การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

วิทยานิพนธ์

ของ

จตุฤทธิ์ พรมศาลา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการสถิติ

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

วิทยานิพนธ์
ของ
จตุฤทธิ์ พรมศาลา

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการสถิติ
มิถุนายน 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development of Mathematical Model for Reverse Logistics Management: A Case Study of Plastic Recycling

Jaturit Promsala

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Statistical Management Science)

June 2023

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายจตุฤทธิ์ พรมศาลา แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการสถิติ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผศ. ดร. โรจนี หอมชาลี)

.....กรรมการ
(รศ. ดร. อรวิชญ์ กุมพล)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. มนชยา เจียงประดิษฐ์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการสถิติ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหุน ปณฺ ฑิโต ธีโร

ชื่อเรื่อง การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

ผู้วิจัย จตุฤทธิ์ พรมศาลา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โรจนี หอมชาลี

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิทยาการจัดการสถิติ

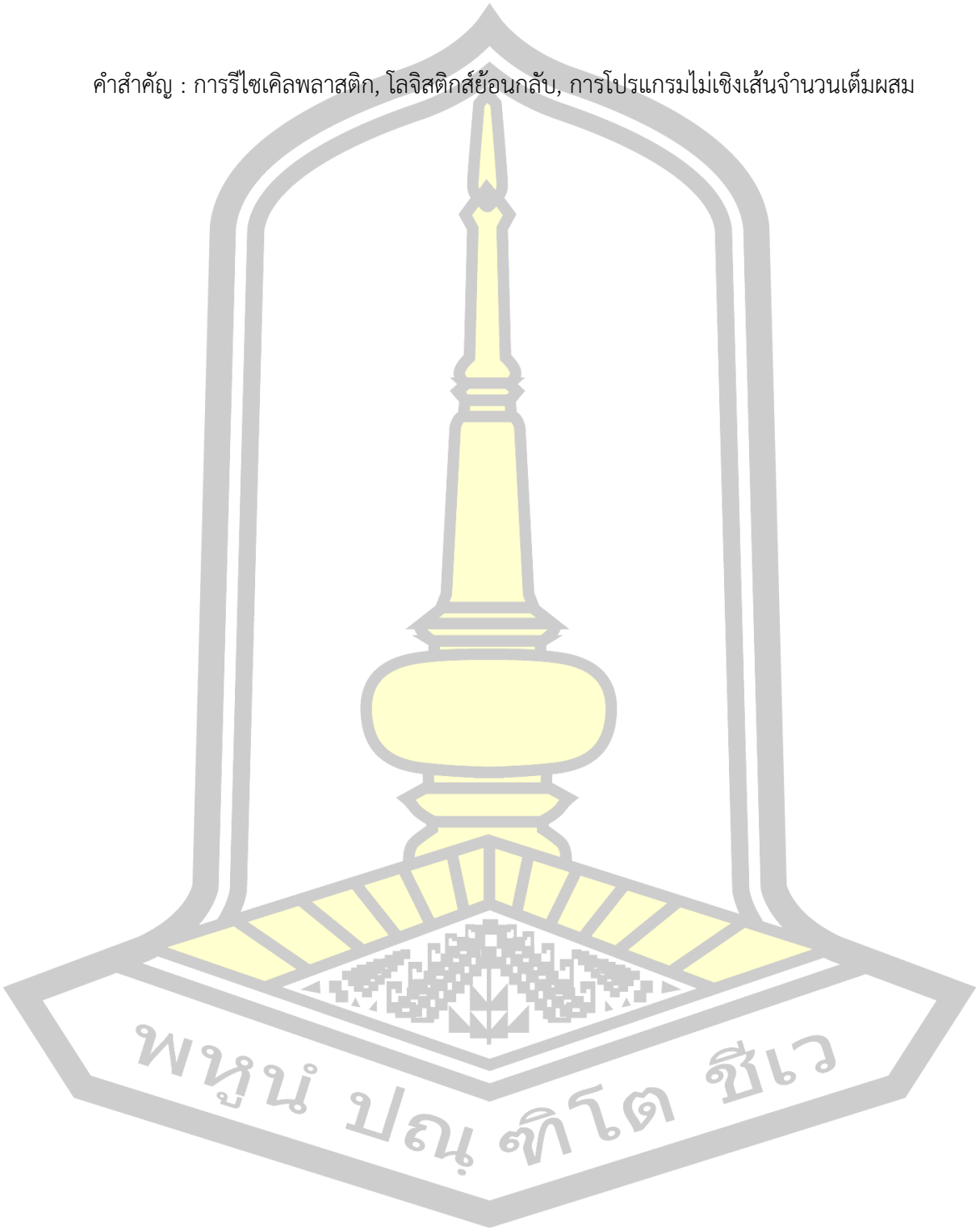
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก และหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของอำเภอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบขั้นตอน และพิจารณาจากแผนภาพเดนโดแกรม จะได้จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ 24 33 และ 60 กลุ่ม จากนั้นนำจำนวนกลุ่มที่ได้มาวิเคราะห์กลุ่มแบบเคมีน พบว่า แบบ K1 (24 กลุ่ม) ได้ตำแหน่งศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกกระจายอยู่ใน 14 จังหวัด แบบ K2 (33 กลุ่ม) ได้ตำแหน่งศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกกระจายอยู่ใน 17 จังหวัด และแบบ K3 (60 กลุ่ม) ได้ตำแหน่งศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกกระจายอยู่ใน 19 จังหวัด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกดังกล่าวไปเป็นตัวแปรตัดสินใจในการเปิดศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก ด้วยตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MINLP) รวมถึงการตัดสินใจเกี่ยวกับการไหลของขยะพลาสติกและการรีไซเคิลพลาสติกของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งจากการประมวลผลตัวแบบ MINLP ด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 ทั้ง 3 สถานการณ์ พบว่า สถานการณ์ K1 ใช้เวลาในการประมวลผล 72 วินาที ผลเฉลยมีการตัดสินใจเปิดศูนย์รวบรวม 24 แห่ง และมีปริมาณการรีไซเคิลพลาสติก 20.94 ล้านกิโลกรัม ด้วยต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 70.11 ล้านบาท และสถานการณ์ K2 ใช้เวลาในการประมวลผล 141 วินาที มีการตัดสินใจเปิดศูนย์รวบรวม 33 แห่ง และมีปริมาณการรีไซเคิลพลาสติก 13.16 ล้านกิโลกรัม ด้วยต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 39.01 ล้านบาท ส่วนสถานการณ์ K3 ใช้เวลานานมากและไม่สามารถประมวลผลด้วยตัวแบบ MINLP ได้ เนื่องจากปัญหามีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้วิเคราะห์ความไว โดยปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับความจุและจำนวนศูนย์รวบรวมทางเลือก พบว่า หากมีจำนวนศูนย์รวบรวมที่เปิดดำเนินการมาก จะใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่า มีปริมาณการรีไซเคิลพลาสติกน้อยกว่า และมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่า ตรงข้ามหากมีจำนวนศูนย์รวบรวมที่เปิดดำเนินการน้อย แม้จะมีต้นทุนโดยรวมมากกว่า แต่จะสามารถรีไซเคิลพลาสติกได้ในปริมาณมากกว่า ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สามารถนำมาประกอบการพิจารณาแนวทางในการ

จัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การรีไซเคิลพลาสติก, โลจิสติกส์ย้อนกลับ, การโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม



TITLE Development of Mathematical Model for Reverse Logistics Management:
A Case Study of Plastic Recycling

AUTHOR Jaturit Promsala

ADVISORS Assistant Professor Rojanee Homchalee , Ph.D.

DEGREE Master of Science **MAJOR** Statistical Management Science

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2023

ABSTRACT

The aim of this research is development of mathematical model for reverse logistics management: a case study of plastic recycling. First, the amount of plastic waste was analyzed, and the alternative locations for collecting the district's plastic waste in the Northeast were determined using hierarchical clustering technique. From the dendrogram, the appropriate number of clusters will be obtained at 3 levels: 24, 33 and 60 clusters. Next, these number of clusters were analyzed by K-means clustering. It was found that the scenario K1 (24 clusters) had the location of plastic waste collection centers distributed in 14 provinces, the scenario K2 (33 clusters) had the location of plastic waste collection centers distributed in 17 provinces, and the scenario K3 (60 clusters) had the location of plastic waste collection centers distributed in 19 provinces. These alternative locations were used as decision variables in operating a plastic waste collection center with the Mixed Integer Non-linear Programming Model (MINLP), including decisions about plastic waste flow and plastic recycling in the reverse logistics system, with the objective is to minimize the total cost. The MINLP was processing by LINGO 13.0 in all three scenarios. It was found that the scenario K1 took 72 seconds to process. The solutions have been decided to open 24 collection centers, and 20.94 million kilograms of plastic were recycled, with the minimize total cost of 70.11 million baht. The scenario K2 took 141 seconds to process, 33 collection centers

were decided to open, and 13.16 million kilograms of plastic were recycled, with the minimize total cost of 39.01 million baht. As for the scenario K3 took a very long time and could not be processed with the proposed MINLP models due to the large size of the problem. In addition, the sensitivity by varying parameters regarding the capacity and number of alternative collection centers was analyzed. It was found that if there are many collection centers operating, it will take longer time to process, less plastic recycling, with lower total cost. In contrast, if there are a small number of collection centers operating, despite having more total costs but will be able to recycle more plastic. The results of this research obtained can be used to effectively manage the reverse logistics of plastics in the Northeast.

