}X_{jk}$) (kg CO2 e)
1	X_{12}=81,000	13.3	F_{12}=0.0833x13.3=1.11	$\frac{81,000x1.11}{1,000}$=89.91
2	X_{23}=81,000x0.05=4,050	0	F_{23}=0.0833x0=0.00	$\frac{4,050x0}{1,000}$=0.00
3	X_{34}=81,000x0.55=44,550	34.9	F_{34}=0.0833x34.9=2.91	$\frac{44,550x2.91}{1,000}$=129.64
			รวม	219.55

ตารางที่ 4.82 รวมการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ทั้งหมด

การปล่อยก๊าซทั้ง 33 โซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	112.18 kg CO2 e
ภารปล่อยก๊าซสถานีขนถ่ายขยะไปยังตำแหน่งต่างๆ	219.55 kg CO2 e
รวม	331.73 kg CO2 e

4.5.7 รูปแบบที่มีการเปรียบเทียบสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 ตำแหน่ง

แบบนี้จะใช้สถานีขนถ่าย 2 จุด จะตั้งสถานีขนถ่ายใหม่มาโดยจะตั้งใกล้กับจุดรับซื้อของเก่า โดยจะคิดค่าการปล่อยก๊าซจากโซนทั้งหมดไปยังสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 จุด

4.5.7.1 ค่าการปล่อยก๊าซจากแต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะในขาไป ใช้สมการในการช่วยคำนวณ ดังนี้

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ สถานีขนถ่ายขยะที่ j โดย j = {1 = สถานีขนถ่ายขยะเก่า, 2 = สถานีขนถ่ายขยะใหม่}

F_{ij} คือ ค่าแฟกเตอร์จากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก j ดังนั้น $F_{ij} = 0.0833 \cdot D_{ij}$

D_{ij} คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.83 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขาไป

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)		
โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ j (F_{ij}) (kg CO2 e/ตัน)
1	11.9	F_{11}=0.0833x11.9=0.99

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.84 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขาไป

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)		
โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ j (F_{ij}) (kg CO2 e/ตัน)
1	9.8	F_{11}=0.0833x9.8=0.82

ทั้งนี้ตารางการคำนวณของทั้ง 33 โซนอยู่ที่ ภาคผนวก ค

4.5.7.2 ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ

i คือ จุดกำเนิดขยะที่ i โดย i = {1, 2, ..., 33}

j คือ สถานีขนถ่ายขยะที่ j โดย j = {1 = สถานีขนถ่ายขยะเก่า, 2 = สถานีขนถ่ายขยะใหม่}

C_{ji} คือ ค่าใช้จ่ายค่าขนส่งจากจุดอำนวยความสะดวก j ไปยังจุดกำเนิดขยะ i

ดังนั้น ji = $1.72 \cdot D_{ji}$ (บาท)

D_{ji} คือ ระยะทางจากจุดอำนวยความสะดวก j ไปยังจุดกำเนิดขยะ i (กิโลเมตร)

ตารางที่ 4.85 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน) ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง j กับ i (F_{ji}) (kg CO2e)
12	11.5	$F_{1,13}$=0.96
13	11.5	$F_{1,13}$=0.96
16	9.8	$F_{1,17}$=0.82
20	10.1	$F_{1,21}$=0.84
21	10.1	$F_{1,21}$=0.84
22	9.4	$F_{1,23}$=0.78
23	9.4	$F_{1,23}$=0.78
24	9.5	$F_{1,25}$=0.79
25	9.5	$F_{1,25}$=0.79
26	9.4	$F_{1,26}$=0.78
27	8	$F_{1,28}$=0.67
28	8	$F_{1,28}$=0.67
31	8.7	$F_{1,32}$=0.72
32	8.7	$F_{1,32}$=0.72
33	9.0	$F_{1,35}$=0.75
	รวม	11.87

ตารางที่ 4.86 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง j กับ i (F_{ji}) (kg CO2e)
2	11.2	F_{22}=0.93
3	7.1	F_{23}=0.59
4	6.3	F_{25}=0.52
5	6.3	F_{25}=0.52
6	8.7	F_{27}=0.72
7	8.7	F_{27}=0.72
8	5.3	F_{29}=0.44

ตารางที่ 4.86 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง j กับ i (F_{ji}) (kg CO2e)
9	5.3	F_{29}=0.44
10	10.7	$F_{2,11}$=0.89
11	10.7	$F_{2,11}$=0.89
14	8.0	$F_{2,15}$=0.67
15	11.9	$F_{2,16}$=0.99
17	8.3	$F_{2,17}$=0.69
18	2.8	$F_{2,19}$=0.23
19	2.8	$F_{2,19}$=0.23
29	10.2	$F_{2,30}$=0.85
30	10.2	$F_{2,30}$=0.85
	รวม	11.17

4.5.7.3 การกำหนดตัวแปร

ดัชนีตัวแปร

i คือ ตำแหน่งของจุดกำเนิดขยะ โดยที่ i = {1, 2, ..., 33}

j คือ ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายขยะ โดยที่ j = {1, 2}

k คือ ตำแหน่งของจุดอำนวยความสะดวก โดยที่ k = {1, 2, 3}

พารามิเตอร์

F_{ij} คือ ค่าแฟกเตอร์ของจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (kg CO2 e / ตัน)

G_{jk} คือ ค่าแฟกเตอร์ของสถานีขนถ่าย i ไปยังจุดอำนวยความสะดวก k (kg CO2 e / ตัน)

P_1 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่คิดเป็นร้อยละ 40

P_2 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายคิดเป็นร้อยละ 5

P_3 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะคิดเป็นร้อยละ 55

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij} คือ ปริมาณขยะของจุดกำเนิดขยะ (ตัน)

สมการเป้าประสงค์

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} F_{ij}X_{ij} + G_{11}P_1 \sum_{i=1}^{33} X_{i1} + G_{12}P_2 \sum_{i=1}^{33} X_{i1}$$

$$+G_{13}P_3 \sum_{i=1}^{33} X_{i1} + G_{21}P_1 \sum_{i=1}^{33} X_{i2} + G_{22}P_2 \sum_{i=1}^{33} X_{i2} + G_{23}P_3 \sum_{i=1}^{33} X_{i2}$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$X_{1,1}+X_{1,2}=2.28772$$
$$X_{2,1}+X_{2,2}=2.28772$$
$$X_{3,1}+X_{3,2}=2.61156$$
$$X_{4,1}+X_{4,2}=2.28772$$
$$X_{5,1}+X_{5,2}=2.28772$$
$$X_{6,1}+X_{6,2}=2.61156$$
$$X_{7,1}+X_{7,2}=2.61156$$
$$X_{8,1}+X_{8,2}=2.28772$$
$$X_{9,1}+X_{9,2}=2.28772$$
$$X_{10,1}+X_{10,2}=2.28772$$
$$X_{11,1}+X_{11,2}=2.28772$$
$$X_{12,1}+X_{12,2}=2.28772$$
$$X_{13,1}+X_{13,2}=2.28772$$
$$X_{14,1}+X_{14,2}=2.08924$$
$$X_{15,1}+X_{15,2}=6.26773$$
$$X_{16,1}+X_{16,2}=2.08924$$
$$X_{17,1}+X_{17,2}=2.08924$$
$$X_{18,1}+X_{18,2}=2.28772$$
$$X_{19,1}+X_{19,2}=2.28772$$
$$X_{20,1}+X_{20,2}=2.61156$$
$$X_{21,1}+X_{21,2}=2.61156$$
$$X_{22,1}+X_{22,2}=4.17849$$
$$X_{23,1}+X_{23,2}=2.08924$$
$$X_{24,1}+X_{24,2}=2.28772$$
$$X_{25,1}+X_{25,2}=2.28772$$
$$X_{26,1}+X_{26,2}=2.61156$$
$$X_{27,1}+X_{27,2}=1.04462$$

$$X_{28,1}+X_{28,2}=1.04462$$

$$X_{29,1}+X_{29,2}=2.61156$$

$$X_{30,1}+X_{30,2}=2.61156$$

$$X_{31,1}+X_{31,2}=2.28772$$

$$X_{32,1}+X_{32,2}=2.28772$$

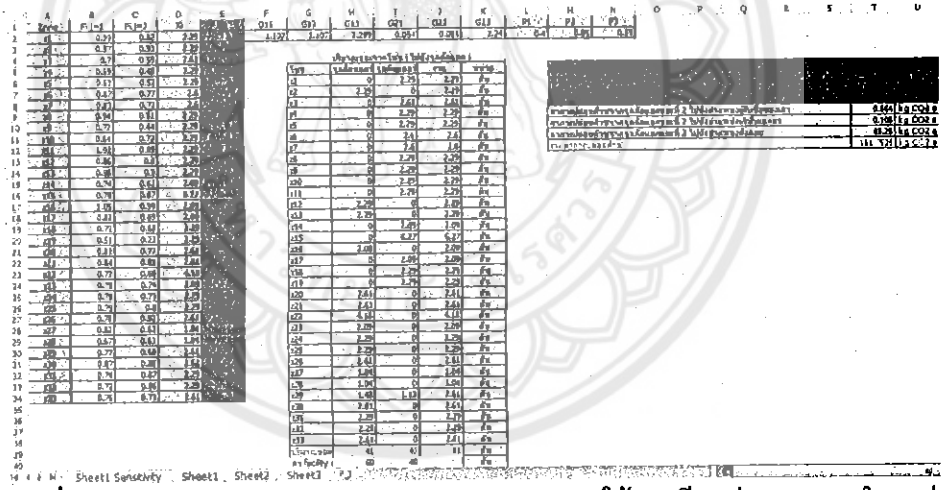
$$X_{33,1}+X_{33,2}=2.61156$$

$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,1} \leq 60$$

$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,2} \leq 40$$

$$X_{ij} \geq 0$$

4.5.6.3 ทำการคำนวณโดยใช้ Excel Solver



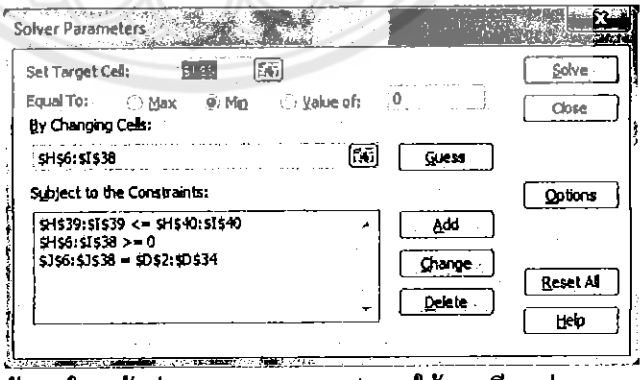
รูปที่ 4.34 รูปแบบการคำนวณบน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

	A	B	C	D	E
1	Zone	FI,I=1	FI,I=2	XI	XJ
2	z1	0.99	0.82	2.29	
3	z2	0.97	0.93	2.29	
4	z3	0.7	0.59	2.61	
5	z4	0.59	0.48	2.29	
6	z5	0.63	0.52	2.29	
7	z6	0.87	0.77	2.6	
8	z7	0.83	0.72	2.6	
9	z8	0.94	0.81	2.29	
10	z9	0.72	0.44	2.29	
11	z10	0.84	0.72	2.29	
12	z11	1.02	0.89	2.29	
13	z12	0.86	0.8	2.29	
14	z13	0.96	0.9	2.29	
15	z14	0.74	0.62	2.09	
16	z15	0.78	0.67	6.27	
17	z16	1.05	0.99	2.09	
18	z17	0.82	0.69	2.09	
19	z18	0.72	0.62	2.29	
20	z19	0.51	0.23	2.29	
21	z20	0.82	0.77	2.61	
22	z21	0.84	0.81	2.61	
23	z22	0.72	0.69	4.18	
24	z23	0.78	0.74	2.09	
25	z24	0.78	0.73	2.29	
26	z25	0.79	0.8	2.29	
27	z26	0.78	0.92	2.61	
28	z27	0.82	0.82	1.04	
29	z28	0.67	0.63	1.04	
30	z29	0.77	0.69	2.61	
31	z30	0.87	0.85	2.61	
32	z31	0.74	0.87	2.29	
33	z32	0.72	0.86	2.29	
34	z33	0.75	0.73	2.61	

รูปที่ 4.35 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	G11	G12	G13	G21	G22	G23	P1	P2	P3
2	1.107	1.107	2.299	0.054	0.054	2.24	0.4	0.05	0.55
3									

รูปที่ 4.36 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.37 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