Keyword : Plastic Recycling, Reverse Logistics, Mixed Integer Non-linear Programming

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โรจนี หอมชาลี อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้เสียสละเวลาอันมีค่ามาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และให้ความรู้เพิ่มเติม ช่วยตรวจสอบ และช่วยแก้ไขข้อพกพร่องต่างๆ จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์ รองศาตราจารย์ ดร.อรวิชญ์ กุมพล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนชยา เจียงประดิษฐ์ ที่ได้ร่วมให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการแก้ไขและพัฒนาวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัยระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรม LINGO 13.0 ในการประมวลผลข้อมูล

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยช่วยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดช่วงเวลาที่ทำงานวิจัยชิ้นนี้

จตุฤทธิ์ พรมศาลา

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล 5

2.1 อุตสาหกรรมการรีไซเคิลพลาสติก 5

2.1.1 การรีไซเคิลพลาสติก 5

2.1.2 เม็ดพลาสติกรีไซเคิล 6

2.2 การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม 9

2.2.1 ความหมายของการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม 9

2.2.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม 9

2.2.3 คุณสมบัติของเทคนิควิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม 10

2.2.4 ประเภทของเทคนิคการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม 11

2.2.5 เทคนิคการแบ่งกลุ่มแบบขั้นตอน....11
2.2.6 เทคนิคการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน....16
2.3 การวิเคราะห์โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน....19
2.3.1 ความหมายของโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน....19
2.3.2 ความหมายของการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน....20
2.4 โลจิสติกส์ย้อนกลับ....22
2.5 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์....26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....27
2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ....27
2.6.2 งานวิจัยในต่างประเทศ....29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย....31
3.1 การวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก....31
3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล....31
3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล....31
3.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติก....32
3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล....32
3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล....32
3.3 การออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก....32
3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล....32
3.3.2 การออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการรีไซเคิลพลาสติก....33
3.3.3 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก....34
บทที่ 4 ผลการวิจัย....36

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก และหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชน(อำเภอ) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 36
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก 36
4.1.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชน(อำเภอ) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 36
4.2 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 45
4.3 การประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ 49
4.3.1 ผลเฉลยของสถานการณ์ K1 50
4.3.2 ผลเฉลยของสถานการณ์ K2 55
4.3.3 ผลเฉลยของสถานการณ์ K3 59
4.3.4 ผลเฉลยจากการวิเคราะห์ความไว 59
บทที่ 5 สรุป และอภิปรายผลการวิจัย 64
5.1 สรุปผลการวิจัย 64
5.1.1 ผลการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก 64
5.1.2 ผลการพัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ 65
5.2 อภิปรายผลการวิจัย 67
5.3 ข้อเสนอแนะ 68
5.3.1 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย 68
5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป 68
บรรณานุกรม 69
บรรณานุกรม 69
ภาคผนวก 72
ประวัติผู้เขียน 84

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K1 38

ตารางที่ 2 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K2 40

ตารางที่ 3 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K3 42

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ MINLP สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ.....49

ตารางที่ 5 ผลเฉลยของสถานการณ์ K1 แสดงศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการ และปริมาณการกระจายขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะพลาสติก ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก 52

ตารางที่ 6 สรุปการกระจายขยะพลาสติกของสถานการณ์ K1 จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล.....53

ตารางที่ 7 ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลของสถานการณ์ K1 54

ตารางที่ 8 ผลเฉลยของสถานการณ์ K2 แสดงศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการ และปริมาณการกระจายขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะพลาสติก ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก 56

ตารางที่ 9 สรุปการกระจายขยะพลาสติกของสถานการณ์ K2 จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล.....57

ตารางที่ 10 ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลของสถานการณ์ K2.....58

ตารางที่ 11 ข้อมูลสถานการณ์สำหรับการวิเคราะห์ความไว.....59

ตารางที่ 12 ผลเฉลยของสถานการณ์ K4 แสดงศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการ และปริมาณการกระจายขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะพลาสติก ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก 61

ตารางที่ 13 สรุปการกระจายขยะพลาสติกของสถานการณ์ K4 จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล.....62

ตารางที่ 14 ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลของสถานการณ์ K4.....63

ตารางที่ 15 สรุปการประมวลผลตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบ MINLP.....66

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ.....72

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปภาพที่ 1 สัญลักษณ์ของพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ 8

รูปภาพที่ 2 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกที่ทำจากเศษพลาสติกเก่าที่ใช้งานแล้ว 8

รูปภาพที่ 3 เปรียบเทียบการไหลของวัตถุดิบในระบบโลจิสติกส์ และโลจิสติกส์ย้อนกลับ 23

รูปภาพที่ 4 โครงสร้างของกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับ 24

รูปภาพที่ 5 แนวคิดเค้าโครงของระบบการผลิตซ้ำ 25

รูปภาพที่ 6 การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ 26

รูปภาพที่ 7 โครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีการรีไซเคิลพลาสติก 33

รูปภาพที่ 8 แผนภาพเดนโดแกรม จากการวิเคราะห์ด้วย Hierarchical Clustering 37

รูปภาพที่ 9 แผนที่กลุ่มจากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K1 (จำนวน 24 กลุ่ม) 38

รูปภาพที่ 10 แผนที่กลุ่มจากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K2 (จำนวน 33 กลุ่ม) 40

รูปภาพที่ 11 แผนที่กลุ่มจากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K3 (จำนวน 60 กลุ่ม) 42

รูปภาพที่ 12 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 แบบ K1 (จำนวน 24 กลุ่ม) 51

รูปภาพที่ 13 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 แบบ K2 (จำนวน 33 กลุ่ม) 55

รูปภาพที่ 14 สรุปการวิเคราะห์ความไวของสถานการณ์ K4 60

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั่วประเทศ โดยใน พ.ศ. 2564 พบว่า มีปริมาณ 24.98 ล้านตัน ลดลงร้อยละ 1.54 จาก พ.ศ. 2563 ที่มีปริมาณ 25.37 ล้านตัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศมาประเทศไทยน้อยลง ในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.03 กิโลกรัม/คน/วัน ลดลงจาก พ.ศ. 2563 ที่มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 1.05 กิโลกรัม/คน/วัน และคิดเป็นขยะพลาสติกหลังการใช้งานประมาณ 2.76 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 11 ของปริมาณขยะทั้งหมด [1]

การจัดการขยะมูลฝอย ใน พ.ศ. 2564 พบว่า มีปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง 9.28 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 37 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.04 จาก พ.ศ. 2563 ที่มีปริมาณ 8.67 ล้านตัน ส่วนที่เหลือเป็นขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง 7.81 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 31 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด ลดลงร้อยละ 6.35 จาก พ.ศ. 2563 ที่มีปริมาณ 8.34 ล้านตัน ส่วนขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ 7.89 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 32 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด ลดลงร้อยละ 5.62 จาก พ.ศ. 2563 ที่มีปริมาณ 8.36 ล้านตัน ทั้งนี้ ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณขยะมูลฝอยถูกกำจัดอย่างไม่ถูกต้องและขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่มีปริมาณลดลง และเมื่อพิจารณาในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง พ.ศ. 2555-2562 และมีแนวโน้มลดลงใน พ.ศ. 2563-2564 [1]

จากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย โดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ปริมาณขยะในไทยยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปี 2564 มีกว่า 24.98 ล้านตัน ลดลงร้อยละ 1.54 จากปี 2563 อย่างไรก็ตาม การจัดการขยะมูลฝอยถือว่ามีแนวโน้มที่ดีขึ้น เช่น การรีไซเคิลขยะพลาสติก แต่ก็ยังมีขยะพลาสติกเพียง 5 แสนตันจาก 2 ล้านตันที่ถูกรีไซเคิล และยังมีขยะที่ถูกกำจัดอย่างไม่ถูกต้องถึงร้อยละ 27 ทำให้ขยะซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะพลาสติกจากบกปะปนสู่ทะเล และทำให้ส่งผลกระทบกับสิ่งมีชีวิตในทะเล ในส่วนของเสียอันตรายจากชุมชนก็เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.2 จากปี 2560 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และได้รับการจัดการอย่างถูกต้องเพียงร้อยละ 13 เท่านั้น นอกจากนี้ มีกากของเสียอุตสาหกรรมเข้าสู่ระบบการจัดการลดลงร้อยละ 33 ส่วนมากเป็น

กากอุตสาหกรรมที่ไม่เป็นอันตราย โดยได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยการเผาเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า [2]

กรมควบคุมมลพิษ ระบุว่า แม้การจัดการขยะอย่างถูกต้องจะเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เพียงพอ เพราะยังไม่มีกฎระเบียบการคัดแยกของเสียอันตรายออกจากขยะทั่วไป รวมถึงมีการลักลอบนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์และเศษพลาสติก ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงนำไปสู่การยกเลิกนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์ 422 รายการ รวมถึงยกเลิกการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใช้แล้ว ยกเว้นรายการที่กระทรวงอุตสาหกรรมเห็นชอบ และได้จัดทำโรดแมป (Roadmap) การจัดการขยะพลาสติกปี 2562-2570 โดยลดและเลิกใช้พลาสติก 7 ชนิด ภายในปี 2565 [2]

ปัจจุบันปัญหาขยะที่มาจากพลาสติกนั้น เป็นประเด็นที่สำคัญและหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ว่าการรีไซเคิลขยะพลาสติกในประเทศไทยมีอยู่น้อยมาก เพราะในการรีไซเคิลพลาสติกนั้น ต้องใช้เงินลงทุนในการสร้างโรงงานและการดำเนินการเป็นจำนวนมาก ดังนั้น พลาสติกที่ใช้แล้วจำนวนมากจึงไม่ได้ถูกนำมารีไซเคิลเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ พลาสติกส่วนใหญ่จึงถูกเผาเพื่อทำลายและปล่อยก๊าซพิษเข้าสู่บรรยากาศโลก หรือถูกส่งไปฝังดินตามแหล่งจัดเก็บขยะต่าง ๆ [3]

จากการศึกษาปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนในปี พ.ศ. 2555-2557 โดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9-12 ร่วมกับกรมควบคุมมลพิษ พบว่า พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 19,244.27 ตันต่อวัน โดยในพื้นที่สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 มีปริมาณขยะมูลฝอยมากที่สุด 6,482.26 ตันต่อวัน รองลงมา คือ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 10 จำนวน 5,205.53 ตันต่อวัน สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 จำนวน 4,757.80 ตันต่อวัน และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12 จำนวน 2,798.68 ตันต่อวัน ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด นำไปกำจัดถูกหลักสุขาภิบาลเพียง 2,533 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 13.16 [4]

จากที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหาของปริมาณขยะพลาสติกรีไซเคิลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจึงควรที่จะได้รับการแก้ไข จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับของ ศิริชัย สมศรี [3] ที่ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลที่ตั้งของทุกจังหวัดที่ใช้ทำการวิเคราะห์ในการสร้างบ่อฝังกลบ การเปิดโรงงานเก็บรวบรวมและคัดแยกขยะ และเปิดโรงงานรีไซเคิล รวมทั้งความสามารถในการรองรับปริมาณขยะ ปริมาณขยะของโรงงานจัดเก็บที่รองรับได้ และความสามารถในการแปรรูปพลาสติกเป็นน้ำมันดิบของโรงงานรีไซเคิล และต้นทุนที่ใช้ในด้านการขนส่ง ต้นทุนการดำเนินการของบ่อฝังกลบ ต้นทุนการดำเนินการของโรงงานที่ใช้ในการเก็บรวบรวม ต้นทุนการดำเนินการของโรงงานรีไซเคิล เป็นต้น

นอกจากการจัดการขยะพลาสติกด้วยวิธีการข้างต้นแล้ว ขยะพลาสติกยังสามารถนำมารีไซเคิลเป็นเม็ดพลาสติก เพื่อนำกลับมาใช้ได้ ดังนั้น สิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการเพื่อให้สามารถที่จะนำมาแก้ไขปัญหาของปริมาณขยะพลาสติกรีไซเคิลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ด้วยระบบการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ และสามารถกำหนดตำแหน่งที่ตั้งศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกได้อย่างเหมาะสม เพื่อจัดการกับปริมาณขยะพลาสติกเหลือใช้ในชุมชน ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Non-linear Programming: MINLP) สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด และกำหนดตำแหน่งที่ตั้งศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากปริมาณขยะที่มาจากพลาสติกนั้นมีจำนวนมาก และผลที่ได้จากการวิจัยจะนำไปสู่แนวทางในการจัดการขยะพลาสติกที่เหมาะสม เพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกและส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์จากการรีไซเคิลพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก และหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.2.2 เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับพลาสติกรีไซเคิลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ขอบเขตความเชื่อมโยงระหว่าง ชุมชน (อำเภอ) ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และโรงงานรีไซเคิลพลาสติก

1.3.2 วิเคราะห์การรวบรวมและขนส่งขยะพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยรูปแบบการขนส่งทางถนน

พหุน ปณฺฑิโต ชีเร

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 โลจิสติกส์ย้อนกลับ คือ กระบวนการในการนำสินค้าที่ด้อยคุณภาพ หรือผ่านการใช้งานแล้วจากผู้บริโภค กลับคืนสู่ผู้ผลิต โดยอาศัยระบบการจัดการอย่างเป็นระบบ

1.4.2 การรีไซเคิลพลาสติก คือ การนำวัสดุจากพลาสติกที่เหลือใช้หรือใช้แล้ว นำกลับมาแปรสภาพนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตใหม่

1.4.3 เม็ดพลาสติกรีไซเคิล คือ พลาสติกรีไซเคิลที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ จนกลายเป็นเม็ดพลาสติกที่มีขนาดเล็ก ก่อนจะถูกนำไปขึ้นรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้เข้าใจระบบการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และสามารถนำไปเป็นแนวทางในการจัดการพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสม

1.5.2 ได้รูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกรีไซเคิลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการกับปริมาณขยะพลาสติกในอนาคต

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก ผู้วิจัยรวบรวมเนื้อหาของแนวคิดและทฤษฎี รวมทั้งผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดกรอบแนวความคิดการวิจัย ได้แก่ อุตสาหกรรมการรีไซเคิลพลาสติก การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม (Cluster Analysis) การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistics and Supply Chain Management) โลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมการรีไซเคิลพลาสติก

2.1.1 การรีไซเคิลพลาสติก

อุตสาหกรรมรีไซเคิลพลาสติกมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจไทย เนื่องจาก มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ผลิตวัตถุดิบป้อนโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก หรืออุตสาหกรรมต่อเนื่องหลากหลายประเภท อาทิ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อาหารแปรรูป ชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องแต่งกาย เครื่องเรือน วัสดุก่อสร้าง ฯลฯ ที่ต้องใช้พลาสติกเป็นส่วนประกอบในการผลิต

ผลิตภัณฑ์พลาสติก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยธรรมชาติ เมื่อไม่สามารถทำลายได้ จึงทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเกิดความสิ้นเปลืองในการใช้วัตถุดิบ ดังนั้น การนำวัสดุจากพลาสติกที่เหลือใช้ หรือใช้แล้วนำกลับมาแปรสภาพแล้วนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตใหม่ จึงก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกทางหนึ่งด้วย ปัจจุบันมีโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากเม็ดพลาสติกที่ได้จากเศษพลาสติกที่ใช้งานแล้วเป็นจำนวนมากเพื่อลดต้นทุนและจำหน่ายสินค้าได้ในราคาถูก [5]

2.1.2 เม็ดพลาสติกรีไซเคิล

อุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลถือเป็นอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นปลายซึ่งต่อเนื่องมาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นและขั้นกลาง โดยมีความสัมพันธ์กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์และอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

กระบวนการในการรีไซเคิลพลาสติกเริ่มต้นด้วยการแยกพลาสติกชนิดต่าง ๆ ออกจากกัน ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกต่างชนิดกันมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น ความแข็ง ความนิ่ม ความใส ซึ่งเมื่อพลาสติกแต่ละชนิดถูกแยกออกจากกันแล้วก็จะถูกบีบให้แบนแล้วมัดรวมกันเป็นก้อนเพื่อทำการคัดแยก เพื่อส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่โรงงานพลาสติกแต่ละชนิด ซึ่งในขั้นตอนดังกล่าวนี้พลาสติกจะถูกนำมาบดให้เป็นชิ้นเล็ก จากนั้น จะทำการล้างทำความสะอาดในบ่อน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งในขั้นตอนการล้างนี้ฝุ่นและสิ่งสกปรกจะถูกกำจัดออกไป หลังจากนั้นชิ้นพลาสติกจะถูกทำให้แห้งโดยการตากแดดหรือใช้อากาศร้อน ซึ่งในขั้นตอนนี้ ป้ายกระดาษ หรือฟิล์มต่าง ๆ ที่ติดมากับชิ้นพลาสติกจะถูกเป่าแยกออกจากตัวพลาสติก จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการหลอมชิ้นพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด (Extruder) ออกมาเป็นเส้นยาว ก่อนตัดให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ แล้วทำการบรรจุลงกล่อง เพื่อส่งไปยังโรงงานขึ้นรูปพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ แต่ทว่าหากการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้งหมด ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้จะมีสมบัติทางกายภาพลดลงไปบ้าง ดังนั้น ในบางครั้งโรงงานจะนำเม็ดพลาสติกใหม่มาผสมเพิ่มเติม ทั้งนี้ การผสมพลาสติกดังกล่าวก็เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีขึ้น ซึ่งตัวอย่างของพลาสติกรีไซเคิลได้จะเรียงตามตัวเลขระบุที่ใต้ขวดหรือภาชนะ ดังนี้ [5]

1) โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET, PETE) ใช้ทำขวดบรรจุน้ำดื่ม ขวดบรรจุของดอง ขวดแยม ขวดน้ำมันพืช ถาดอาหารสำหรับเตาอบ และเครื่องสำอาง สามารถนำมารีไซเคิลเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว ใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน ถุงหูหิ้ว กระเป๋าหรือขวดต่าง ๆ

2) โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) ใช้ทำขวดนม น้ำผลไม้ โยเกิร์ต บรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว สามารถนำมารีไซเคิลเป็นขวดใส่น้ำยาซักผ้า ขวดน้ำมันเครื่อง ท่อ ลังพลาสติก ไม้เทียมเพื่อใช้ทำรั้วหรือม้านั่ง

3) โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) ใช้ทำท่อน้ำประปา สายยางใส แผ่นฟิล์ม สำหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดใส่แชมพูสระผม บานประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม ซึ่งจะสามารถนำมารีไซเคิลเป็นท่อน้ำประปาหรือรางน้ำ สำหรับการเกษตร กรวยจราจร เฟอร์นิเจอร์ ม้านั่งพลาสติก ตลับเทป เคเบิล แผ่นไม้เทียม

4) โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: LDPE) ใช้ทำฟิล์มห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง ถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร ซึ่งจะสามารถนำมารีไซเคิลเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว ถังขยะ กระเบื้องปูพื้น เฟอร์นิเจอร์ แท่งไม้เทียม

5) โพลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ชาม จาน ถังตะกร้า กระบอกใส่น้ำแช่เย็น ขวดซอส แก้วโยเกิร์ต ขวดบรรจุยา ซึ่งสามารถนำมารีไซเคิลเป็นกล่องแบตเตอรี่ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชนและกรวยสำหรับน้ำมัน ไฟท้าย ไม้กวาดพลาสติกแปรง

6) โพลิสไตรีน (Polystyrene: PS) ใช้ทำภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สำลีหรือของแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยอง และคุกกี้ นอกจากนั้น ยังนำมาทำโฟมใส่อาหาร ซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวที่มีน้ำหนักเบามาก สามารถนำมารีไซเคิลเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวิดีโอ ไม้บรรทัด กล่องดินสอ กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ แผงสวิตช์ไฟ ฉนวนความร้อน ถาดใส่ไข่ เครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ

7) พลาสติกชนิดอื่นที่ไม่ใช่พลาสติกทั้ง 6 กลุ่มข้างต้น หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกหลากหลายชนิดผสมกันเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพ

ในขั้นตอนของการบดพลาสติกเพื่อให้มีขนาดเล็กลงนั้น เพื่อไม่ให้พลาสติกดังกล่าวไปอุดตันในกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งการบดพลาสติกจะทำให้พลาสติกรีไซเคิลมีสมบัติความแข็งแรงทางกายภาพลดลง เนื่องจากแรงเฉือนเชิงกล (Mechanical Shear) ในเครื่องบดนี้ไปทำลายโซ่ของโพลิเมอร์ให้แตกออก ทำให้ความยาวของโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลลดลงซึ่งจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกลดลง นอกจากนั้น เรื่องของความบริสุทธิ์ก็มีความสำคัญต่อสมบัติของพลาสติกแต่ละชนิดในการเลือกเพื่อที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เนื่องจากการที่คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกันมากตามลักษณะของโครงสร้างโมเลกุล เพื่อการนำไปใช้งานที่หลากหลาย ในขณะที่พลาสติกบางชนิดนั้นไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลให้เป็นพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Thermosetting) ซึ่งหากกระบวนการที่ใช้ทำการแยกพลาสติกนั้นไม่ดีพอ อาจทำให้ไม่ได้พลาสติกรีไซเคิลที่บริสุทธิ์ ซึ่งสัญลักษณ์ของพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้ง 7 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้นจะระบุไว้ที่ก้นของภาชนะ ดังรูปภาพที่ 1

รูปภาพที่ 1 สัญลักษณ์ของพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้

ที่มา: [6]

PET ใส	HDPE เขียว	HDPE แดง
PVC ดำ	LDPE ขาว	PP ฟ้า
PS ขาว	ABS เทา	HIPS เทา

รูปภาพที่ 2 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกที่ทำจากเศษพลาสติกเก่าที่ใช้งานแล้ว

ที่มา: [5]

2.2 การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

2.2.1 ความหมายของการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม (Cluster Analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้จำแนกหรือแบ่งกลุ่ม (Case) หมายถึง คน สัตว์ สิ่งของ หรือ องค์กร ฯลฯ หรือแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป [7]

Case ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน ส่วน Case ที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้น การพิจารณาเลือกลักษณะหรือตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่ม Case จึงมีความสำคัญ นอกจากนั้น Case ใด Case หนึ่งจะต้องอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว

ถ้านำเทคนิคการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มมาใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวแปร จะให้ตัวแปรอยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ส่วนใหญ่การแบ่งกลุ่มตัวแปรจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) ส่วนการแบ่งกลุ่ม Case (คน สัตว์ สิ่งของ) จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

2.2.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

เทคนิควิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญอยู่ 2 ประการ คือ การจัดกลุ่มหน่วยวิเคราะห์ การจัดกลุ่มตัวแปร ซึ่งมีความสอดคล้องกับ กัลยา วานิชย์บัญชา [7] และสามารถกล่าวโดยรวม คือ เพื่อจัดกลุ่ม Case ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น การตลาด การแพทย์ การปกครอง ฯลฯ ดังตัวอย่างต่อไปนี้ [8]

ตัวอย่างที่ 1 ใช้ศึกษาพฤติกรรมการบริโภคของกลุ่มผู้บริโภคที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ซึ่งจะทำให้สามารถวางกลยุทธ์ทางการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การที่จะสามารถแยกกลุ่มผู้บริโภคออกเป็นกลุ่มย่อยได้ จะต้องพิจารณาถึงตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มผู้บริโภค ที่จะทำให้ผู้ที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีพฤติกรรมการบริโภคที่แตกต่างกัน ตัวแปรอาจจะประกอบด้วยอาชีพ อายุ รายได้ เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 2 ใช้วางแผนเพื่อการทดสอบตลาด เช่น อาจจะมีการแบ่งกลุ่มพื้นที่หรือจังหวัดโดยรวมพื้นที่ หรือจังหวัดที่คล้ายกันไว้ด้วยกัน เพื่อจะได้กำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดที่แตกต่างกันสำหรับพื้นที่ที่อยู่ที่ต่างกลุ่มกัน สำหรับตัวแปรที่ควรนำมาพิจารณาในการแบ่งกลุ่มอาจจะเป็นจำนวนประชากร รายได้เฉลี่ย อาชีพของคนในพื้นที่ พฤติกรรม ทัศนคติของคนในพื้นที่ เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 3 การแบ่งกลุ่มประเทศ อาจใช้ดัชนีทางด้านสาธารณสุข เป็นตัวแปร ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม เช่น จำนวนแพทย์ เภสัชกร พยาบาล จำนวนเตียงในโรงพยาบาล สัดส่วนของไขมัน และแป้งในอาหาร ในกรณีนี้ 1 Case คือ 1 ประเทศ โดยให้ประเทศที่มีระบบสาธารณสุขคล้ายกันอยู่กลุ่มเดียวกัน ถ้าประเทศที่มีระบบสาธารณสุขต่างกันจะอยู่ต่างกลุ่มกัน

จากตัวอย่างที่ 1 และ 2 ข้างต้น จะพบว่าการเลือกตัวแปรเพื่อนำมาใช้แบ่งกลุ่ม Case มีความสำคัญมาก เพราะถ้าผู้วิจัยเลือกตัวแปรที่ไม่ได้ทำให้ Case แตกต่างกันแล้ว จะทำให้ไม่สามารถแบ่งกลุ่มได้ถูกต้อง การเลือกจะต้องพิจารณาว่าตัวแปรใดบ้างที่มีอิทธิพลทำให้เกิดความแตกต่าง ในตัวอย่างที่ 2 การแบ่งกลุ่มจังหวัด ถ้าไม่ได้นำตัวแปร จำนวนประชากร รายได้ อาชีพ เข้ามาพิจารณาแบ่งกลุ่ม ก็อาจไม่สามารถสร้างเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มได้ถูกต้อง

และเมื่อแบ่ง Case เป็นกลุ่มย่อยแล้ว จะสามารถศึกษาถึง Profile หรือลักษณะของกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มได้ เพื่อนำมาใช้วางแผนด้านการตลาดต่อไป (กรณีที่เป็นเรื่องการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค) เมื่อใช้จัดกลุ่มตัวแปร การจัดกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ด้วยกัน จะเป็นการลดจำนวนข้อมูลที่มีจำนวนมากให้น้อยลง ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ เช่น เดิมมี 100 Case 20 ตัวแปร รวมข้อมูลทั้งหมด 2,000 ค่า (100 × 20) แต่ถ้าจัดกลุ่มตัวแปร 20 ตัว เหลือเพียง 3 กลุ่ม จะทำให้ข้อมูลลดลงเหลือเพียง 300 ค่า (3 × 100) [7]

นอกจากนั้น การจัดกลุ่มตัวแปรทำให้ทราบว่าตัวแปรใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กัน การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรบางตัวย่อมมีผลกระทบต่อตัวแปรอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรดังกล่าว [7]

2.2.3 คุณสมบัติของเทคนิควิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

คุณสมบัติของเทคนิควิธีการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม มีรายละเอียดดังนี้ [8]

1) ความต้องการทางด้านข้อมูล สำหรับการวิเคราะห์จัดกลุ่มหน่วยวิเคราะห์ ผู้วิจัยอาจใช้ข้อมูลที่ระบุหน่วยวิเคราะห์และตัวแปรตามที่จัดเก็บมาได้เลย เช่น การวิเคราะห์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนการวิเคราะห์จัดกลุ่มตัวแปร ผู้วิจัยไม่อาจจะใช้แฟ้มข้อมูลดังกล่าวได้ โดยใช้เมตริกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแทนได้

2) แนวคิดพื้นฐาน สิ่งสำคัญที่สุดของการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่ม คือ ตัวแปรที่ใช้หากผู้วิจัยไม่ได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรที่สำคัญ ๆ ผลที่ได้ก็จะไม่ดีหรือทำให้ไขว้เขวได้ ทั้งนี้เพราะตัวแปรที่เลือกไว้ตั้งแต่แรกจะเป็นสิ่งที่กำหนดคุณสมบัติของสิ่งที่ระบุความเป็นกลุ่มย่อย เช่น ในการจัดกลุ่มโรงเรียนในเมือง หากผู้วิจัยไม่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนนักเรียนและครู ขนาดของโรงเรียนก็ไม่อาจเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มได้

3) ความคล้ายกันของหน่วย ความคิดเกี่ยวกับความคล้ายของหน่วยศึกษา เป็นเทคนิคของการวิเคราะห์ทางสถิติหลายวิธี โดยทั่วไปการวัดความคล้ายจะพิจารณาจากความห่างระหว่างวัตถุหรือพิจารณาจากความคล้ายกัน ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

4) การวัดความห่าง วิธีการวัดความห่างสามารถวัดได้หลายวิธี เช่น การวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidean Distance) การวัดระยะแบบยุคลิดยกกำลังสอง (Squared Euclidean Distance) การวัดระยะแบบแมนฮัตตัน (Manhattan Distance) การวัดระยะแบบเชบิเชฟ (Chebyshev Distance) และวิธีที่นิยมวัดกันมากก็คือ การวัดระยะแบบยูคลิดยกกำลังสอง (Squared Euclidean Distance)

2.2.4 ประเภทของเทคนิคการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม

เทคนิคการวิเคราะห์แบ่งกลุ่ม แบ่งเป็นหลายประเภทหรือเทคนิคย่อย โดยเทคนิคที่ใช้กันมากมี 2 เทคนิค คือ [7]

1) เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Clustering)

2) เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบเคมีน (K-Means Clustering)

นอกจากนี้ ยังมีเทคนิค 2 Step Cluster Analysis และเทคนิคต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์ และวิธีการที่แตกต่างกัน

2.2.5 เทคนิคการแบ่งกลุ่มแบบขั้นตอน

เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Clustering) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการแบ่งกลุ่ม Case หรือแบ่งกลุ่มตัวแปร มีเงื่อนไขดังนี้ [7]