	G	H	I	J	K
4	ปริมาณขยะจากโซน i ไปยังจุดคัดแยก j				
5	โซน	จุดคัดแยกที่	จุดคัดแยกที่	รวม	หน่วย
6	z1	0	2.29	2.29	ตัน
7	z2	2.29	0	2.29	ตัน
8	z3	0	2.61	2.61	ตัน
9	z4	0	2.29	2.29	ตัน
10	z5	0	2.29	2.29	ตัน
11	z6	0	2.6	2.6	ตัน
12	z7	0	2.6	2.6	ตัน
13	z8	0	2.29	2.29	ตัน
14	z9	0	2.29	2.29	ตัน
15	z10	0	2.29	2.29	ตัน
16	z11	0	2.29	2.29	ตัน
17	z12	2.29	0	2.29	ตัน
18	z13	2.29	0	2.29	ตัน
19	z14	0	2.09	2.09	ตัน
20	z15	0	6.27	6.27	ตัน
21	z16	2.09	0	2.09	ตัน
22	z17	0	2.09	2.09	ตัน
23	z18	0	2.29	2.29	ตัน
24	z19	0	2.29	2.29	ตัน
25	z20	2.61	0	2.61	ตัน
26	z21	2.61	0	2.61	ตัน
27	z22	4.18	0	4.18	ตัน
28	z23	2.09	0	2.09	ตัน
29	z24	2.29	0	2.29	ตัน
30	z25	2.29	0	2.29	ตัน
31	z26	2.61	0	2.61	ตัน
32	z27	1.04	0	1.04	ตัน
33	z28	1.04	0	1.04	ตัน
34	z29	1.48	1.13	2.61	ตัน
35	z30	2.61	0	2.61	ตัน
36	z31	2.29	0	2.29	ตัน
37	z32	2.29	0	2.29	ตัน
38	z33	2.61	0	2.61	ตัน
39	ปริมาณขยะ	41	40	81	ตัน
40	ค่า facility (	60	40		ตัน

Sheet1 Sensitivity | Sheet1 | Sheet

รูปที่ 4.38 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
5									
6									
7									
8									
9	ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดคัดแยกขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่า							0.864	kg CO2 e
10	ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดคัดแยกขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชน							0.108	kg CO2 e
11	ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดคัดแยกขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งฝังกลบ							49.28	kg CO2 e
12	รวมค่าการปล่อยก๊าซ							181.7626	kg CO2 e

รูปที่ 4.39 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

ตารางที่ 4.87 รวมค่าการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง

ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	82.28 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	18.15 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	2.27 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งฝังกลบ	51.84 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	0.86 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	0.11 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งฝังกลบ	49.28 kg CO2 e
รวมค่าการปล่อยก๊าซ	204.79 kg CO2 e

4.5.8 แบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

แบบนี้จะใช้สถานีขนถ่าย 2 จุด จะตั้งสถานีขนถ่ายใหม่มาโดยจะตั้งใกล้กับจุดรับซื้อของเก่า โดยจะคิดค่าการปล่อยก๊าซจากโซนทั้งหมดไปยังสถานีขนถ่ายขยะทั้ง 2 จุด จากนั้นจะคิดค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ แบบ Milk Runs โดยจะกำหนดให้สถานีขนถ่าย (ปัจจุบัน) จะรองรับขยะได้ 60 ตัน และให้สถานีขนถ่าย (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม) รองรับได้ 40 ตัน ในส่วนของค่าแฟกเตอร์จากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.83, 4.84, 4.85, และ 4.86

4.5.8.1 การกำหนดตัวแปร

ดัชนีตัวแปร

i คือ ตำแหน่งของจุดกำเนิดขยะ โดยที่ i = {1, 2, ..., 33}

j คือ ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายขยะ โดยที่ j = {1, 2}

k คือ ตำแหน่งของจุดจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่

พารามิเตอร์

F_{ij} คือ ค่าแฟกเตอร์ของจุดกำเนิดขยะ i ไปยังสถานีขนถ่ายขยะ j (kg CO2 e / ตัน)

G_{jk} คือ แฟกเตอร์ของสถานีขนถ่าย i ไปยังจุด k (kg CO2 e / ตัน)

M คือ ค่าแฟกเตอร์ของจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย (kg CO2 e / ตัน)

Q คือ ค่าแฟกเตอร์ของบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายไปยังจุดฝังกลบ (kg CO2 e / ตัน)

P_2 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายคิดเป็นร้อยละ

5

P_3 คือ ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดจากจุดฝังกลบขยะคิดเป็นร้อยละ 55

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij} คือ ปริมาณขยะของจุดกำเนิดขยะ (ตัน)

สมการเป้าประสงค์

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{33}\sum_{j=1}^{2} F_{ij}X_{ij} + G_{11}\sum_{i=1}^{33} X_{i1} + G_{21}\sum_{i=1}^{33} X_{i2}$$

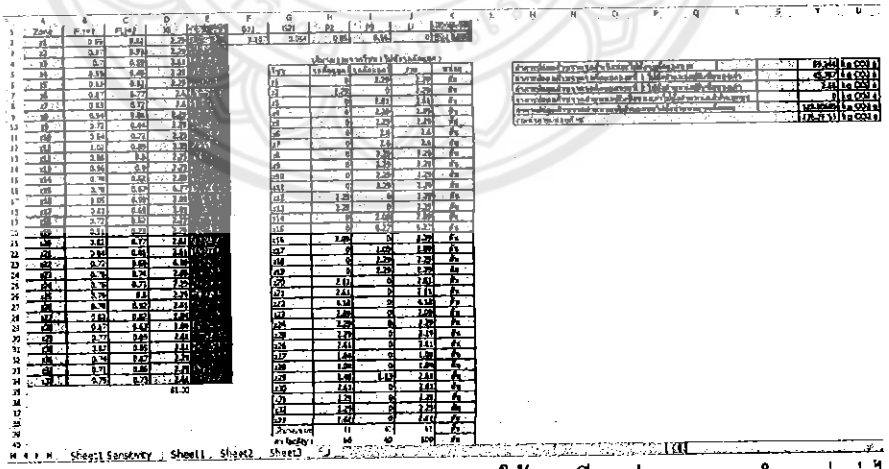
$$+M(P_2+P_3)\sum_{i=1}^{33} X_i + QP_3\sum_{i=1}^{33} X_i$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$X_{11}+X_{12}=2.28772$$
$$X_{21}+X_{22}=2.28772$$
$$X_{31}+X_{32}=2.61156$$
$$X_{41}+X_{42}=2.28772$$
$$X_{51}+X_{52}=2.28772$$
$$X_{61}+X_{62}=2.61156$$
$$X_{71}+X_{72}=2.61156$$
$$X_{81}+X_{82}=2.28772$$
$$X_{91}+X_{92}=2.28772$$
$$X_{10,1}+X_{10,2}=2.28772$$
$$X_{11,1}+X_{11,2}=2.28772$$
$$X_{12,1}+X_{12,2}=2.28772$$
$$X_{13,1}+X_{13,2}=2.28772$$
$$X_{14,1}+X_{14,2}=2.08924$$
$$X_{15,1}+X_{15,2}=6.26773$$
$$X_{16,1}+X_{16,2}=2.08924$$
$$X_{17,1}+X_{17,2}=2.08924$$
$$X_{18,1}+X_{18,2}=2.28772$$
$$X_{19,1}+X_{19,2}=2.28772$$
$$X_{20,1}+X_{20,2}=2.61156$$
$$X_{21,1}+X_{21,2}=2.61156$$
$$X_{22,1}+X_{22,2}=4.17849$$

$$X_{23,1}+X_{23,2}=2.08924$$
$$X_{24,1}+X_{24,2}=2.28772$$
$$X_{25,1}+X_{25,2}=2.28772$$
$$X_{26,1}+X_{26,2}=2.61156$$
$$X_{27,1}+X_{27,2}=1.04462$$
$$X_{28,1}+X_{28,2}=1.04462$$
$$X_{29,1}+X_{29,2}=2.61156$$
$$X_{30,1}+X_{30,2}=2.61156$$
$$X_{31,1}+X_{31,2}=2.28772$$
$$X_{32,1}+X_{32,2}=2.28772$$
$$X_{33,1}+X_{33,2}=2.61156$$
$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,1} \le 60$$
$$\sum_{i=1}^{33} X_{i,2} \le 40$$
$$X_{ij} \ge 0$$

4.5.8.2 ทำการคำนวณโดยใช้ Excel Solver



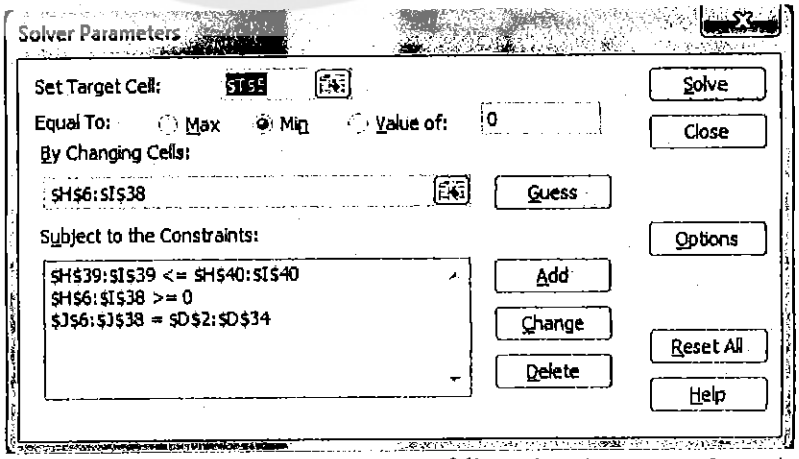
รูปที่ 4.40 รูปแบบการคำนวณบน Excel ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	A	B	C	D	E
1	Zone	Fi,j=1	Fi,j=2	Xi	
2	z1	0.99	0.82	2.29	
3	z2	0.97	0.93	2.29	
4	z3	0.7	0.59	2.61	
5	z4	0.59	0.48	2.29	
6	z5	0.63	0.52	2.29	
7	z6	0.87	0.77	2.6	
8	z7	0.83	0.72	2.6	
9	z8	0.94	0.81	2.29	
10	z9	0.72	0.44	2.29	
11	z10	0.84	0.72	2.29	
12	z11	1.02	0.89	2.29	
13	z12	0.86	0.8	2.29	
14	z13	0.96	0.9	2.29	
15	z14	0.74	0.62	2.09	
16	z15	0.78	0.67	6.27	
17	z16	1.05	0.99	2.09	
18	z17	0.82	0.69	2.09	
19	z18	0.72	0.62	2.29	
20	z19	0.51	0.23	2.29	
21	z20	0.82	0.77	2.61	
22	z21	0.84	0.81	2.61	
23	z22	0.72	0.69	4.18	
24	z23	0.78	0.74	2.09	
25	z24	0.78	0.73	2.29	
26	z25	0.79	0.8	2.29	
27	z26	0.78	0.92	2.61	
28	z27	0.82	0.82	1.04	
29	z28	0.67	0.63	1.04	
30	z29	0.77	0.69	2.61	
31	z30	0.87	0.85	2.61	
32	z31	0.74	0.87	2.29	
33	z32	0.72	0.86	2.29	
34	z33	0.75	0.73	2.61	

รูปที่ 4.41 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆ ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	F	G	H	I	J	K
1	G11	G21	P2	P3	U	
2	1.107	0.054	0.05	0.55	0	
3						

รูปที่ 4.42 ข้อมูลตามตัวแปรต่างๆ ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs



รูปที่ 4.43 ข้อมูลในหน้าต่าง Solver ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	G	H	I	J	K
4	ปริมาณขยะจากโซน i ไปยังจุดคัดแยก j				
5	โซน	จุดคัดแยกที่	จุดคัดแยกที่	รวม	หน่วย
6	z1	0	2.29	2.29	ตัน
7	z2	2.29	0	2.29	ตัน
8	z3	0	2.61	2.61	ตัน
9	z4	0	2.29	2.29	ตัน
10	z5	0	2.29	2.29	ตัน
11	z6	0	2.6	2.6	ตัน
12	z7	0	2.6	2.6	ตัน
13	z8	0	2.29	2.29	ตัน
14	z9	0	2.29	2.29	ตัน
15	z10	0	2.29	2.29	ตัน
16	z11	0	2.29	2.29	ตัน
17	z12	2.29	0	2.29	ตัน
18	z13	2.29	0	2.29	ตัน
19	z14	0	2.09	2.09	ตัน
20	z15	0	6.27	6.27	ตัน
21	z16	2.09	0	2.09	ตัน
22	z17	0	2.09	2.09	ตัน
23	z18	0	2.29	2.29	ตัน
24	z19	0	2.29	2.29	ตัน
25	z20	2.61	0	2.61	ตัน
26	z21	2.61	0	2.61	ตัน
27	z22	4.18	0	4.18	ตัน
28	z23	2.09	0	2.09	ตัน
29	z24	2.29	0	2.29	ตัน
30	z25	2.29	0	2.29	ตัน
31	z26	2.61	0	2.61	ตัน
32	z27	1.04	0	1.04	ตัน
33	z28	1.04	0	1.04	ตัน
34	z29	1.48	1.13	2.61	ตัน
35	z30	2.61	0	2.61	ตัน
36	z31	2.29	0	2.29	ตัน
37	z32	2.29	0	2.29	ตัน
38	z33	2.61	0	2.61	ตัน
39	ปริมาณขยะ	41	40	81	ตัน
40	ค่า facility (	60	40	100	ตัน

Sheet1 Sensitivity | Sheet1 | Sheet

รูปที่ 4.44 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
5	ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดกำเนิดขยะ ไปยังจุดคัดแยกขยะ							59.244	kg CO2 e
6	ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดคัดแยกขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่า							45.387	kg CO2 e
7	ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดคัดแยกขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่า							2.16	kg CO2 e
8	ค่าการปล่อยก๊าซจากตำแหน่งผู้รับซื้อของเก่าไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชน							0	kg CO2 e
9	ค่าการปล่อยก๊าซจากตำแหน่งบริษัทเอกชนไปยังตำแหน่งจุดฝังกลบ							129.5069	kg CO2 e
10	รวมค่าการปล่อยก๊าซ							236.2979	kg CO2 e