1) ในกรณีที่ใช้ในการแบ่ง Case นั้น จำนวน Case ต้องไม่มากนัก (จำนวน Case ควรต่ำกว่า 200 ถ้าตั้งแต่ 200 ขึ้นไปใช้ K-Means Clustering) และจำนวนตัวแปรต้องไม่มากเช่นกัน

2) ไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มมาก่อน

3) ไม่จำเป็นต้องทราบว่าตัวแปรใดหรือ Case ใดอยู่กลุ่มใดก่อน

เทคนิค Hierarchical Clustering แบ่งเป็น 2 เทคนิคย่อยคือ

2.2.5.1 Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis

วิธีนี้เริ่มต้นจะสมมติว่ามี n กลุ่มย่อย สิ่งของ หรือ item ที่มีระยะสั้นที่สุด หรือคล้ายกันมากที่สุดจะรวมเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มก่อน จึงเหลือ $n-1$ กลุ่มย่อย จากนั้นหาระยะทางหรือความคล้ายจาก $n-1$ กลุ่มย่อยใหม่ แล้วดูว่ากลุ่มย่อยใดมีระยะทางสั้นที่สุด หรือคล้ายกันมากที่สุดก็รวมกลุ่มย่อยนั้นเข้าด้วยกัน ทำต่อไปให้เหลือเพียง 1 กลุ่ม ซึ่งประกอบด้วยสิ่งของ n สิ่ง ใน Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis จะมีวิธีที่เรียกว่า Linkage Method ที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปมี 3 วิธีคือ การจัดกลุ่มวิธี Single Linkage ได้มาจากระยะทางที่สั้นที่สุด วิธี Complete Linkage ได้มาจากระยะทางที่ยาวที่สุด และวิธี Average Distance ได้จากระยะทางเฉลี่ย

ขั้นตอนของเทคนิค Hierarchical Clustering สำหรับการแบ่งกลุ่ม มี 3 ขั้นตอนดังรายละเอียดต่อไปนี้ [9]

ขั้นที่ 1 เลือกตัวแปรหรือปัจจัยที่คาดว่ามีอิทธิพลที่ทำให้ Case ต่างกัน นั่นคือตัวแปรนั้นจะทำให้สามารถแบ่งกลุ่ม Case ได้ชัดเจน

ขั้นที่ 2 เลือกวิธีการวัดระยะห่างระหว่าง Case แต่ละคู่ หรือเลือกวิธีการคำนวณเพื่อวัดค่าความคล้ายของ Case แต่ละคู่ ซึ่งจะกล่าวถึงแต่ละวิธีในหัวข้อต่อไป

ขั้นที่ 3 เลือกหลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่ม หรือรวม Cluster

การวัดความคล้าย (Similarity Measure) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงหลักเกณฑ์ของเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน ว่าจะใช้ในการจัด Case ที่คล้ายกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน หรือจัดกลุ่มตัวแปรที่สัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มเดียวกัน นั่นคือ จะมีการวัดความคล้ายกันของ Case ทีละคู่ ในกรณีที่เป็นการจัดกลุ่ม Case ส่วนการจัดกลุ่มตัวแปร การวัดความคล้ายจะเป็นการวัดความคล้ายของตัวแปรแต่ละคู่ คือ การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เมื่อต้องการจัดกลุ่ม Case จะต้องหาความคล้ายของ Case ถึง ${}^{n}C_{2}$ คู่ เมื่อมีข้อมูลจำนวน Case เท่ากับ n แต่ถ้าต้องการจัดกลุ่มตัวแปรจะต้องหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทีละคู่รวมถึง ${}^{k}C_{2}$ คู่ เมื่อมีตัวแปร k ตัว การวัดความคล้ายของ Case แต่ละคู่อาจจะวัดด้วยระยะห่าง (Distance) หรือวัดด้วยค่าความคล้าย (Similarity) แต่การวัดความสัมพันธ์ของตัวแปรจะวัดด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) สำหรับวิธีการคำนวณระยะห่าง หรือค่าความคล้ายของ Case แต่ละคู่ จะแตกต่างกันเมื่อชนิดของข้อมูลต่างกัน ซึ่งชนิดของข้อมูลหรือตัวแปรที่สามารถใช้เทคนิค Hierarchical Cluster ได้ มี 3 ประเภท คือ[9]

1) ข้อมูลเป็นสเกลอันตรภาค (Interval Scale) หรือสเกลอัตราส่วน (Ratio Scale)

2) ข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่ (Count Data)

3) ข้อมูลอยู่ในรูป Binary นั่นคือ มีได้ 2 ค่า คือ 0 กับ 1

กรณีที่วัดความคล้ายด้วยระยะห่าง ถ้าระยะห่างระหว่าง Case คู่ใดต่ำ แสดงว่า Case คู่นั้นอยู่ใกล้กัน หรือมีความคล้ายกัน ควรจะจัดให้อยู่ในกลุ่มหรือ Cluster เดียวกัน สำหรับวิธีการคำนวณจะขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลทั้ง 3 ชนิดข้างต้น

กรณีที่วัดความคล้ายด้วยของ Case ถ้าค่าความคล้ายของ Case คู่ใดมีค่ามากแสดงว่า Case คู่นั้นคล้ายกันมาก จึงควรจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน การคำนวณค่าความคล้ายจะแตกต่างกันถ้าชนิดของข้อมูลแตกต่างกัน

กรณีที่วัดความคล้ายของตัวแปรด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ถ้าตัวแปรคู่ใด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มาก แสดงว่าคู่นั้นสัมพันธ์กันมากควรจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน [9]

วิธีการวัดความคล้าย มีหลายวิธี เช่น

1) Squared Euclidean Distance เป็นมาตรวัดความห่าง โดยใช้ผลรวมกำลังสองของผลต่างระหว่างข้อมูลแต่ละจุดของตัวแปร วิธีการนี้นิยมใช้กันมาก โดยฉพาะใช้กับข้อมูลลักษณะปริมาณซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.1)

$$d_i(p,q) = \sum_{i=1}^{n}(p_i - q_i)^2 \qquad (2.1)$$

โดยที่ $d_i(p,q)$ คือ ระยะทางจากจุด p ไปยังจุด q วัดในแบบ Squared Euclidean

p_i, q_i คือ จุดใด ๆ

n คือ จำนวนมิติของข้อมูล

2) Euclidean Distance เป็นมาตรวัดระยะพื้นฐานใช้สำหรับหาระยะทางระหว่างจุดสองจุด เป็นที่นิยมใช้ในงานประเภทต่าง ๆ เป็นอย่างมาก เพราะง่ายต่อความเข้าใจ และลักษณะการคำนวณที่คล้ายกับทฤษฎีบทพีทาโกรัส ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.2)

$$d_i(p,q) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i - q_i)^2} \qquad (2.2)$$

โดยที่ $d_i(p,q)$ คือ ระยะทางจากจุด p ไปยังจุด q วัดในแบบ Euclidean

p_i, q_i คือ จุดใด ๆ

n คือ จำนวนมิติของข้อมูล

3) Manhattan Distance เป็นมาตรวัดระยะทางที่มีลักษณะการวัดแบบทางเดินรถโดยระยะทางเป็นผลรวมด้านประกอบของ Euclidean Distance ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.3)

$$d_i(p,q) = \sum_{i=1}^{n}|p_i - q_i| \qquad (2.3)$$

โดยที่ $d_i(p,q)$ คือ ระยะทางจากจุด p ไปยังจุด q วัดในแบบ Manhattan

p_i, q_i คือ จุดใด ๆ

n คือ จำนวนมิติของข้อมูล

หลักการการรวมกลุ่ม (Methods for Combining Cluster) สำหรับหลักการในการรวมกลุ่มของเทคนิค Hierarchical Clustering นั้นมีหลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ คือ Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis หรือในโปรแกรม SPSS เรียกว่า Agglomerative Schedule ซึ่งหลักการเกณฑ์ของ Agglomerative Schedule จะทำการรวมกลุ่ม Cluster อย่างเป็นขั้นตอนดังนี้ [7]

ก่อนทำการวิเคราะห์จะกำหนดให้ 1 กลุ่ม หรือ 1 Cluster มี Case 1 Case นั่นคือถือว่าแต่ละ Case เป็น 1 Cluster จึงมีจำนวน Cluster เท่ากับจำนวนข้อมูลหรือจำนวน Case กรณีที่มีจำนวนข้อมูล n Cases จะมี n Clusters หรือ n กลุ่ม

ขั้นที่ 1: รวม 2 Cases ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือ Cluster เดียวกัน โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างหรือค่าความคล้าย

ขั้นที่ 2: พิจารณาว่าควรจะรวม Case ที่ 3 เข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกับ 2 Cases แรก หรือควรจะรวม 2 Cases ใหม่เข้าอยู่ในกลุ่มใหม่อีกกลุ่มหนึ่ง โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างหรือค่าความคล้าย

ทำขั้นที่ 3, 4, ... โดยใช้เกณฑ์เดียวกับขั้นที่ 2 นั่นคือ ในแต่ละขั้นอาจจะรวม Case ใหม่เข้าไปในกลุ่มที่มีอยู่แล้ว หรือรวม Case ใหม่ 2 Cases เป็นกลุ่มใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ ทุก Case อยู่ในกลุ่มเดียวกัน นั่นคือ สุดท้ายมีเพียง 1 กลุ่มหรือ 1 Cluster และ Case ใดที่ถูกจัดกลุ่มแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

หลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่ม ในแต่ละขั้นตอนข้างต้นมีหลายวิธี ในที่นี่จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่มีในโปรแกรม SPSS ซึ่งจะปรากฏในคำสั่ง Method ดังนี้ [7]

1) Between-groups Linkage หรือเรียกว่าวิธี Average Linkage Between Groups หรือเรียกว่า UPGMA (Unweightede Pair-Group Method Using Arithmetic Average) วิธีนี้จะคำนวณหาระยะห่างเฉลี่ยของทุกคู่ของ Case โดยที่ Case หนึ่งอยู่ใน Cluster ที่ i ส่วนอีก Case หนึ่งอยู่ใน Cluster ที่ j, $i \neq j$ ถ้า Cluster ที่ i มีระยะห่างเฉลี่ยจาก Cluster ที่ j สั้นกว่าระยะห่างจาก Cluster อื่น จะนำ Cluster ที่ i และ j รวมเป็น Cluster เดียวกัน