รูปที่ 4.45 ผลลัพธ์หลังจาก Solve ของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

ตารางที่ 4.88 รวมค่าการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs

ค่าการปล่อยก๊าซจากจุดกำเนิดขยะไปยังสถานีขนถ่ายขยะ	82.28 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 1 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	45.39 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากสถานีขนถ่ายขยะที่ 2 ไปยังตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่	2.16 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากตำแหน่งจุดรับขยะนำกลับมาใช้ใหม่ไปยังตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตราย	0.00 kg CO2 e
ค่าการปล่อยก๊าซจากตำแหน่งบริษัทเอกชนกำจัดขยะอันตรายไปยังตำแหน่งจุดฝังกลบ	129.51 kg CO2 e
รวมค่าการปล่อยก๊าซ	259.34 kg CO2 e

4.5.9 การเปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซรวมในรูปแบบต่างๆ

นำค่าการปล่อยก๊าซรวมในรูปแบบต่างๆ ทั้งหมดมาเปรียบเทียบหารูปแบบที่มีค่าการปล่อยก๊าซน้อยที่สุด ดังตารางที่ 4.89

ตารางที่ 4.89 เปรียบเทียบค่าการปล่อยก๊าซรวมในรูปแบบต่างๆ

รูปแบบการไหล	ค่าการปล่อยก๊าซ
1. รูปแบบส่งตรง Direct Shipment	296.46 kg CO2 e
2. รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ	232.76 kg CO2 e
3. รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs	309.38 kg CO2 e
4. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	255.11 kg CO2 e
5. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	331.73 kg CO2 e
6. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง	204.79 kg CO2 e
7. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs	259.34 kg CO2 e

จากตารางที่ 4.89 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่มีค่าการปล่อยก๊าซน้อยที่สุด คือ รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง โดยมีค่าการปล่อยก๊าซเท่ากับ 204.79 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ และรูปแบบที่มีค่าการปล่อยก๊าซมากที่สุด คือ รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง โดยมีค่าการปล่อยก๊าซเท่ากับ 331.73 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์

4.6 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้ง 3 วัตถุประสงค์

4.6.1 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด จะเห็นว่ารูปแบบที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด คือ รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง โดยมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 4,503.3 บาทต่อวัน เนื่องจากรูปแบบดังกล่าวมีสถานีขนถ่ายขยะเพิ่มขึ้นมา ทำให้ขยะถูกแบ่งไปยังสถานีดังกล่าว จึงทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง และเนื่องจากค่าบำรุงรักษารถขยะมีค่าที่ถูกจึงทำให้ไม่เกิดส่งผลกับค่าใช้จ่ายรวม

4.6.2 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ระยะทางรวมสั้นที่สุด จะเห็นว่ารูปแบบที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด คือ รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง โดยมีระยะทางรวมเท่ากับ 488.69 กิโลเมตร เนื่องจากรูปแบบดังกล่าวได้มีการรวมจุดกำเนิดขยะเป็นกลุ่ม จึงทำให้มีจุดกำเนิดขยะน้อยลงและส่งผลให้รูปแบบดังกล่าวมีระยะทางสั้นลง

4.6.3 การเปรียบเทียบวัตถุประสงค์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด จะเห็นว่ารูปแบบที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด คือ รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง โดยมีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 204.79 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากรูปแบบดังกล่าวมีมีสถานีขนถ่ายขยะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการดำเนินโครงงานในครั้งนี้ สิ่งที่ได้มา คือ ความรู้ที่ได้จากการศึกษาเรื่องการออกแบบการไหลของขยะในเทศบาลนครพิษณุโลก และการใช้โปรแกรม Excel Solver มาช่วยในการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในด้านค่าใช้จ่าย, ระยะทาง และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการศึกษาขั้นตอนการออกแบบการไหลทั้ง 7 รูปแบบ ดังที่แสดงในตารางที่ 5.1 และนำมาประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับเส้นทางการขนถ่ายขยะในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก จากนั้นรวบรวมข้อมูลต่างๆ เช่น ปริมาณขยะ, จุดอำนวยความสะดวก (Facility) และระยะทางในการขนถ่ายขยะ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ โดยนำผลที่ได้ในแต่ละรูปแบบมาเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบรูปแบบต่างๆของทั้ง 3 วัตถุประสงค์

รูปแบบการไหล	ค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อวัน)	ระยะทาง (กม.)	ค่าการปล่อยก๊าซ (kg CO2 e)
1. รูปแบบส่งตรง Direct Shipment	6,661.3	3,493.70	296.46
2. รูปแบบที่ใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะ	5,436.1	676.10	232.76
3. รูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะ และส่งขยะต่อไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs	7,062.2	670.10	309.38
4. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs และแบบส่งตรง โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	5,277.1	494.69	255.11
5. รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง	6,903.2	488.69	331.73
6. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง	4,503.3	644.50	204.79
7. รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่งและส่งไปยังจุดรับขยะแบบ Milk Runs	5,790.4	610.95	259.34

5.1.1 จากตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ได้แก่ รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง คือ 4,503.3 บาทต่อวัน โดยปัจจัยที่ส่งผลให้รูปแบบดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด คือ การเพิ่มสถานีขนถ่ายเพื่อให้ปริมาณขยะกับระยะทางในการขนถ่ายขยะลดลง

5.1.2 จากตารางที่ 5.1 ระยะทางสั้นที่สุด ได้แก่ รูปแบบที่มีการขนส่งขยะแบบ Milk Runs ทั้งหมด โดยการกำหนดกลุ่มโซนเอง คือ 488.69 กิโลเมตร โดยปัจจัยที่ส่งผลให้รูปแบบดังกล่าวมีระยะทางน้อยที่สุด คือ การแบ่งกลุ่มกำเนิดขยะที่ใกล้กัน 3 จุดกำเนิดขยะ ก่อนที่จะส่งไปยังสถานีขนถ่าย

5.1.3 จากตารางที่ 5.1 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด ได้แก่ รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง คือ 204.79 กิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปัจจัยที่ส่งผลให้รูปแบบดังกล่าวมีการปล่อยก๊าซน้อยที่สุด คือการที่ปริมาณขยะกับระยะทางในการขนถ่ายขยะลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำโครงงานเรื่อง การออกแบบการไหลของขยะเทศบาลนครพิษณุโลกเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ได้พบปัญหาดังนี้

5.2.1 ปริมาณขยะที่ใช้ในการคำนวณเป็นปริมาณขยะเฉลี่ย เมื่อนำไปใช้งานจริงอาจเกิดข้อผิดพลาดได้

5.2.2 จุดเก็บขยะที่ใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้ มีทั้งข้อมูลที่ได้จากแบบบันทึกเส้นทางจริง และจากการเลือกจุดเก็บขยะที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจไม่ตรงกับการจัดเก็บจริง เนื่องจากเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ

5.2.3 การออกแบบการไหลที่ได้จากการวิจัย จะเป็นเส้นทางการจัดเก็บขยะแบบครั้งเดียว และเก็บขยะทั้งสองฝากถนน ซึ่งอาจไม่ตรงกับการจัดเก็บขยะจริง ฉะนั้นจึงควรออกแบบสมการเพิ่มเติมเพื่อที่จะสามารถจัดเก็บขยะได้ทีละฝากถนน

5.2.4 วิธีการคัดกรองขยะแต่ละประเภท อยู่นอกเหนือการออกแบบเส้นทางการไหลของขยะเทศบาลนครพิษณุโลก ดังนั้นตัวแปรของขยะแต่ละประเภทจึงใช้ตามเปอร์เซ็นที่ได้มาจากข้อมูลเบื้องต้น

เอกสารอ้างอิง

ชัชชาติ สิทธิพันธุ์. (2556). **แนวทางการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศด้านการขนส่ง.** กระทรวงคมนาคม.

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ และนายวิทยา จันทร์ทรง. (2548). **การจัดเส้นทางรถขนขยะในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ชัยยศ ไชยมั่นคง และดร.มยุขพันธุ์ ไชยมั่นคง. (2554). **กลยุทธ์การขนส่ง (Transportation Strategy).**

ประกอบ จิรกิติ. (2535). **โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming).** โครงการส่งเสริมเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ปรัชนีย์ สถานสถิตย์. (2554). **การศึกษาแนวทางการบริหารจัดการการคัดแยกขยะเพื่อเพิ่มปริมาณขยะถุงพลาสติก กรณีศึกษา โรงกำจัดขยะ จังหวัด สมุทรสาคร.** สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

ศุภดา โกยวิวัฒน์ตระกูล. (2545). **การศึกษาระบบการจัดส่งน้ำนมดิบที่มีประสิทธิภาพในเขตภาคเหนือตอนบน.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก

ศักดิ์สิทธิ์ ศุขสุเมฆ. (2557). **สร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ (Optimization Modeling ด้วย Excel Solver).** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (2551). **วิศวกรรมการขนส่ง.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2554). **แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.** ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

เทศบาลนครพิษณุโลก. (2551). **รูปแบบและการบริหารจัดการขยะมูลฝอยเทศบาลนครพิษณุโลก.** สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2558, จาก http://library.mju.ac.th/km/doc/2arnPhitsanulok_model.PDF

ภาคผนวก ก

ตารางการคำนวณค่าใช้จ่ายรูปแบบต่างๆ

ตารางที่ ก.1 คำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งรูปรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

ตารางการคิดต้นค่าใช้จ่ายรูปแบบส่งตรง DirectShipment					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ k (C_{ik}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{ik}X_{ik}$ (บาท)
1	2,287.72	X_{11}=914.80	11.3	C_{11}=19.44	17.8
		X_{12}=114.35	11.3	C_{12}=19.44	2.2
		X_{13}=1,257.85	38.3	C_{13}=65.88	82.9
2	2,287.72	X_{21}=914.80	12.3	C_{21}=21.16	19.4
		X_{22}=114.35	12.3	C_{22}=21.16	2.40
		X_{23}=1,257.85	36.5	C_{23}=62.78	79.0
3	2,611.56	X_{31}=1,044.40	7.8	C_{31}=13.42	14.0
		X_{32}=130.55	7.8	C_{32}=13.42	1.8
		X_{33}=1,436.05	33.2	C_{33}=57.1	82.0
4	2,287.72	X_{41}=914.80	6.5	C_{41}=11.18	10.2
		X_{42}=114.35	6.5	C_{42}=11.18	1.3
		X_{43}=1,257.85	31.9	C_{43}=54.87	69.0
5	2,287.72	X_{51}=914.80	7.0	C_{51}=12.04	11.0
		X_{52}=114.35	7.0	C_{52}=12.04	1.4
		X_{53}=1,257.85	32.4	C_{53}=55.73	70.1
6	2,611.56	X_{61}=1,044.40	9.9	C_{61}=17.03	17.8
		X_{62}=130.55	9.9	C_{62}=17.03	2.2
		X_{63}=1,436.05	36.2	C_{63}=62.26	89.4

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) คำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ k (C_{ik}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{ik}X_{ik}$ (บาท)
7	2,611.56	X_{71}=1,044.40	9.4	C_{71}=16.17	16.9
		X_{72}=130.55	9.4	C_{72}=16.17	2.1
		X_{73}=1,436.05	34.8	C_{73}=59.86	86
8	2,287.72	X_{81}=914.80	10.6	C_{81}=18.23	16.7
		X_{82}=114.35	10.6	C_{82}=18.23	2.1
		X_{83}=1,257.85	37.2	C_{83}=63.98	80.5
9	2,287.72	X_{91}=914.80	6.0	C_{91}=10.32	9.4
		X_{92}=114.35	6.0	C_{92}=10.32	1.2
		X_{93}=1,257.85	31.7	C_{93}=54.52	68.6
10	2,287.72	$X_{10,1}$=914.80	11.9	$C_{10,1}$=20.47	18.7
		$X_{10,2}$=114.35	11.9	$C_{10,2}$=20.47	2.3
		$X_{10,3}$=1,257.85	36.1	$C_{10,3}$=62.09	78.1
11	2,287.72	$X_{11,1}$=914.80	12.9	$C_{11,1}$=22.19	20.3
		$X_{11,2}$=114.35	12.9	$C_{11,2}$=22.19	2.5
		$X_{11,3}$=1,257.85	37.1	$C_{11,3}$=63.81	80.3
12	2,287.72	$X_{12,1}$=914.80	9.8	$C_{12,1}$=16.86	15.4
		$X_{12,2}$=114.35	9.8	$C_{12,2}$=16.86	1.9
		$X_{12,3}$=1,257.85	35.1	$C_{12,3}$=60.37	75.9

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) คำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ k (C_{ik}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{ik}X_{ik}$ (บาท)
13	2,287.72	$X_{13,1}$=914.80	11	$C_{13,1}$=18.92	17.3
		$X_{13,2}$=114.35	11	$C_{13,2}$=18.92	2.2
		$X_{13,3}$=1,257.85	36.3	$C_{13,3}$=62.44	78.5
14	2,089.24	$X_{14,1}$=835.60	8.3	$C_{14,1}$=14.28	11.0
		$X_{14,2}$=104.45	8.3	$C_{14,2}$=14.28	1.5
		$X_{14,3}$=1,148.95	33.7	$C_{14,3}$=57.96	66.6
15	6,267.73	$X_{15,1}$=2,506.80	8.8	$C_{15,1}$=15.14	37.9
		$X_{15,2}$=313.35	8.8	$C_{15,2}$=15.14	4.7
		$X_{15,3}$=3,446.85	34.3	$C_{15,3}$=59.00	203.4
16	2,089.24	$X_{16,1}$=835.60	13.2	$C_{16,1}$=22.70	19.0
		$X_{16,2}$=104.45	13.2	$C_{16,2}$=22.70	2.4
		$X_{16,3}$=1,148.95	37.4	$C_{16,3}$=64.33	73.9
17	2,089.24	$X_{17,1}$=835.60	9.2	$C_{17,1}$=15.82	13.2
		$X_{17,2}$=104.45	9.2	$C_{17,2}$=15.82	1.7
		$X_{17,3}$=1,148.95	34.5	$C_{17,3}$=59.34	68.2
18	2,287.72	$X_{18,1}$=914.80	8.1	$C_{18,1}$=13.93	12.7
		$X_{18,2}$=114.35	8.1	$C_{18,2}$=13.93	1.6
		$X_{18,3}$=1,257.85	33.5	$C_{18,3}$=57.62	72.5

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) คำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ k (C_{ik}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{ik}X_{ik}$ (บาท)
19	2,287.72	$X_{19,1}$=914.80	9.7	$C_{19,1}$=16.68	15.3
		$X_{19,2}$=114.35	9.7	$C_{19,2}$=16.68	1.9
		$X_{19,3}$=1,257.85	29.4	$C_{19,3}$=50.57	63.6
20	2,611.56	$X_{20,1}$=1,044.40	9.3	$C_{20,1}$=16.00	16.7
		$X_{20,2}$=130.55	9.3	$C_{20,2}$=16.00	2.1
		$X_{20,3}$=1,436.05	34.6	$C_{20,3}$=59.51	85.5
21	2,611.56	$X_{21,1}$=1,044.40	9.7	$C_{21,1}$=16.68	17.4
		$X_{21,2}$=130.55	9.7	$C_{21,2}$=16.68	2.2
		$X_{21,3}$=1,436.05	35.1	$C_{21,3}$=60.37	86.7
22	4,178.49	$X_{22,1}$=1,671.20	8.1	$C_{22,1}$=13.93	23.3
		$X_{22,2}$=208.90	8.1	$C_{22,2}$=13.93	2.9
		$X_{22,3}$=2,297.90	33.5	$C_{22,3}$=57.62	132.4
23	2,089.24	$X_{23,1}$=835.60	8.6	$C_{23,1}$=14.79	12.4
		$X_{23,2}$=104.45	8.6	$C_{23,2}$=14.79	1.5
		$X_{23,3}$=1,148.95	33.9	$C_{23,3}$=58.31	67
24	2,287.72	$X_{24,1}$=914.80	8.4	$C_{24,1}$=14.45	13.2
		$X_{24,2}$=114.35	8.4	$C_{24,2}$=14.45	1.7
		$X_{24,3}$=1,257.85	33.9	$C_{24,3}$=58.31	73.3

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) คำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ k (C_{ik}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{ik}X_{ik}$ (บาท)
25	2,287.72	$X_{25,1}$=914.80	9.5	$C_{25,1}$=16.34	14.9
		$X_{25,2}$=114.35	9.5	$C_{25,2}$=16.34	1.9
		$X_{25,3}$=1,257.85	34.3	$C_{25,3}$=59.00	74.2
26	2,611.56	$X_{26,1}$=1,044.40	11.5	$C_{26,1}$=19.78	20.7
		$X_{26,2}$=130.55	11.5	$C_{26,2}$=19.78	2.6
		$X_{26,3}$=1,436.05	32.6	$C_{26,3}$=56.07	80.5
27	1,044.62	$X_{27,1}$=417.60	9.2	$C_{27,1}$=15.82	6.6
		$X_{27,2}$=52.20	9.2	$C_{27,2}$=15.82	0.8
		$X_{27,3}$=574.20	34.7	$C_{27,3}$=59.68	34.3
28	1,044.62	$X_{28,1}$=417.60	7.4	$C_{28,1}$=12.73	5.3
		$X_{28,2}$=52.20	7.4	$C_{28,2}$=12.73	0.7
		$X_{28,3}$=574.20	29.6	$C_{28,3}$=50.91	29.2
29	2,611.56	$X_{29,1}$=1,044.40	8.2	$C_{29,1}$=14.10	14.7
		$X_{29,2}$=130.55	8.2	$C_{29,2}$=14.10	1.8
		$X_{29,3}$=1,436.05	33.6	$C_{29,3}$=57.79	83.0
30	2,611.56	$X_{30,1}$=1,044.40	4.5	$C_{30,1}$=7.74	8.1
		$X_{30,2}$=130.55	4.5	$C_{30,2}$=7.74	1.0
		$X_{30,3}$=1,436.05	29.9	$C_{30,3}$=51.43	73.9

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) คำนวณค่าใช้จ่ายค่าขนส่งรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ k (C_{ik}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{ik}X_{ik}$ (บาท)
31	2,287.72	$X_{31,1}$=914.80	10.3	$C_{31,1}$=17.72	16.2
		$X_{31,2}$=114.35	10.3	$C_{31,2}$=17.72	2.0
		$X_{31,3}$=1,257.85	33.7	$C_{31,3}$=57.96	72.9
32	2,287.72	$X_{32,1}$=914.80	10.1	$C_{32,1}$=17.37	15.9
		$X_{32,2}$=114.35	10.1	$C_{32,2}$=17.37	2.0
		$X_{32,3}$=1,257.85	33.5	$C_{32,3}$=57.62	72.5
33	2,611.56	$X_{33,1}$=1,044.40	8.4	$C_{33,1}$=14.45	15.1
		$X_{33,2}$=130.55	8.4	$C_{33,2}$=14.45	1.9
		$X_{33,3}$=1,436.05	33.9	$C_{33,3}$=58.31	83.7
				รวม	3,197.5

ตารางที่ ก.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

ตารางการคิดต้นค่าใช้จ่ายรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (C_{ki}) (บาท)
1	11.3	C_{11}=19.44
	11.3	C_{21}=19.44
	36.5	C_{32}=62.78
2	12.3	C_{12}=21.16
	12.3	C_{22}=21.16
	36.5	C_{32}=62.78
3	7.8	C_{13}=13.42
	7.8	C_{23}=13.42
	33.2	C_{33}=57.10
4	6.5	C_{14}=11.18
	6.5	C_{24}=11.18
	32.4	C_{35}=55.73
5	7.0	C_{15}=12.04
	7.0	C_{25}=12.04
	32.4	C_{35}=55.73
6	9.9	C_{16}=17.03
	9.9	C_{26}=17.03
	36.2	C_{36}=62.26

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (C_{ki}) (บาท)
7	9.4	C_{27}=16.17
	9.4	C_{27}=16.17
	36.2	C_{36}=62.26
8	10.6	C_{18}=18.23
	10.6	C_{28}=18.23
	31.7	C_{39}=54.52
9	6.0	C_{19}=10.32
	6.0	C_{29}=10.32
	31.7	C_{39}=54.52
10	11.9	$C_{1,10}$=20.47
	11.9	$C_{2,10}$=20.47
	37.1	$C_{3,11}$=63.81
11	12.9	$C_{1,11}$=22.19
	12.9	$C_{2,11}$=22.19
	37.1	$C_{3,11}$=63.81
12	9.8	$C_{1,12}$=16.86
	9.8	$C_{2,12}$=16.86
	36.3	$C_{3,13}$=62.44
13	11.0	$C_{1,13}$=18.92
	11.0	$C_{2,13}$=18.92
	36.3	$C_{3,13}$=62.44

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (C_{ki}) (บาท)
14	8.3	$C_{1,14}$=14.28
	8.3	$C_{2,14}$=14.28
	34.3	$C_{3,15}$=59
15	8.8	$C_{1,15}$=15.14
	8.8	$C_{2,15}$=15.14
	37.4	$C_{3,16}$=64.33
16	13.2	$C_{1,16}$=22.70
	13.2	$C_{2,16}$=22.70
	34.5	$C_{3,17}$=59.34
17	9.2	$C_{1,17}$=15.82
	9.2	$C_{2,17}$=15.82
	34.5	$C_{3,17}$=59.34
18	8.1	$C_{1,18}$=13.93
	8.1	$C_{2,18}$=13.93
	29.4	$C_{3,19}$=50.57
19	9.7	$C_{1,19}$=16.68
	9.7	$C_{2,19}$=16.68
	29.4	$C_{3,19}$=50.57
20	9.3	$C_{1,20}$=16.00
	9.3	$C_{2,20}$=16.00
	35.1	$C_{3,21}$=60.37

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (C_{ki}) (บาท)
21	9.7	$C_{1,21}$=16.68
	9.7	$C_{2,21}$=16.68
	35.1	$C_{3,21}$=60.37
22	8.1	$C_{1,22}$=13.93
	8.1	$C_{2,22}$=13.93
	33.9	$C_{3,23}$=58.31
23	8.6	$C_{1,23}$=14.79
	8.6	$C_{2,23}$=14.79
	33.9	$C_{3,23}$=58.31
24	8.4	$C_{1,24}$=14.45
	8.4	$C_{2,24}$=14.45
	34.3	$C_{3,25}$=59.00
25	9.5	$C_{1,25}$=16.34
	9.5	$C_{2,25}$=16.34
	34.3	$C_{3,25}$=59.00
26	11.5	$C_{1,26}$=19.78
	11.5	$C_{2,26}$=19.78
	32.6	$C_{3,26}$=56.07
27	9.2	$C_{1,27}$=15.82
	9.2	$C_{2,27}$=15.82
	29.6	$C_{3,28}$=50.91

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (C_{ki}) (บาท)
28	7.4	$C_{1,28}$=12.73
	7.4	$C_{2,28}$=12.73
	29.6	$C_{3,28}$=50.91
29	8.2	$C_{1,29}$=14.10
	8.2	$C_{2,29}$=14.10
	29.9	$C_{3,30}$=51.43
30	4.5	$C_{1,30}$=7.74
	4.5	$C_{2,30}$=7.74
	29.9	$C_{3,30}$=51.43
31	10.3	$C_{1,31}$=17.72
	10.3	$C_{2,31}$=17.72
	33.5	$C_{3,32}$=57.62
32	10.1	$C_{1,32}$=17.37
	10.1	$C_{2,32}$=17.37
	33.5	$C_{3,32}$=57.62
33	8.4	$C_{1,33}$=14.45
	8.4	$C_{2,33}$=14.45
	33.9	$C_{3,33}$=58.31
	รวม	2,968.75

ตารางที่ ก.2 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	C_{11}=20.47	46.8
2	2,287.72	X_{21}=2,287.72	11.7	C_{21}=20.12	46
3	2,611.56	X_{31}=2,611.56	8.4	C_{31}=14.45	37.7
4	2,287.72	X_{41}=2,287.72	7.1	C_{41}=12.21	27.9
5	2,287.72	X_{51}=2,287.72	7.6	C_{51}=13.07	29.9
6	2,611.56	X_{61}=2,611.56	10.5	C_{61}=18.06	47.2
7	2,611.56	X_{71}=2,611.56	10.0	C_{71}=17.20	44.9
8	2,287.72	X_{81}=2,287.72	11.3	C_{81}=19.44	44.5
9	2,287.72	X_{91}=2,287.72	8.6	C_{91}=14.79	33.8
10	2,287.72	$X_{10,1}$=2,287.72	10.1	$C_{10,1}$=17.37	39.7
11	2,287.72	$X_{11,1}$=2,287.72	12.3	$C_{11,1}$=21.16	48.4
12	2,287.72	$X_{12,1}$=2,287.72	10.3	$C_{12,1}$=17.72	40.5
13	2,287.72	$X_{13,1}$=2,287.72	11.5	$C_{13,1}$=19.78	45.2
14	2,089.24	$X_{14,1}$=2,089.24	8.9	$C_{14,1}$=15.31	32.0
15	6,267.73	$X_{15,1}$=6,267.73	9.4	$C_{15,1}$=16.17	101.3
16	2,089.24	$X_{16,1}$=2,089.24	12.6	$C_{16,1}$=21.67	45.3