2) Within-group Linkage Technique หรือเรียกว่า Average Linkage Within Groups Method วิธีนี้จะรวม Cluster เข้าด้วยกันถ้าระยะห่างเฉลี่ยระหว่างทุก Case ใน Cluster นั้น ๆ มีค่าน้อยที่สุด

3) Nearest Neighbor หรือเรียกว่า Single Linkage วิธีนี้จะรวม 2 Clusters เข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะห่างที่สั้นที่สุด

d_{ik} เป็นระยะห่างที่สั้นที่สุดของ Cluster i และ k

d_{ij} เป็นระยะห่างที่สั้นที่สุดของ Cluster i และ j

ถ้า $d_{ij} < d_{ik}$ จะรวม Cluster ที่ i และ j เข้าเป็น Cluster เดียวกัน

4) Furthest Neighbor Technique หรือเรียกว่า Complete Linkage วิธีนี้จะรวม 2 Clusters เข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะห่างที่ยาวที่สุด

d_{ik} = ระยะห่างที่ยาวที่สุดของ Cluster ที่ i และ k

d_{ij} = ระยะห่างที่ยาวที่สุดของ Cluster ที่ i และ j

ถ้า $d_{ij} < d_{ik}$ จะรวม Cluster ที่ i และ j เข้าเป็น Cluster เดียวกัน

5) Centroid Clustering วิธีนี้จะรวม 2 Clusters เข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะห่างของจุดกลางของ Cluster (กลุ่ม) วิธีการนี้จะคำนวณหาระยะห่างระหว่าง Centroid ของ Cluster ทีละคู่ โดยจะเรียกว่าค่าเฉลี่ย หรือค่ากลางของแต่ละ Cluster ว่า Centroid ของ Cluster เนื่องจากการจัดกลุ่ม Case จะพิจารณาจากตัวแปรหลาย ๆ ตัวพร้อม ๆ กัน จึงเรียกค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยว่า Centroid ถ้าระยะห่างระหว่าง Centroid ของ Cluster คู่ใดต่ำจะรวม Cluster คู่นั้นเข้าเป็น Cluster เดียวกัน

6) Median Clustering วิธีนี้จะรวม 2 Clusters เข้าด้วยกัน โดยให้แต่ละ Cluster สำคัญเท่ากัน ในขณะที่วิธีของ Centroid Clustering จะให้ความสำคัญแก่ Cluster ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า Cluster ที่มีขนาดเล็ก Median Clustering จะใช้ค่า Median เป็นค่ากลางของ Centroid ถ้าระยะห่างระหว่างค่า Median ของ Clustering คู่ใดต่ำจะรวม Cluster คู่นั้นเข้าด้วยกัน

7) Ward's Method หลักการของวิธีนี้จะพิจารณาจากค่า Sum of the Squared Within-cluster Distance โดยจะรวม Cluster ที่ทำให้ค่า Sum of Square Within-cluster Distance เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด โดยค่า Square Within-cluster Distance คือค่า Square Euclidean Distance ของแต่ละ Case กับ Cluster Mean

การพิจารณาเลือกจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ผลลัพธ์ของเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน ไม่ได้ให้ค่าสถิติ หรือผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อให้ตัดสินใจหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม ผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาความเหมาะสมเอง โดยอาจใช้ระยะห่าง หรือความคล้าย โดยใช้ เดนโดรแกรม (Dendrogram) ซึ่งผู้วิเคราะห์จะสามารถพิจารณาจำนวนกลุ่มจากเดนโดรแกรม โดยการกำหนดระยะห่าง หรือความคล้ายเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ [7]

1) การใช้ Dendrogram ถ้ากำหนดระยะห่างระหว่างกลุ่มเป็นหน่วยที่แตกต่างกันไปก็จะได้จำนวน Cluster ที่แตกต่างกันไป คือ ระยะห่างยิ่งมาก จำนวน Cluster ก็จะเพิ่มขึ้น

2) การใช้ Multidimensional

3) การใช้ Discriminant

2.2.5.2 Divisive Hierarchical Cluster Analysis

วิธีนี้เริ่มต้นโดยสมมติว่ามีกลุ่มที่ประกอบด้วยสิ่งของหรือ item จำนวน n สิ่ง จากนั้นก็จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ซึ่งสิ่งของในกลุ่มมีระยะทางไกลที่สุด ขั้นต่อไปก็จะมี 3 กลุ่มย่อย ทำต่อไปเรื่อย ๆ จะเห็นว่าสุดท้ายแล้วจะมี n กลุ่มย่อย ซึ่งแต่ละกลุ่มย่อยประกอบด้วยสิ่งของ 1 สิ่ง หนังสือส่วนมากจะไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีนี้

ข้อจำกัดของวิธี Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis

เนื่องจากวิธี Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis จะเริ่มต้นให้จำนวน case เท่ากับ จำนวน cluster เช่น มี n case เท่ากับ มี n cluster แล้วค่อย ๆ ลดจำนวน cluster ทีละ 1 โดยรวมกลุ่ม 2 clusters ที่คล้ายกันมากที่สุด หรือต่างกันน้อยที่สุดเข้าด้วยกัน จึงค่อย ๆ ลดจำนวน cluster ครั้งละ 1 ดังนั้น ถ้ามี n มาก เช่น n เท่ากับ 1,000 คน จะต้องทำการรวมกลุ่ม 999 ครั้ง โดยเริ่มจากมี 1,000 clusters แล้วลดเหลือ 999 clusters, 998 clusters เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนเหลือ 1 cluster ซึ่งจะทำให้เสียเวลามาก ดังนั้นโดยทั่วไปถ้ามีจำนวน case มากกว่า 200 case จึงไม่นิยมใช้เทคนิค Hierarchical Clustering

2.2.6 เทคนิคการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน (K-Means Clustering) เป็นการวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis) หรือ การแบ่งส่วน (Portioning) ซึ่งเป็นวิธีที่แตกต่างจากเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Cluster Analysis) โดยวิธีนี้ผู้วิจัยจะต้องกำหนดเองว่าจะต้องแบ่งเป็นกี่กลุ่ม เช่น K กลุ่ม จึงเรียกวิธีนี้ว่า K-Means Clustering โดย Hartigan (อ้างถึงใน กัลยา วานิชย์บัญชา [9])

2.2.6.1 หลักการของเทคนิค K-Means Clustering

เป็นเทคนิคการจำแนก Case ออกเป็นกลุ่มย่อย จะใช้เมื่อมีจำนวน Case มาก โดยจะต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม หรือจำนวน Cluster ที่ต้องการ เช่น กำหนดให้มี K กลุ่ม เทคนิค K-Means จะมีการทำงานหลาย ๆ รอบ (Iteration) โดยในแต่ละรอบจะมีการรวม Cases ให้ไปอยู่ใน

กลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง โดยเลือกกลุ่มที่ Case นั้นมีระยะห่างจากค่ากลางของกลุ่มน้อยที่สุด แล้วคำนวณค่ากลางของกลุ่มใหม่ จะทำเช่นนี้จนกระทั่งค่ากลางไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้ [7]

2.2.6.2 ชนิดของตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-Means Clustering

ตัวแปรที่ใช้ในเทคนิค K-Means Clustering จะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ คือ เป็นมาตราช่วง (Interval Scale) หรือมาตราอัตราส่วน (Ratio Scale) โดยไม่สามารถใช้กับข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่ หรือ Binary เหมือนเทคนิค Hierarchical Clustering [7]

2.2.6.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของวิธี K-Means Clustering

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มด้วยเทคนิควิธี K-Means Clustering สามารถสรุปขั้นตอนของการวิเคราะห์ได้ 4 ขั้นตอนดังนี้ [7]

ขั้นที่ 1 แบ่งกลุ่มข้อมูลเป็น K กลุ่ม ซึ่งมีการแบ่งได้หลายวิธีดังนี้

- แบ่งอย่างสุ่ม
- แบ่งด้วยผู้ศึกษาเอง

ขั้นที่ 2 คำนวณหาจุดกึ่งกลางกลุ่มของแต่ละกลุ่ม เช่น จุดกลางกลุ่มของกลุ่มที่ C คือ $\bar{x}_C$

ขั้นที่ 3 มีวิธีการพิจารณา 2 แบบ โดยจะคำนวณ

แบบที่ 1 คำนวณหาระยะห่างจากแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มของทุกกลุ่ม และจะพิจารณาย้ายหน่วยไปยังกลุ่มที่มีระยะห่างต่ำสุด

แบบที่ 2 คำนวณระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มที่หน่วยนั้นอยู่ โดยให้ ผลบวกของระยะห่างจากแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่ม (Error Sum of Square: ESS) เท่ากับระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่ม

$$ESS = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}_{C_{(i)}})^2 \qquad (2.4)$$

โดยที่ $C_{(i)}$ หมายถึงกลุ่มของหน่วยที่ i

ESS คือ ผลบวกของระยะห่างจากแต่ละหน่วยในกลุ่มไปยังจุดกลางกลุ่มรวมทุกกลุ่ม กลุ่มใดที่มีค่า ESS ต่ำ แสดงว่าหน่วยที่อยู่ในกลุ่มนั้นมีความคล้ายคลึงกัน

ขั้นที่ 4 การพิจารณาย้ายกลุ่ม จะใช้เกณฑ์การย้ายตามค่าที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3

แบบที่ 1 จะทำการย้ายหน่วยที่ i ไปยังกลุ่มที่ทำให้ระยะห่างจากหน่วยที่ i ไปยังจุดกลางกลุ่มมีค่าต่ำสุด