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
17	2,089.24	$X_{17,1}$=2,089.24	9.8	$C_{17,1}$=16.86	35.2
18	2,287.72	$X_{18,1}$=2,287.72	8.7	$C_{18,1}$=14.96	34.2
19	2,287.72	$X_{19,1}$=2,287.72	6.1	$C_{19,1}$=10.49	24
20	2,611.56	$X_{20,1}$=2,611.56	9.8	$C_{20,1}$=16.86	44
21	2,611.56	$X_{21,1}$=2,611.56	10.1	$C_{21,1}$=17.37	45.4
22	4,178.49	$X_{22,1}$=4,178.49	8.7	$C_{22,1}$=14.96	62.5
23	2,089.24	$X_{23,1}$=2,089.24	9.4	$C_{23,1}$=16.14	33.8
24	2,287.72	$X_{24,1}$=2,287.72	9.4	$C_{24,1}$16.14	37.0
25	2,287.72	$X_{25,1}$=2,287.72	9.5	$C_{25,1}$=16.34	37.4
26	2,611.56	$X_{26,1}$=2,611.56	9.4	$C_{26,1}$=16.17	42.2
27	1,044.62	$X_{27,1}$=1,044.62	9.8	$C_{27,1}$=16.86	17.6
28	1,044.62	$X_{28,1}$=1,044.62	8.0	$C_{28,1}$=13.76	14.4
29	2,611.56	$X_{29,1}$=2,611.56	9.2	$C_{29,1}$=15.82	41.3
30	2,611.56	$X_{30,1}$=2,611.56	10.5	$C_{38,1}$=18.06	47.2
31	2,287.72	$X_{31,1}$=2,287.72	8.9	$C_{31,1}$=15.31	35.0
32	2,287.72	$X_{32,1}$=2,287.72	8.7	$C_{32,1}$=14.96	34.2
33	2,611.56	$X_{33,1}$=2,611.56	9.0	$C_{33,1}$=15.48	40.4
				รวม	1,698.3

ตารางที่ ก.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะในขากลับ

ตารางคำนวณการขนส่งแบบใช้จุดคัดแยกขยะขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ i(C_{ji}) (บาท)
2	11.7	C_{12}=20.12
3	8.4	C_{13}=14.45
4	7.6	C_{15}=13.07
5	7.6	C_{15}=13.07
6	10	C_{17}=17.2
7	10.0	C_{17}=17.2
8	8.6	C_{19}=14.79
9	8.6	C_{19}=14.79
10	12.3	$C_{1,11}$=21.16
11	12.3	$C_{1,11}$=21.16
12	11.5	$C_{1,13}$=19.78
13	11.5	$C_{1,13}$=19.78
14	9.4	$C_{1,15}$=16.17
15	12.6	$C_{1,16}$=21.67
16	9.8	$C_{1,17}$=16.86
17	9.8	$C_{1,17}$=16.86
18	6.1	$C_{1,19}$=10.49
19	6.1	$C_{1,19}$=10.49
20	10.1	$C_{1,21}$=17.37
21	10.1	$C_{1,21}$=17.37

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะเป็นตัวกลางในการกระจายขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ i(C_{ji}) (บาท)
22	9.4	$C_{1,23}$=16.14
23	9.4	$C_{1,23}$=16.14
24	9.5	$C_{1,25}$=16.34
25	9.5	$C_{1,25}$=16.34
26	9.4	$C_{1,26}$=16.17
27	8.0	$C_{1,28}$=13.76
28	8.0	$C_{1,28}$=13.76
29	10.5	$C_{1,30}$=18.06
30	10.5	$C_{1,30}$=18.06
31	8.7	$C_{1,32}$=14.96
32	8.7	$C_{1,32}$=14.96
33	9.0	$C_{1,33}$=15.48
	รวม	524.02

ตารางที่ ก.4 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

ตารางการคิดค่าใช้จ่ายรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs					
โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	C_{11}=20.47	46.8
2	2,287.72	X_{21}=2,287.72	11.7	C_{21}=20.12	46.0
3	2,611.56	X_{31}=2,611.56	8.4	C_{31}=14.45	37.7
4	2,287.72	X_{41}=2,287.72	7.1	C_{41}=12.21	27.9
5	2,287.72	X_{51}=2,287.72	7.6	C_{51}=13.07	29.9
6	2,611.56	X_{61}=2,611.56	10.5	C_{61}=18.06	47.2
7	2,611.56	X_{71}=2,611.56	10.0	C_{71}=17.20	44.9
8	2,287.72	X_{81}=2,287.72	11.3	C_{81}=19.44	44.5
9	2,287.72	X_{91}=2,287.72	8.6	C_{91}=14.79	33.8
10	2,287.72	$X_{10,1}$=2,287.72	10.1	$C_{10,1}$=17.37	39.7
11	2,287.72	$X_{11,1}$=2,287.72	12.3	$C_{11,1}$=21.16	48.4
12	2,287.72	$X_{12,1}$=2,287.72	10.3	$C_{12,1}$=17.72	40.5
13	2,287.72	$X_{13,1}$=2,287.72	11.5	$C_{13,1}$=19.78	45.2
14	2,089.24	$X_{14,1}$=2,089.24	8.9	$C_{14,1}$=15.31	32.0
15	6,267.73	$X_{15,1}$=6,267.73	9.4	$C_{15,1}$=16.17	101.3
16	2,089.24	$X_{16,1}$=2,089.24	12.6	$C_{16,1}$=21.67	45.3

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (C_{i1}) (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่าย $C_{i1}X_{i1}$ (บาท)
17	2,089.24	$X_{17,1}$=2,089.24	9.8	$C_{17,1}$=16.86	35.2
18	2,287.72	$X_{18,1}$=2,287.72	8.7	$C_{18,1}$=14.96	34.2
19	2,287.72	$X_{19,1}$=2,287.72	6.1	$C_{19,1}$=10.49	24.0
20	2,611.56	$X_{20,1}$=2,611.56	9.8	$C_{20,1}$=16.86	44.0
21	2,611.56	$X_{21,1}$=2,611.56	10.1	$C_{21,1}$=17.37	45.4
22	4,178.49	$X_{22,1}$=4,178.49	8.7	$C_{22,1}$=14.96	62.5
23	2,089.24	$X_{23,1}$=2,089.24	9.4	$C_{23,1}$=16.14	33.8
24	2,287.72	$X_{24,1}$=2,287.72	9.4	$C_{24,1}$16.14	37.0
25	2,287.72	$X_{25,1}$=2,287.72	9.5	$C_{25,1}$=16.34	37.4
26	2,611.56	$X_{26,1}$=2,611.56	9.4	$C_{26,1}$=16.17	42.2
27	1,044.62	$X_{27,1}$=1,044.62	9.8	$C_{27,1}$=16.86	17.6
28	1,044.62	$X_{28,1}$=1,044.62	8.0	$C_{28,1}$=13.76	14.4
29	2,611.56	$X_{29,1}$=2,611.56	9.2	$C_{29,1}$=15.82	41.3
30	2,611.56	$X_{30,1}$=2,611.56	10.5	$C_{38,1}$=18.06	47.2
31	2,287.72	$X_{31,1}$=2,287.72	8.9	$C_{31,1}$=15.31	35.0
32	2,287.72	$X_{32,1}$=2,287.72	8.7	$C_{32,1}$=14.96	34.2
33	2,611.56	$X_{33,1}$=2,611.56	9.0	$C_{33,1}$=15.48	40.4
				รวม	1,698.3

ตารางที่ ก.5 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะและส่งไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs ในขากลับ

ตารางคำนวณการขนส่งแบบใช้จุดคัดแยกขยะขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ i (C_{ji}) (บาท)
2	11.7	C_{12}=20.12
3	8.4	C_{13}=14.45
4	7.6	C_{15}=13.07
5	7.6	C_{15}=13.07
6	10.0	C_{17}=17.20
7	10.0	C_{17}=17.20
8	8.6	C_{19}=14.79
9	8.6	C_{19}=14.79
10	12.3	$C_{1,11}$=21.16
11	12.3	$C_{1,11}$=21.16
12	11.5	$C_{1,13}$=19.78
13	11.5	$C_{1,13}$=19.78
14	9.4	$C_{1,15}$=16.17
15	12.6	$C_{1,16}$=21.67
16	9.8	$C_{1,17}$=16.86
17	9.8	$C_{1,17}$=16.86
18	6.1	$C_{1,19}$=10.49
19	6.1	$C_{1,19}$=10.49
20	10.1	$C_{1,21}$=17.37
21	10.1	$C_{1,21}$=17.37

ตารางที่ ก.5 (ต่อ) การคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบที่มีสถานีขนถ่ายขยะและส่งไปยังจุดอำนวยความสะดวกแบบ Milk Runs ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ji}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง j กับ i(C_{ji}) (บาท)
22	9.4	$C_{1,23}$=16.14
23	9.4	$C_{1,23}$=16.14
24	9.5	$C_{1,25}$=16.34
25	9.5	$C_{1,25}$=16.34
26	9.4	$C_{1,26}$=16.17
27	8.0	$C_{1,28}$=13.76
28	8.0	$C_{1,28}$=13.76
29	10.5	$C_{1,30}$=18.06
30	10.5	$C_{1,30}$=18.06
31	8.7	$C_{1,32}$=14.96
32	8.7	$C_{1,32}$=14.96
33	9.0	$C_{1,33}$=15.48
	รวม	524.02

ตารางที่ ก.6 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)

ตารางการคิดต้นค่าใช้จ่ายรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)		
โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ j (C_{ij}) (บาท/ตัน)
1	11.9	C_{11}=20.47
2	11.7	C_{21}=20.12
3	8.4	C_{31}=14.45
4	7.1	C_{41}=12.21
5	7.6	C_{51}=13.07
6	10.5	C_{61}=18.06
7	10.0	C_{71}=17.20
8	11.3	C_{81}=19.44
9	8.6	C_{91}=14.79
10	10.1	$C_{10,1}$=17.37
11	12.3	$C_{11,1}$=21.16
12	10.3	$C_{12,1}$=17.72
13	11.5	$C_{13,1}$=19.78
14	8.9	$C_{14,1}$=15.31
15	9.4	$C_{15,1}$=16.17
16	12.6	$C_{16,1}$=21.67

ตารางที่ ก.6 (ต่อ) คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ j (C_{ij}) (บาท/ตัน)
17	9.8	$C_{17,1}$=16.86
18	8.7	$C_{18,1}$=14.96
19	6.1	$C_{19,1}$=10.49
20	9.8	$C_{20,1}$=16.86
21	10.1	$C_{21,1}$=17.37
22	8.7	$C_{22,1}$=14.96
23	9.4	$C_{23,1}$=16.14
24	9.4	$C_{24,1}$ 16.14
25	9.5	$C_{25,1}$=16.34
26	9.4	$C_{26,1}$=16.17
27	9.8	$C_{27,1}$=16.86
28	8.0	$C_{28,1}$=13.76
29	9.2	$C_{29,1}$=15.82
30	10.5	$C_{38,1}$=18.06
31	8.9	$C_{31,1}$=15.31
32	8.7	$C_{32,1}$=14.96
33	9.0	$C_{33,1}$=15.48

ตารางที่ ก.7 คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)

ตารางการคิดต้นค่าใช้จ่ายรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)		
โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ j (C_{ij}) (บาท/ตัน)
1	9.8	C_{12}=16.86
2	11.2	C_{22}=19.26
3	7.1	C_{32}=12.21
4	5.8	C_{42}=9.98
5	6.3	C_{52}=10.84
6	9.3	C_{62}=16.00
7	8.7	C_{72}=14.96
8	9.7	C_{82}=16.68
9	5.3	C_{92}=9.12
10	8.7	$C_{10,2}$=14.96
11	10.7	$C_{11,2}$=18.40
12	9.6	$C_{12,2}$=16.51
13	10.8	$C_{13,2}$=18.58
14	7.5	$C_{14,2}$=12.90
15	8.0	$C_{15,2}$=13.76
16	11.9	$C_{16,2}$=20.47

ตารางที่ ก.7 (ต่อ) คำนวณค่าขนส่งรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง i กับ j (C_{ij}) (บาท/ตัน)
17	8.3	$C_{17,2}$=14.28
18	7.4	$C_{18,2}$=12.73
19	2.8	$C_{19,2}$=4.82
20	9.2	$C_{20,2}$=15.82
21	9.7	$C_{21,2}$=16.68
22	8.3	$C_{22,2}$=14.28
23	8.9	$C_{23,2}$=15.31
24	8.8	$C_{24,2}$15.14
25	9.6	$C_{25,2}$=16.51
26	11.0	$C_{26,2}$=18.92
27	9.8	$C_{27,2}$=16.86
28	7.6	$C_{28,2}$=13.07
29	8.3	$C_{29,2}$=14.28
30	10.2	$C_{38,2}$=17.54
31	10.5	$C_{31,2}$=18.06
32	10.3	$C_{32,2}$=17.72
33	8.8	$C_{33,2}$=15.14

ภาคผนวก ข

ระยะทางของรูปแบบส่งตรงจากจุดกำเนิดขยะ
ไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

ตารางที่ ข.1 ระยะทางของรูปแบบส่งตรงจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=11.3
	D_{12}=11.3
	D_{13}=38.3
2	D_{21}=12.3
	D_{22}=12.3
	D_{23}=36.5
3	D_{31}=7.8
	D_{32}=7.8
	D_{33}=33.2
4	D_{41}=6.5
	D_{42}=6.5
	D_{43}=31.9
5	D_{51}=7.0
	D_{52}=7.0
	D_{53}=32.4
6	D_{61}=9.9
	D_{62}=9.9
	D_{63}=36.2
7	D_{71}=9.4
	D_{72}=9.4
	D_{73}=34.8
8	D_{81}=10.6
	D_{82}=10.6
	D_{83}=37.2
9	D_{91}=6.0
	D_{92}=6.0
	D_{93}=31.7

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบส่งตรงจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
10	$D_{10,1}$=11.9
	$D_{10,2}$=11.9
	$D_{10,3}$=36.1
11	$D_{11,1}$=12.9
	$D_{11,2}$=12.9
	$D_{11,3}$=37.1
12	$D_{12,1}$=9.8
	$D_{12,2}$=9.8
	$D_{12,3}$=35.1
13	$D_{13,1}$=11.0
	$D_{13,2}$=11.0
	$D_{13,3}$=36.3
14	$D_{14,1}$=8.3
	$D_{14,2}$=8.3
	$D_{14,3}$=33.7
15	$D_{15,1}$=8.8
	$D_{15,2}$=8.8
	$D_{15,3}$=34.3
16	$D_{16,1}$=13.2
	$D_{16,2}$=13.2
	$D_{16,3}$=37.4
17	$D_{17,1}$=9.2
	$D_{17,2}$=9.2
	$D_{17,3}$=34.5
18	$D_{18,1}$=8.1
	$D_{18,2}$=8.1
	$D_{18,3}$=33.5

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบส่งตรงจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
19	$D_{19,1}$=9.7
	$D_{19,2}$=9.7
	$D_{19,3}$=29.4
20	$D_{20,1}$=9.3
	$D_{20,2}$=9.3
	$D_{20,3}$=34.6
21	$D_{21,1}$=9.7
	$D_{21,2}$=9.7
	$D_{21,3}$=35.1
22	$D_{22,1}$=8.1
	$D_{22,2}$=8.1
	$D_{22,3}$=33.5
23	$D_{23,1}$=8.6
	$D_{23,2}$=8.6
	$D_{23,3}$=33.9
24	$D_{24,1}$=8.4
	$D_{24,2}$=8.4
	$D_{24,3}$=33.9
25	$D_{25,1}$=9.5
	$D_{25,2}$=9.5
	$D_{25,3}$=34.3
26	$D_{26,1}$=11.5
	$D_{26,2}$=11.5
	$D_{26,3}$=32.6
27	$D_{27,1}$=9.2
	$D_{27,2}$=9.2
	$D_{27,3}$=34.7

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบส่งตรงจากจุดกำเนิดขยะไปยังจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
28	$D_{28,1}$=7.4
	$D_{28,2}$=7.4
	$D_{28,3}$=29.6
29	$D_{29,1}$=8.2
	$D_{29,2}$=8.2
	$D_{29,3}$=33.6
30	$D_{30,1}$=4.5
	$D_{30,2}$=4.5
	$D_{30,3}$=29.9
31	$D_{31,1}$=10.3
	$D_{31,2}$=10.3
	$D_{31,3}$=33.7
32	$D_{32,1}$=10.1
	$D_{32,2}$=10.1
	$D_{32,3}$=33.5
33	$D_{33,1}$=8.4
	$D_{33,2}$=8.4
	$D_{33,3}$=33.9
รวม	1,776.7

ตารางที่ ข.2 ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ไปยังจุดกำเนิดขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
1	D_{11}=11.3
	D_{21}=11.3
	D_{32}=36.5
2	D_{12}=12.3
	D_{22}=12.3
	D_{32}=36.5
3	D_{13}=7.8
	D_{23}=7.8
	D_{33}=33.2
4	D_{14}=6.5
	D_{24}=6.5
	D_{35}=32.4
5	D_{15}=7.0
	D_{25}=7.0
	D_{35}=32.4
6	D_{16}=9.9
	D_{26}=9.9
	D_{36}=36.2
7	D_{17}=9.4
	D_{27}=9.4
	D_{36}=36.2
8	D_{18}=10.6
	D_{28}=10.6
	D_{39}=31.7
9	D_{19}=6.0
	D_{29}=6.0
	D_{39}=31.7

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ไปยังจุดกำเนิดขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
10	$D_{1,10}$=11.9
	$D_{2,10}$=11.9
	$D_{3,11}$=37.1
11	$D_{1,11}$=12.9
	$D_{2,11}$=12.9
	$D_{3,11}$=37.1
12	$D_{1,12}$=9.8
	$D_{2,12}$=9.8
	$D_{3,13}$=36.3
13	$D_{1,13}$=11.0
	$D_{2,13}$=11.0
	$D_{3,13}$=36.3
14	$D_{1,14}$=8.3
	$D_{2,14}$=8.3
	$D_{3,15}$=34.3
15	$D_{1,15}$=8.8
	$D_{2,15}$=8.8
	$D_{3,16}$=37.4
16	$D_{1,16}$=13.2
	$D_{2,16}$=13.2
	$D_{3,17}$=34.5
17	$D_{1,17}$=9.2
	$D_{2,17}$=9.2
	$D_{3,17}$=34.5
18	$D_{1,18}$=8.1
	$D_{2,18}$=8.1
	$D_{3,19}$=29.4

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ไปยังจุดกำเนิดขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
19	$D_{1,19}$=9.7
	$D_{2,19}$=9.7
	$D_{3,19}$=29.4
20	$D_{1,20}$=9.3
	$D_{2,20}$=9.3
	$D_{3,21}$=35.1
21	$D_{1,21}$=9.7
	$D_{2,21}$=9.7
	$D_{3,21}$=35.1
22	$D_{1,22}$=8.1
	$D_{2,22}$=8.1
	$D_{3,23}$=33.9
23	$D_{1,23}$=8.6
	$D_{2,23}$=8.6
	$D_{3,23}$=33.9
24	$D_{1,24}$=8.4
	$D_{2,24}$=8.4
	$D_{3,25}$=34.3
25	$D_{1,25}$=9.5
	$D_{2,25}$=9.5
	$D_{3,25}$=34.3
26	$D_{1,26}$=11.5
	$D_{2,26}$=11.5
	$D_{3,26}$=32.6
27	$D_{1,27}$=9.2
	$D_{2,27}$=9.2
	$D_{3,28}$=29.6

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ระยะทางรูปแบบส่งตรงของแต่ละจุดอำนวยความสะดวกต่างๆ ไปยังจุดกำเนิดขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กิโลเมตร)
28	$D_{1,28}$=7.4
	$D_{2,28}$=7.4
	$D_{3,28}$=29.6
29	$D_{1,29}$=8.2
	$D_{2,29}$=8.2
	$D_{3,30}$=29.9
30	$D_{1,30}$=4.5
	$D_{2,30}$=4.5
	$D_{3,30}$=29.9
31	$D_{1,31}$=10.3
	$D_{2,31}$=10.3
	$D_{3,32}$=33.5
32	$D_{1,32}$=10.1
	$D_{2,32}$=10.1
	$D_{3,32}$=33.5
33	$D_{1,33}$=8.4
	$D_{2,33}$=8.4
	$D_{3,33}$=33.9
รวม	1,717.0

ตารางที่ ข.3 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กิโลเมตร)
2	D_{12}=11.7
3	D_{13}=8.4
4	D_{15}=7.6
5	D_{15}=7.6
6	D_{17}=10.0
7	D_{17}=10.0
8	D_{19}=8.6
9	D_{19}=8.6
10	$D_{1,11}$=12.3
11	$D_{1,11}$=12.3
12	$D_{1,13}$=11.5
13	$D_{1,13}$=11.5
14	$D_{1,15}$=9.4
15	$D_{1,16}$=12.6
16	$D_{1,17}$=9.8
17	$D_{1,17}$=9.8
18	$D_{1,19}$=6.1
19	$D_{1,19}$=6.1
20	$D_{1,21}$=10.1
21	$D_{1,21}$=10.1
22	$D_{1,23}$=9.4
23	$D_{1,23}$=9.4
24	$D_{1,25}$=9.5

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะจากสถานีขนถ่ายขยะไปยังจุดกำเนิดขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กิโลเมตร)
25	$D_{1,25}$=9.5
26	$D_{1,24}$=9.4
27	$D_{1,28}$=8.0
28	$D_{1,28}$=8.0
29	$D_{1,30}$=10.5
30	$D_{1,30}$=10.5
31	$D_{1,32}$=8.7
32	$D_{1,32}$=8.7
33	$D_{1,33}$=9.0
รวม	304.7

ตารางที่ ข.4 ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs แต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กิโลเมตร)
2	D_{12}=11.7
3	D_{13}=8.4
4	D_{15}=7.6
5	D_{15}=7.6
6	D_{17}=10.0
7	D_{17}=10.0
8	D_{19}=8.6
9	D_{19}=8.6
10	$D_{1,11}$=12.3
11	$D_{1,11}$=12.3
12	$D_{1,13}$=11.5
13	$D_{1,13}$=11.5
14	$D_{1,15}$=9.4
15	$D_{1,16}$=12.6
16	$D_{1,17}$=9.8
17	$D_{1,17}$=9.8
18	$D_{1,19}$=6.1
19	$D_{1,19}$=6.1
20	$D_{1,21}$=10.1
21	$D_{1,21}$=10.1
22	$D_{1,23}$=9.4
23	$D_{1,23}$=9.4
24	$D_{1,25}$=9.5

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ระยะทางของรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs แต่ละโซนไปยังสถานีขนถ่ายขยะขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กิโลเมตร)
25	$D_{1,25}$=9.5
26	$D_{1,24}$=9.4
27	$D_{1,28}$=8.0
28	$D_{1,28}$=8.0
29	$D_{1,30}$=10.5
30	$D_{1,30}$=10.5
31	$D_{1,32}$=8.7
32	$D_{1,32}$=8.7
33	$D_{1,33}$=9.0
รวม	304.7

ภาคผนวก ค

ตารางคำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบต่างๆ

ตารางที่ ค.1 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (F_{ik}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{ik}X_{ik}$) (kg CO2 e)
1	2,287.72	X_{11}=914.80	11.3	F_{11}=0.94	0.86
		X_{12}=114.35	11.3	F_{12}=0.94	0.11
		X_{13}=1,257.85	38.3	F_{13}=3.19	4.01
2	2,287.72	X_{21}=914.80	12.3	F_{21}=1.02	0.93
		X_{22}=114.35	12.3	F_{22}=1.02	0.12
		X_{23}=1,257.85	36.5	F_{23}=3.04	3.82
3	2,611.56	X_{31}=1,044.40	7.8	F_{31}=0.65	0.68
		X_{32}=130.55	7.8	F_{32}=0.65	0.08
		X_{33}=1,436.05	33.2	F_{33}=2.77	3.98
4	2,287.72	X_{41}=914.80	6.5	F_{41}=0.54	0.49
		X_{42}=114.35	6.5	F_{42}=0.54	0.06
		X_{43}=1,257.85	31.9	F_{43}=2.66	3.35
5	2,287.72	X_{51}=914.80	7	F_{51}=0.58	0.53
		X_{52}=114.35	7	F_{52}=0.58	0.07
		X_{53}=1,257.85	32.4	F_{53}=2.70	3.40
6	2,611.56	X_{61}=1,044.40	9.9	F_{61}=0.82	0.86
		X_{62}=130.55	9.9	F_{62}=0.82	0.11
		X_{63}=1,436.05	36.2	F_{63}=3.02	4.34

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (F_{ik}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{ik}X_{ik}$) (kg CO2 e)
7	2,611.56	X_{71}=1,044.40	9.4	F_{71}=0.78	0.81
		X_{72}=130.55	9.4	F_{72}=0.78	0.10
		X_{73}=1,436.05	34.8	F_{73}=2.90	4.16
8	2,287.72	X_{81}=914.80	10.6	F_{81}=0.88	0.81
		X_{82}=114.35	10.6	F_{82}=0.88	0.10
		X_{83}=1,257.85	37.2	F_{83}=3.10	3.90
9	2,287.72	X_{91}=914.80	6	F_{91}=0.50	0.46
		X_{92}=114.35	6	F_{92}=0.50	0.06
		X_{93}=1,257.85	31.7	F_{93}=2.64	3.32
10	2,287.72	$X_{10,1}$=914.80	11.9	$F_{10,1}$=0.99	0.91
		$X_{10,2}$=114.35	11.9	$F_{10,2}$=0.99	0.11
		$X_{10,3}$=1,257.85	36.1	$F_{10,3}$=3.01	3.79
11	2,287.72	$X_{11,1}$=914.80	12.9	$F_{11,1}$=1.07	0.98
		$X_{11,2}$=114.35	12.9	$F_{11,2}$=1.07	0.12
		$X_{11,3}$=1,257.85	37.1	$F_{11,3}$=3.09	3.89
12	2,287.72	$X_{12,1}$=914.80	9.8	$F_{12,1}$=0.82	0.75
		$X_{12,2}$=114.35	9.8	$F_{12,2}$=0.82	0.09
		$X_{12,3}$=1,257.85	35.1	$F_{12,3}$=2.92	3.67

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (F_{ik}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{ik}X_{ik}$) (kg CO2 e)
13	2,287.72	$X_{13,1}$=914.80	11	$F_{13,1}$=0.92	0.84
		$X_{13,2}$=114.35	11	$F_{13,2}$=0.92	0.11
		$X_{13,3}$=1,257.85	36.3	$F_{13,3}$=3.02	3.80
14	2,089.24	$X_{14,1}$=835.60	8.3	$F_{14,1}$=0.69	0.58
		$X_{14,2}$=104.45	8.3	$F_{14,2}$=0.69	0.07
		$X_{14,3}$=1,148.95	33.7	$F_{14,3}$=2.81	3.23
15	6,267.73	$X_{15,1}$=2,506.80	8.8	$F_{15,1}$=0.73	1.83
		$X_{15,2}$=313.35	8.8	$F_{15,2}$=0.73	0.23
		$X_{15,3}$=3,446.85	34.3	$F_{15,3}$=2.86	9.86
16	2,089.24	$X_{16,1}$=835.60	13.2	$F_{16,1}$=1.10	0.92
		$X_{16,2}$=104.45	13.2	$F_{16,2}$=1.10	0.11
		$X_{16,3}$=1,148.95	37.4	$F_{16,3}$=3.12	3.58
17	2,089.24	$X_{17,1}$=835.60	9.2	$F_{17,1}$=0.77	0.64
		$X_{17,2}$=104.45	9.2	$F_{17,2}$=0.77	0.08
		$X_{17,3}$=1,148.95	34.5	$F_{17,3}$=2.87	3.30
18	2,287.72	$X_{18,1}$=914.80	8.1	$F_{18,1}$=0.67	0.61
		$X_{18,2}$=114.35	8.1	$F_{18,2}$=0.67	0.08
		$X_{18,3}$=1,257.85	33.5	$F_{18,3}$=2.79	3.51

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (F_{ik}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{ik}X_{ik}$) (kg CO2 e)
19	2,287.72	$X_{19,1}$=914.80	9.7	$F_{19,1}$=0.81	0.74
		$X_{19,2}$=114.35	9.7	$F_{19,2}$=0.81	0.09
		$X_{19,3}$=1,257.85	29.4	$F_{19,3}$=2.45	3.08
20	2,611.56	$X_{20,1}$=1,044.40	9.3	$F_{20,1}$=0.77	0.80
		$X_{20,2}$=130.55	9.3	$F_{20,2}$=0.77	0.10
		$X_{20,3}$=1,436.05	34.6	$F_{20,3}$=2.88	4.14
21	2,611.56	$X_{21,1}$=1,044.40	9.7	$F_{21,1}$=0.81	0.85
		$X_{21,2}$=130.55	9.7	$F_{21,2}$=0.81	0.11
		$X_{21,3}$=1,436.05	35.1	$F_{21,3}$=2.92	4.19
22	4,178.49	$X_{22,1}$=1,671.20	8.1	$F_{22,1}$=0.67	1.12
		$X_{22,2}$=208.90	8.1	$F_{22,2}$=0.67	0.14
		$X_{22,3}$=2,297.90	33.5	$F_{22,3}$=2.79	6.41
23	2,089.24	$X_{23,1}$=835.60	8.6	$F_{23,1}$=0.72	0.60
		$X_{23,2}$=104.45	8.6	$F_{23,2}$=0.72	0.08
		$X_{23,3}$=1,148.95	33.9	$F_{23,3}$=2.82	3.24
24	2,287.72	$X_{24,1}$=914.80	8.4	$F_{24,1}$=0.70	0.64
		$X_{24,2}$=114.35	8.4	$F_{24,2}$=0.70	0.08
		$X_{24,3}$=1,257.85	33.9	$F_{24,3}$=2.82	3.55

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (F_{ik}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{ik}X_{ik}$) (kg CO2 e)
25	2,287.72	$X_{25,1}$=914.80	9.5	$F_{25,1}$=0.79	0.72
		$X_{25,2}$=114.35	9.5	$F_{25,2}$=0.79	0.09
		$X_{25,3}$=1,257.85	34.3	$F_{25,3}$=2.86	3.60
26	2,611.56	$X_{26,1}$=1,044.40	11.5	$F_{26,1}$=0.96	1.00
		$X_{26,2}$=130.55	11.5	$F_{26,2}$=0.96	0.13
		$X_{26,3}$=1,436.05	32.6	$F_{26,3}$=2.72	3.91
27	1,044.62	$X_{27,1}$=417.60	9.2	$F_{27,1}$=0.77	0.32
		$X_{27,2}$=52.20	9.2	$F_{27,2}$=0.77	0.04
		$X_{27,3}$=574.20	34.7	$F_{27,3}$=2.89	1.66
28	1,044.62	$X_{28,1}$=417.60	7.4	$F_{28,1}$=0.62	0.26
		$X_{28,2}$=52.20	7.4	$F_{28,2}$=0.62	0.03
		$X_{28,3}$=574.20	29.6	$F_{28,3}$=2.47	1.42
29	2,611.56	$X_{29,1}$=1,044.40	8.2	$F_{29,1}$=0.68	0.71
		$X_{29,2}$=130.55	8.2	$F_{29,2}$=0.68	0.09
		$X_{29,3}$=1,436.05	33.6	$F_{29,3}$=2.80	4.02
30	2,611.56	$X_{30,1}$=1,044.40	4.5	$F_{30,1}$=0.37	0.39
		$X_{30,2}$=130.55	4.5	$F_{30,2}$=0.37	0.05
		$X_{30,3}$=1,436.05	29.9	$F_{30,3}$=2.49	3.58

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบส่งตรง Direct Shipment

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (X_{ik}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{ik}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ k (F_{ik}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{ik}X_{ik}$) (kg CO2 e)
31	2,287.72	$X_{31,1}$=914.80	10.3	$F_{31,1}$=0.86	0.79
		$X_{31,2}$=114.35	10.3	$F_{31,2}$=0.86	0.10
		$X_{31,3}$=1,257.85	33.7	$F_{31,3}$=2.81	3.53
32	2,287.72	$X_{32,1}$=914.80	10.1	$F_{32,1}$=0.84	0.77
		$X_{32,2}$=114.35	10.1	$F_{32,2}$=0.84	0.10
		$X_{32,3}$=1,257.85	33.5	$F_{32,3}$=2.79	3.51
33	2,611.56	$X_{33,1}$=1,044.40	8.4	$F_{33,1}$=0.70	0.73
		$X_{33,2}$=130.55	8.4	$F_{33,2}$=0.70	0.09
		$X_{33,3}$=1,436.05	33.9	$F_{33,3}$=2.82	4.05
				รวม	154.86

ตารางที่ ค.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (F_{ij}) (kg CO2 e)
1	11.3	F_{11}=0.94
	11.3	F_{21}=0.94
	36.5	F_{32}=3.04
2	12.3	F_{12}=1.02
	12.3	F_{22}=1.02
	36.5	F_{32}=3.04
3	7.8	F_{13}=0.65
	7.8	F_{23}=0.65
	33.2	F_{33}=2.77
4	6.5	F_{14}=0.54
	6.5	F_{24}=0.54
	32.4	F_{35}=2.70
5	7.0	F_{15}=0.58
	7.0	F_{25}=0.58
	32.4	F_{35}=2.70
6	9.9	F_{16}=0.82
	9.9	F_{26}=0.82
	36.2	F_{36}=3.02

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) การคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (F_{ki}) (kg CO2 e)
7	9.4	F_{17}=0.78
	9.4	F_{27}=0.78
	36.2	F_{36}=3.02
8	10.6	F_{18}=0.88
	10.6	F_{28}=0.88
	31.7	F_{39}=2.64
9	6.0	F_{19}=0.50
	6.0	F_{29}=0.50
	31.7	F_{39}=2.64
10	11.9	$F_{1,10}$=0.99
	11.9	$F_{2,10}$=0.99
	37.1	$F_{3,11}$=3.09
11	12.9	$F_{1,11}$=1.07
	12.9	$F_{2,11}$=1.07
	37.1	$F_{3,11}$=3.09
12	9.8	$F_{1,12}$=0.82
	9.8	$F_{2,12}$=0.82
	36.3	$F_{3,13}$=3.02
13	11.0	$F_{1,13}$=0.92
	11.0	$F_{2,13}$=0.92
	36.3	$F_{3,13}$=3.02

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) การคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (F_{ki}) (kg CO2 e)
14	8.3	$F_{1,14}$=0.69
	8.3	$F_{2,14}$=0.69
	34.3	$F_{3,15}$=0.73
15	8.8	$F_{1,15}$=0.73
	8.8	$F_{2,15}$=0.73
	37.4	$F_{3,16}$=3.12
16	13.2	$F_{1,16}$=1.10
	13.2	$F_{2,16}$=1.10
	34.5	$F_{3,17}$=2.87
17	9.2	$F_{1,17}$=0.77
	9.2	$F_{2,17}$=0.77
	34.5	$F_{3,17}$=2.87
18	8.1	$F_{1,18}$=0.67
	8.1	$F_{2,18}$=0.67
	29.4	$F_{3,19}$=2.45
19	9.7	$F_{1,19}$=0.81
	9.7	$F_{2,19}$=0.81
	29.4	$F_{3,19}$=2.45
20	9.3	$F_{1,20}$=0.77
	9.3	$F_{2,20}$=0.77
	35.1	$F_{3,21}$=2.92

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) การคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{ki}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (F_{ki}) (kg CO2 e)
21	9.7	$F_{1,21}$=0.81
	9.7	$F_{2,21}$=0.81
	35.1	$F_{3,21}$=2.92
22	8.1	$F_{1,22}$=0.67
	8.1	$F_{2,22}$=0.67
	33.9	$F_{3,23}$=2.82
23	8.6	$F_{1,23}$=0.72
	8.6	$F_{2,23}$=0.72
	33.9	$F_{3,23}$=2.82
24	8.4	$F_{1,24}$=0.70
	8.4	$F_{2,24}$=0.70
	34.3	$F_{3,25}$=2.86
25	9.5	$F_{1,25}$=0.79
	9.5	$F_{2,25}$=0.79
	34.3	$F_{3,25}$=2.86
26	11.5	$F_{1,26}$=0.96
	11.5	$F_{2,26}$=0.96
	32.6	$F_{2,26}$=2.72
27	9.2	$F_{1,27}$=0.77
	9.2	$F_{2,27}$=0.77
	29.6	$F_{3,28}$=2.47

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) การคำนวณการปล่อยก๊าซในการขนส่งตามระยะทางและปริมาณขยะของรูปแบบส่งตรง Direct Shipment ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{kj}) (กม.)	ค่าขนส่งระหว่างตำแหน่ง k กับ i (F_{kj}) (kg CO2 e)
28	7.4	$F_{1,28}$=0.62
	7.4	$F_{2,28}$=0.62
	29.6	$F_{3,28}$=2.47
29	8.2	$F_{1,29}$=0.68
	8.2	$F_{2,29}$=0.68
	29.9	$F_{3,30}$=2.49
30	4.5	$F_{1,30}$=0.37
	4.5	$F_{2,30}$=0.37
	29.9	$F_{3,30}$=2.49
31	10.3	$F_{1,31}$=0.86
	10.3	$F_{2,31}$=0.86
	33.5	$F_{3,32}$=2.79
32	10.1	$F_{1,32}$=0.84
	10.1	$F_{2,32}$=0.84
	33.5	$F_{3,32}$=2.79
33	8.4	$F_{1,33}$=0.70
	8.4	$F_{2,33}$=0.70
	33.9	$F_{3,33}$=2.82
	รวม	141.60

ตารางที่ ค.3 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขาไป

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{i1}X_{i1}$) (kg CO2 e)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	F_{11}=0.99	2.26
2	2,287.72	X_{21}=2,287.72	11.7	F_{21}=0.97	2.22
3	2,611.56	X_{31}=2,611.56	8.4	F_{31}=0.70	1.83
4	2,287.72	X_{41}=2,287.72	7.1	F_{41}=0.59	1.35
5	2,287.72	X_{51}=2,287.72	7.6	F_{51}=0.63	1.44
6	2,611.56	X_{61}=2,611.56	10.5	F_{61}=0.87	2.27
7	2,611.56	X_{71}=2,611.56	10	F_{71}=0.83	2.17
8	2,287.72	X_{81}=2,287.72	11.3	F_{81}=0.94	2.15
9	2,287.72	X_{91}=2,287.72	8.6	F_{91}=0.72	1.65
10	2,287.72	$X_{10,1}$=2,287.72	10.1	$F_{10,1}$=0.84	1.92
11	2,287.72	$X_{11,1}$=2,287.72	12.3	$F_{11,1}$=1.02	2.33
12	2,287.72	$X_{12,1}$=2,287.72	10.3	$F_{12,1}$=0.86	1.97
13	2,287.72	$X_{13,1}$=2,287.72	11.5	$F_{13,1}$=0.96	2.20
14	2,089.24	$X_{14,1}$=2,089.24	8.9	$F_{14,1}$=0.74	1.55
15	6,267.73	$X_{15,1}$=6,267.73	9.4	$F_{15,1}$=0.78	4.89
16	2,089.24	$X_{16,1}$=2,089.24	12.6	$F_{16,1}$=1.05	2.19

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขาไป

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{i1}X_{i1}$) (kg CO2 e)
17	2,089.24	$X_{17,1}$=2,089.24	9.8	$F_{17,1}$=0.82	1.71
18	2,287.72	$X_{18,1}$=2,287.72	8.7	$F_{18,1}$=0.72	1.65
19	2,287.72	$X_{19,1}$=2,287.72	6.1	$F_{19,1}$=0.51	1.17
20	2,611.56	$X_{20,1}$=2,611.56	9.8	$F_{20,1}$=0.82	2.14
21	2,611.56	$X_{21,1}$=2,611.56	10.1	$F_{21,1}$=0.84	2.19
22	4,178.49	$X_{22,1}$=4,178.49	8.7	$F_{22,1}$=0.72	3.01
23	2,089.24	$X_{23,1}$=2,089.24	9.4	$F_{23,1}$=0.78	1.63
24	2,287.72	$X_{24,1}$=2,287.72	9.4	$F_{24,1}$=0.78	1.78
25	2,287.72	$X_{25,1}$=2,287.72	9.5	$F_{25,1}$=0.79	1.81
26	2,611.56	$X_{26,1}$=2,611.56	9.4	$F_{26,1}$=0.78	2.04
27	1,044.62	$X_{27,1}$=1,044.62	9.8	$F_{27,1}$=0.82	0.86
28	1,044.62	$X_{28,1}$=1,044.62	8.0	$F_{28,1}$=0.67	0.70
29	2,611.56	$X_{29,1}$=2,611.56	9.2	$F_{29,1}$=0.77	2.01
30	2,611.56	$X_{30,1}$=2,611.56	10.5	$F_{30,1}$=0.87	2.27
31	2,287.72	$X_{31,1}$=2,287.72	8.9	$F_{31,1}$=0.74	1.69
32	2,287.72	$X_{32,1}$=2,287.72	8.7	$F_{32,1}$=0.72	1.65
33	2,611.56	$X_{33,1}$=2,611.56	9.0	$F_{33,1}$=0.75	1.96
				รวม	64.66

ตารางที่ ค.4 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขากลับ

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2 e)
2	11.7	F_{12}=0.79
3	8.4	F_{13}=0.70
4	7.6	F_{15}=0.63
5	7.6	F_{15}=0.63
6	10.0	F_{17}=0.83
7	10.0	F_{17}=0.83
8	8.6	F_{19}=0.72
9	8.6	F_{19}=0.72
10	12.3	$F_{1,11}$=1.02
11	12.3	$F_{1,11}$=1.02
12	11.5	$F_{1,13}$=0.96
13	11.5	$F_{1,13}$=0.96
14	9.4	$F_{1,15}$=0.78
15	12.6	$F_{1,16}$=1.05
16	9.8	$F_{1,17}$=0.82
17	9.8	$F_{1,17}$=0.82
18	6.1	$F_{1,19}$=0.51
19	6.1	$F_{1,19}$=0.51
20	10.1	$F_{1,21}$=0.84
21	10.1	$F_{1,21}$=0.84

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2 e)
22	9.4	$F_{1,23}$=0.78
23	9.4	$F_{1,23}$=0.78
24	9.5	$F_{1,25}$=0.79
25	9.5	$F_{1,25}$=0.79
26	9.4	$F_{1,26}$=0.78
27	8.0	$F_{1,28}$=0.67
28	8.0	$F_{1,28}$=0.67
29	10.5	$F_{1,30}$=0.87
30	10.5	$F_{1,30}$=0.87
31	8.7	$F_{1,32}$=0.72
32	8.7	$F_{1,32}$=0.72
33	9.0	$F_{1,33}$=0.75
	รวม	25.17

ตารางที่ ค.5 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{i1}X_{i1}$) (kg CO2 e)
1	2,287.72	X_{11}=2,287.72	11.9	F_{11}=0.99	2.26
2	2,287.72	X_{21}=2,287.72	11.7	F_{21}=0.97	2.22
3	2,611.56	X_{31}=2,611.56	8.4	F_{31}=0.70	1.83
4	2,287.72	X_{41}=2,287.72	7.1	F_{41}=0.59	1.35
5	2,287.72	X_{51}=2,287.72	7.6	F_{51}=0.63	1.44
6	2,611.56	X_{61}=2,611.56	10.5	F_{61}=0.87	2.27
7	2,611.56	X_{71}=2,611.56	10	F_{71}=0.83	2.17
8	2,287.72	X_{81}=2,287.72	11.3	F_{81}=0.94	2.15
9	2,287.72	X_{91}=2,287.72	8.6	F_{91}=0.72	1.65
10	2,287.72	$X_{10,1}$=2,287.72	10.1	$F_{10,1}$=0.84	1.92
11	2,287.72	$X_{11,1}$=2,287.72	12.3	$F_{11,1}$=1.02	2.33
12	2,287.72	$X_{12,1}$=2,287.72	10.3	$F_{12,1}$=0.86	1.97
13	2,287.72	$X_{13,1}$=2,287.72	11.5	$F_{13,1}$=0.96	2.20
14	2,089.24	$X_{14,1}$=2,089.24	8.9	$F_{14,1}$=0.74	1.55
15	6,267.73	$X_{15,1}$=6,267.73	9.4	$F_{15,1}$=0.78	4.89
16	2,089.24	$X_{16,1}$=2,089.24	12.6	$F_{16,1}$=1.05	2.19

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs

โซน	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)	ปริมาณขยะที่เคลื่อนที่ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (X_{i1}) (กิโลกรัม)	ระยะทาง (D_{i1}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ 1 (F_{i1}) (kg CO2 e/ตัน)	ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($F_{i1}X_{i1}$) (kg CO2 e)
17	2,089.24	$X_{17,1}$=2,089.24	9.8	$F_{17,1}$=0.82	1.71
18	2,287.72	$X_{18,1}$=2,287.72	8.7	$F_{18,1}$=0.72	1.65
19	2,287.72	$X_{19,1}$=2,287.72	6.1	$F_{19,1}$=0.51	1.17
20	2,611.56	$X_{20,1}$=2,611.56	9.8	$F_{20,1}$=0.82	2.14
21	2,611.56	$X_{21,1}$=2,611.56	10.1	$F_{21,1}$=0.84	2.19
22	4,178.49	$X_{22,1}$=4,178.49	8.7	$F_{22,1}$=0.72	3.01
23	2,089.24	$X_{23,1}$=2,089.24	9.4	$F_{23,1}$=0.78	1.63
24	2,287.72	$X_{24,1}$=2,287.72	9.4	$F_{24,1}$=0.78	1.78
25	2,287.72	$X_{25,1}$=2,287.72	9.5	$F_{25,1}$=0.79	1.81
26	2,611.56	$X_{26,1}$=2,611.56	9.4	$F_{26,1}$=0.78	2.04
27	1,044.62	$X_{27,1}$=1,044.62	9.8	$F_{27,1}$=0.82	0.86
28	1,044.62	$X_{28,1}$=1,044.62	8.0	$F_{28,1}$=0.67	0.70
29	2,611.56	$X_{29,1}$=2,611.56	9.2	$F_{29,1}$=0.77	2.01
30	2,611.56	$X_{30,1}$=2,611.56	10.5	$F_{38,1}$=0.87	2.27
31	2,287.72	$X_{31,1}$=2,287.72	8.9	$F_{31,1}$=0.74	1.69
32	2,287.72	$X_{32,1}$=2,287.72	8.7	$F_{32,1}$=0.72	1.65
33	2,611.56	$X_{33,1}$=2,611.56	9.0	$F_{33,1}$=0.75	1.96
				รวม	64.66

ตารางที่ ค.6 คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในขากลับ

ตารางการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะในขากลับ		
โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2 e)
2	11.7	F_{12}=0.79
3	8.4	F_{13}=0.70
4	7.6	F_{15}=0.63
5	7.6	F_{15}=0.63
6	10.0	F_{17}=0.83
7	10.0	F_{17}=0.83
8	8.6	F_{19}=0.72
9	8.6	F_{19}=0.72
10	12.3	$F_{1,11}$=1.02
11	12.3	$F_{1,11}$=1.02
12	11.5	$F_{1,13}$=0.96
13	11.5	$F_{1,13}$=0.96
14	9.4	$F_{1,15}$=0.78
15	12.6	$F_{1,16}$=1.05
16	9.8	$F_{1,17}$=0.82
17	9.8	$F_{1,17}$=0.82
18	6.1	$F_{1,19}$=0.51
19	6.1	$F_{1,19}$=0.51
20	10.1	$F_{1,21}$=0.84
21	10.1	$F_{1,21}$=0.84

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะและ Milk Runs ในขากลับ

โซน	ระยะทาง (D_{1i}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง 1 กับ i (F_{1i}) (kg CO2 e)
22	9.4	$F_{1,23}$=0.78
23	9.4	$F_{1,23}$=0.78
24	9.5	$F_{1,25}$=0.79
25	9.5	$F_{1,25}$=0.79
26	9.4	$F_{1,26}$=0.78
27	8.0	$F_{1,28}$=0.67
28	8.0	$F_{1,28}$=0.67
29	10.5	$F_{1,30}$=0.87
30	10.5	$F_{1,30}$=0.87
31	8.7	$F_{1,32}$=0.72
32	8.7	$F_{1,32}$=0.72
33	9.0	$F_{1,33}$=0.75
	รวม	25.17

ตารางที่ ค.7 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ j (F_{ij}) (kg CO2 e/ตัน)
1	11.9	F_{11}=0.99
2	11.7	F_{21}=0.97
3	8.4	F_{31}=0.70
4	7.1	F_{41}=0.59
5	7.6	F_{51}=0.63
6	10.5	F_{61}=0.87
7	10	F_{71}=0.83
8	11.3	F_{81}=0.94
9	8.6	F_{91}=0.72
10	10.1	$F_{10,1}$=0.84
11	12.3	$F_{11,1}$=1.02
12	10.3	$F_{12,1}$=0.86
13	11.5	$F_{13,1}$=0.96
14	8.9	$F_{14,1}$=0.74
15	9.4	$F_{15,1}$=0.78
16	12.6	$F_{16,1}$=1.05

ตารางที่ ค.7 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (ปัจจุบัน)

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ j (F_{ij}) (kg CO2 e/ตัน)
17	9.8	$F_{17,1}$=0.82
18	8.7	$F_{18,1}$=0.72
19	6.1	$F_{19,1}$=0.51
20	9.8	$F_{20,1}$=0.82
21	10.1	$F_{21,1}$=0.84
22	8.7	$F_{22,1}$=0.72
23	9.4	$F_{23,1}$=0.78
24	9.4	$F_{24,1}$=0.78
25	9.5	$F_{25,1}$=0.79
26	9.4	$F_{26,1}$=0.78
27	9.8	$F_{27,1}$=0.82
28	8.0	$F_{28,1}$=0.67
29	9.2	$F_{29,1}$=0.77
30	10.5	$F_{38,1}$=0.87
31	8.9	$F_{31,1}$=0.74
32	8.7	$F_{32,1}$=0.72
33	9.0	$F_{33,1}$=0.75

ตารางที่ ค.8 คำนวณการปล่อยก๊าซรูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ j (F_{ij}) (kg CO2 e/ตัน)
1	9.8	F_{11}=0.82
2	11.2	F_{21}=0.93
3	7.1	F_{31}=0.59
4	5.8	F_{41}=0.48
5	6.3	F_{51}=0.52
6	9.3	F_{61}=0.77
7	8.7	F_{71}=0.72
8	9.7	F_{81}=0.81
9	5.3	F_{91}=0.44
10	8.7	$F_{10,1}$=0.72
11	10.7	$F_{11,1}$=0.89
12	9.6	$F_{12,1}$=0.80
13	10.8	$F_{13,1}$=0.90
14	7.5	$F_{14,1}$=0.62
15	8.0	$F_{15,1}$=0.67
16	11.9	$F_{16,1}$=0.99

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) คำนวณการปล่อยก๊าซฯ รูปแบบใช้สถานีขนถ่ายขยะ 2 ตำแหน่ง (กำหนดขึ้นเพิ่มเติม)

โซน	ระยะทาง (D_{ij}) (กม.)	ค่าแฟกเตอร์ระหว่างตำแหน่ง i กับ j (F_{ij}) (kg CO2 e/ตัน)
17	8.3	$F_{17,1}$=0.69
18	7.4	$F_{18,1}$=0.62
19	2.8	$F_{19,1}$=0.23
20	9.2	$F_{20,1}$=0.77
21	9.7	$F_{21,1}$=0.81
22	8.3	$F_{22,1}$=0.69
23	8.9	$F_{23,1}$=0.74
24	8.8	$F_{24,1}$0.73
25	9.6	$F_{25,1}$=0.80
26	11.0	$F_{26,1}$=0.92
27	9.8	$F_{27,1}$=0.82
28	7.6	$F_{28,1}$=0.63
29	8.3	$F_{29,1}$=0.69
30	10.2	$F_{38,1}$=0.85
31	10.5	$F_{31,1}$=0.87
32	10.3	$F_{32,1}$=0.86
33	8.8	$F_{33,1}$=0.73

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ นายวัชรพล จันทร์พวง

ภูมิลำเนา 22 หมู่ 1 ตำบล สากเหล็ก อำเภอ สากเหล็ก จังหวัด พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสากเหล็กวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kala4121@hotmail.com

ชื่อ นายวรรณวิศณ์ อ่ำทอง

ภูมิลำเนา 189 หมู่ 2 ตำบลบ้านกล้วย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: wannawit_umthong@hotmail.com