แบบที่ 2 จะทำการย้ายหน่วยที่ i ไปยังกลุ่มที่ทำให้ค่า ESS มีค่าต่ำสุด

ถ้าขั้นที่ 4 ไม่มีการย้ายกลุ่มอีกแล้ว แสดงว่ากลุ่มที่แบ่งได้นั้นเหมาะสมแล้ว แต่ถ้าในขั้นที่ 4 มีการย้ายกลุ่ม กลุ่มที่มีหน่วยย้ายเข้าหรือย้ายออกจะต้องทำการคำนวณหาจุดกลางกลุ่มใหม่ นั้นคือต้องกลับไปทำขั้นที่ 2

2.2.6.4 ข้อแตกต่างระหว่างเทคนิค Hierarchical Clustering กับ K-Means Clustering

เทคนิค Hierarchical Clustering กับ K-Means Clustering แตกต่างกัน ดังนี้ [7]

1) เทคนิค K-Means ใช้เมื่อมีจำนวน Case หรือจำนวนข้อมูลมาก โดยทั่วไปนิยมใช้เมื่อ $n \geq 200$ เพราะเมื่อ n มาก เทคนิค K-Means จะง่ายกว่า และใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยกว่าการใช้เทคนิค Hierarchical หรือกล่าวได้ว่าเมื่อมีจำนวน Case ไม่มากควรใช้เทคนิค Hierarchical

2) เทคนิค K-Means นั้น ผู้ใช้จะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่แน่นอนไว้ล่วงหน้า กรณีที่ผู้วิเคราะห์ยังไม่แน่ใจว่าควรมีกี่กลุ่มจึงจะเหมาะสม ผู้วิเคราะห์อาจจะใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

- ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี K-Means หลาย ๆ ครั้ง แต่ละครั้งกำหนดจำนวนกลุ่มแตกต่างกันไป เช่น เป็น 3, 4 หรือ 5 กลุ่ม แล้วพิจารณาหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม แต่เมื่อมีข้อมูลมาก วิธีนี้จะทำให้เสียเวลามาก
- ใช้ข้อมูลบางส่วนทำการวิเคราะห์โดยวิธี Hierarchical เพื่อหาจำนวนกลุ่มที่ควรจะเป็นจากนั้นจึงใช้เทคนิค K-Means กับข้อมูลทั้งหมดที่มี

3) เทคนิค Hierarchical นั้น ผู้วิเคราะห์จะ Standardized ข้อมูลหรือไม่ก็ได้ แต่โดยวิธี K-Means จะต้องทำการ Standardized ข้อมูลก่อนเสมอ

4) วิธี K-Means จะหาระยะห่างโดยวิธี Euclidean Distance โดยอัตโนมัติขณะที่ Hierarchical ผู้วิเคราะห์มีสิทธิ์ที่จะเลือกวิธีการคำนวณระยะห่าง หรือความคล้ายได้

2.3 การวิเคราะห์โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

2.3.1 ความหมายของโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

โซ่อุปทาน (Supply Chain) คือ การใช้ระบบของหน่วยงาน คน เทคโนโลยี กิจกรรม ข้อมูล ข่าวสาร และทรัพยากร มาประยุกต์เข้าด้วยกัน เพื่อการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือบริการ จากผู้จัดหาไปยังลูกค้า กิจกรรมของโซ่อุปทานจะแปรสภาพทรัพยากรธรรมชาติ วัตถุดิบ และวัสดุอื่น ๆ ให้กลายเป็นสินค้าสำเร็จ แล้วส่งไปจนถึงลูกค้าคนสุดท้าย

ยงยุทธ ชัยรัตนาวรรณ [10] ได้ให้ความหมายของโซ่อุปทาน ว่าเป็นกระบวนการบูรณาการขององค์กรต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นสินค้าสำเร็จรูป และส่งผ่านสินค้าเหล่านั้นไปยังลูกค้า ทั้งนี้โซ่อุปทานยังรวมถึงการพิจารณาต้นทุน เวลา การขนส่ง การบรรจุ และการจัดเก็บทั้งหมด ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนกระบวนการผลิต เพื่อให้สามารถส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้อย่างเหมาะสม

โรจนี หอมชาลี [11] ได้ให้ความหมายของโซ่อุปทาน ว่าเป็นความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันระหว่างองค์กรต่าง ๆ ที่มีส่วนได้ส่วนเสียร่วมกันในธุรกิจ ซึ่งโซ่อุปทานไม่ได้มีขอบเขตเพียงแค่ผู้ผลิตและผู้จัดหาวัตถุดิบ แต่ยังรวมไปถึงผู้ขนส่ง คลังสินค้า ผู้ค้าปลีก และลูกค้า โดยเป็นการเรียงลำดับขององค์กร เพื่อนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาด นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างเครือข่ายสิ่งอำนวยความสะดวกและการเลือกช่องทางการกระจายสินค้า ซึ่งเริ่มตั้งแต่การจัดซื้อจัดหาวัตถุดิบ การแปรรูปวัตถุดิบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และการกระจายผลิตภัณฑ์ไปสู่ผู้บริโภค และเป็นกระบวนการในการบูรณาการเกี่ยวกับการจัดการความสัมพันธ์ระหว่างคู่ค้าตั้งแต่ต้นน้ำไปจนถึงปลายน้ำ ทั้งในเชิงต้นทุนและระยะเวลาในการส่งมอบ

ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าโซ่อุปทาน ว่าเป็นกระบวนการบูรณาการขององค์กรต่าง ๆ ซึ่งโซ่อุปทานไม่ได้มีขอบเขตเพียงแค่ผู้ผลิต และผู้จัดหาวัตถุดิบ แต่ยังรวมไปถึงผู้ขนส่ง คลังสินค้า ผู้ค้าปลีก และลูกค้า ซึ่งมีการสื่อสารข้อมูลสารสนเทศร่วมกัน โดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

โลจิสติกส์ (Logistics) คือ ระบบการจัดการการส่งสินค้า ข้อมูล และทรัพยากรอย่างอื่นจากจุดต้นน้ำไปยังจุดปลายน้ำ ตามความต้องการของลูกค้า โลจิสติกส์เกี่ยวข้องกับการผสมผสานของข้อมูล การขนส่ง การบริหารวัสดุคงคลัง การจัดการวัตถุดิบ การบรรจุหีบห่อ โลจิสติกส์เป็นช่องทางหนึ่งของโซ่อุปทานที่เพิ่มมูลค่าของการใช้ประโยชน์ของเวลาและสถานที่

โรจนี หอมชาลี [11] ได้ให้ความหมายของโลจิสติกส์ ว่าโลจิสติกส์เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการของโซ่อุปทาน ซึ่งจะวางแผน ดำเนินการ และควบคุมการไหลไปข้างหน้าและการไหลย้อนกลับ รวมทั้งการจัดเก็บสินค้า การบริการ และสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกันตั้งแต่จุดกำเนิดไปจนถึงจุดบริโภคอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

ฐาปนา บุญหล้า และนงลักษณ์ นิมิตภูวดล [12] ได้ให้ความหมายของโลจิสติกส์ คือ การไหลของสินค้าระหว่างองค์กรเป็นกิจกรรมการขนส่ง และการคลังสินค้าที่เคยทำให้มั่นใจว่ามีการเคลื่อนย้ายสินค้าอย่างต่อเนื่องและเชื่อถือได้ รวมถึงการบริหารจัดการการไหลของข้อมูลผ่านเครื่องมือและเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น การใช้บาร์โค้ด และการแลกเปลี่ยนข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์

ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่า โลจิสติกส์ เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการของโซ่อุปทาน โดยเป็นการดำเนินการ วางแผน ควบคุมการไหลของสินค้าระหว่างองค์กร จัดเก็บสินค้า และบริการ ตั้งแต่ต้นน้ำไปถึงปลายน้ำ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

2.3.2 ความหมายของการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

การจัดการโลจิสติกส์ (Logistics Management) คือ ส่วนหนึ่งของการจัดการโซ่อุปทาน ซึ่งเกี่ยวกับการวางแผนและการนำแผนไปปฏิบัติ รวมทั้งการควบคุมการไหลและการจัดเก็บสินค้า บริการ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากจุดเริ่มต้นของโซ่อุปทาน (วัตถุดิบ) และปลายทางสู่ผู้บริโภค โดยรวมถึงการไหลกลับจากฝั่งผู้บริโภค (Reverse Logistics) ให้มีประสิทธิภาพ

ฐาปนา บุญหล้าและนงลักษณ์ นิมิตภูวดล [12] ได้ให้ความหมายของการจัดการโลจิสติกส์ คือ กระบวนการวางแผน การปฏิบัติงาน และการควบคุมสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ทั้งล่วงหน้าและย้อนกลับของการเคลื่อนย้ายและการจัดเก็บสินค้า การบริการ และสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่จุดกำเนิดจนถึงจุดการบริโภคสินค้า เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งการจัดการโลจิสติกส์นั้นจัดเป็นองค์ประกอบของการจัดการซัพพลายเชน

ยงยุทธ ชัยรัตนาวรรณ [10] ได้ให้ความหมายของการจัดการโลจิสติกส์ ว่าเป็นกระบวนการวางแผน การสนับสนุน การจัดการเคลื่อนย้าย บริการ การจัดเก็บ และการกระจายสินค้า ทั้งวัตถุดิบและข้อมูลสารสนเทศ จากกระบวนการเริ่มต้นไปยังการบริโภคของลูกค้าให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เพื่อตอบสนองความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้า

โรจนี หอมชาลี [11] ได้ให้ความหมายของการจัดการโลจิสติกส์ ว่าเป็นการดำเนินการที่มุ่งจัดการทรัพยากร จัดการด้านเวลาและสถานที่ ที่วัสดุเคลื่อนที่ผ่านไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบ โดยมุ่งหมายสร้างคุณค่าเพิ่มให้กับทั้งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในทุก ๆ ขั้นตอนที่วัสดุเคลื่อนที่ผ่านนั้น เพื่อให้บรรลุความมุ่งหมายต้องอาศัย การสื่อสาร และการประสานงาน โดยจะครอบคลุม การจัดหาวัตถุดิบ การเคลื่อนย้าย การจัดเก็บ และการจัดส่งรวมทุกสถานะทั้งหมดของสินค้า

ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าการจัดการโลจิสติกส์ เป็นกระบวนการวางแผน การปฏิบัติงาน และการควบคุมสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งจัดการทรัพยากร จัดการด้านเวลาและสถานที่ที่วัสดุเคลื่อนที่ผ่านไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การเคลื่อนย้าย การจัดเก็บ และการกระจายวัตถุดิบและสินค้า

การจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) คือ การบริหารจัดการกิจกรรมและความสัมพันธ์ระหว่างองค์กรที่เกี่ยวข้องกัน ตั้งแต่ต้นน้ำ (วัตถุดิบ) จนถึงปลายน้ำ (สินค้าสำเร็จรูปหรือบริการ) ซึ่งมีลักษณะยาวต่อเนื่องกันเหมือนโซ่ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพตลอดกระบวนการผลิตจนถึงมือผู้บริโภค โดยการให้ความสำคัญต่อการสื่อสาร การวิเคราะห์ข้อมูล และนำไปใช้ร่วมกัน เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มในการดำเนินงานและเป็นการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันอย่างยั่งยืน

ประจวบ กล่อมจิตร [13] ได้ให้ความหมายของการจัดการโซ่อุปทาน ว่าเป็นกระบวนการบูรณาการ การประสานงานและการควบคุมการเคลื่อนย้ายสินค้าคงคลังทั้งของวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป และสารสนเทศที่เกี่ยวข้องในกระบวนการจากผู้ขายวัตถุดิบผ่านกิจการไปยังผู้บริโภค เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค

ยงยุทธ ชัยรัตนาวรรณ [10] ได้ให้ความหมายของการจัดการโซ่อุปทาน ว่าเป็นกระบวนการรวบรวม การวางแผน และการจัดการกิจกรรมระหว่างผู้ขายปัจจัยการผลิต กับผู้ผลิต ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต โดยกระบวนการนี้เริ่มตั้งแต่การจัดซื้อจัดหา การผลิต การจัดเก็บ เทคโนโลยีสารสนเทศ การจัดจำหน่าย และการขนส่ง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้า ทั้งนี้การจัดการโซ่อุปทานยังรวมถึงการประสานงาน และการทำงานร่วมกันกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องภายในโซ่อุปทาน

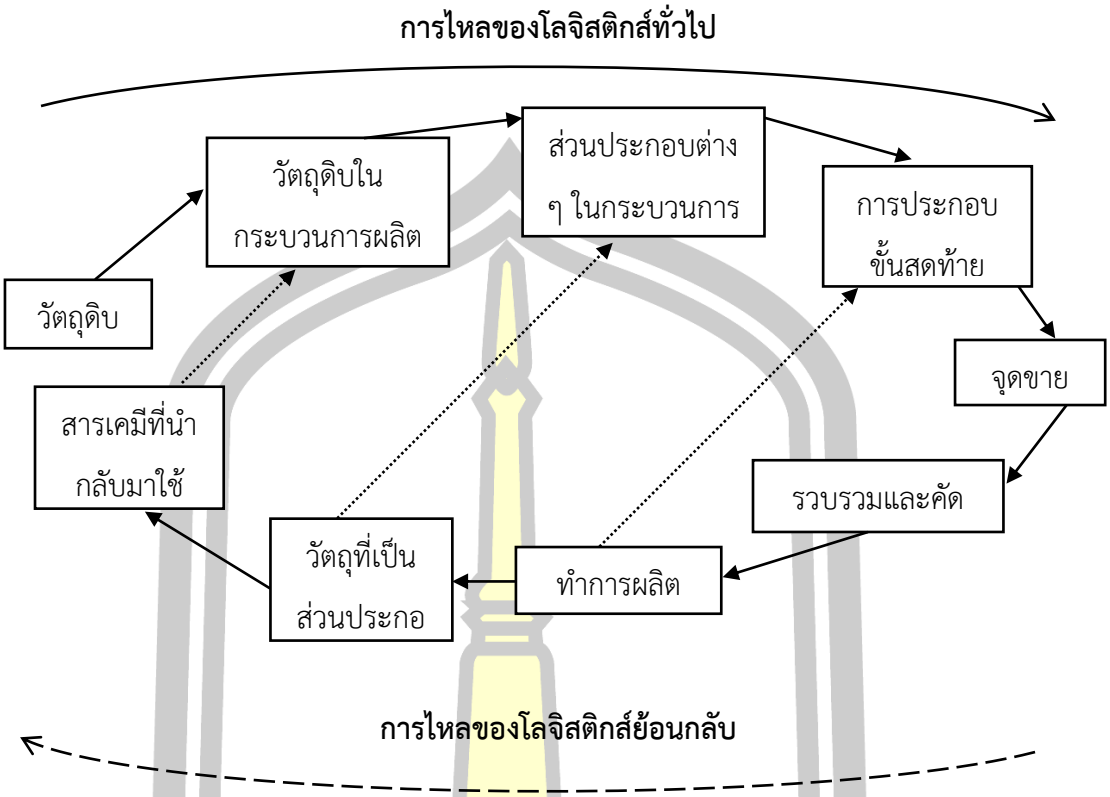
โรจนี หอมชาลี [11] ได้ให้ความหมายของการจัดการโซ่อุปทาน ว่าเป็นการขยายข่ายการดำเนินงานของโลจิสติกส์จากระดับภายในองค์กรไปสู่ระดับระหว่างองค์กรในระบบการผลิต โดยครอบคลุมตั้งแต่ต้นน้ำ (Upstream) ไปจนถึงปลายน้ำ (Downstream) ซึ่งต้องอาศัยหลัก 2C ได้แก่ การสื่อสาร (Communication) และการประสานงาน (Coordination) ทั้งนี้ยังต้องมีสายสัมพันธ์ทางธุรกิจ (Business Relationship) เพื่อสร้างความไว้วางใจต่อกัน ซึ่งจะทำให้หลัก 2C ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าจัดการโซ่อุปทาน เป็นกระบวนการรวบรวม การวางแผน การดำเนินการ การควบคุมการไหล การจัดเก็บสินค้า และการบริการ โดยกระบวนการนี้เริ่มตั้งแต่การจัดซื้อจัดหา การผลิต การจัดเก็บ เทคโนโลยีสารสนเทศ การจัดจำหน่าย และการขนส่ง เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค

พหุน ปณฺฑิโต ชีเว

2.4 โลจิสติกส์ย้อนกลับ

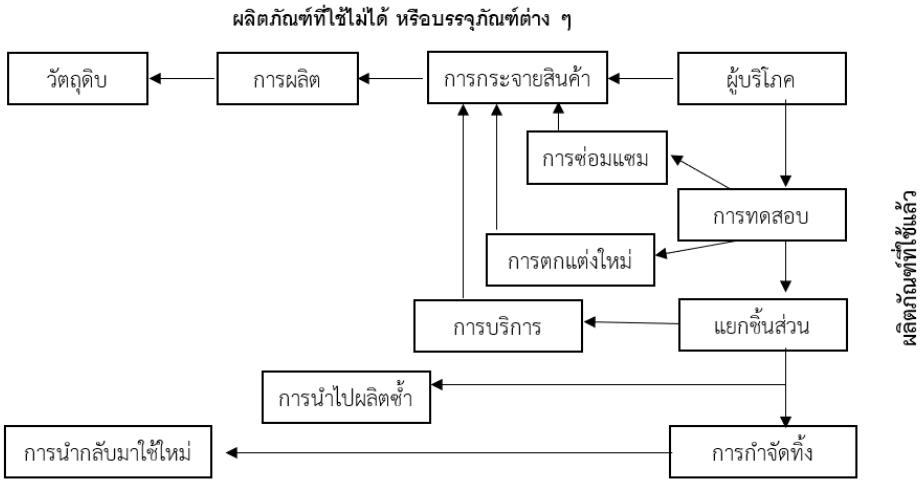
โลจิสติกส์ย้อนกลับ หรือ Reverse Logistics เป็นหนึ่งในกิจกรรมของโซ่อุปทานซึ่งกำลังเป็นที่สนใจและแพร่หลายในการนำแนวคิดนี้มาใช้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น คือ กระบวนการในการนำสินค้าที่ด้อยคุณภาพ หรือผ่านการใช้งานแล้วจากผู้บริโภค กลับคืนสู่ผู้ผลิต โดยอาศัยระบบการจัดการอย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นลักษณะของการมองย้อนกลับไปในกระบวนการของโลจิสติกส์ทั่วไปอย่างที่เคยดำเนินการในลักษณะของการมองจากต้นน้ำไปสู่ปลายน้ำ คือ จากแหล่งวัตถุดิบผ่านกระบวนการลำเลียง ขึ้นรูป แปรรูปต่าง ๆ จนกระทั่งออกสู่จุดขายหรือสู่มือผู้บริโภค แต่ในโลจิสติกส์ย้อนกลับนี้จะทำการพิจารณาในทางกลับกัน กล่าวคือ การพิจารณาถึงกระบวนการต่าง ๆ ในการนำผลิตภัณฑ์จากมือผู้บริโภคกลับคืนมายังผู้ผลิต หรือแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อตรวจสอบถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตนั้นมีข้อบกพร่องหรือชำรุดเสียหายในระยะเวลาของการประกันสินค้า หรือเพื่อนำเอาชิ้นส่วน หรือวัตถุดิบดังกล่าวจากผลิตภัณฑ์เหล่านั้นหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ ช่วยก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า อีกทั้งยังเป็นการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้น อันเนื่องมาจากการเติบโตของภาคอุตสาหกรรม และการพัฒนาที่ขาดความสมดุล อีกทั้งยังเป็นการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วเหล่านั้น ให้อยู่ในการควบคุมที่สามารถจัดการได้อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันเราจะเห็นได้ว่ามีการนำผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบบางอย่างหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น เหล็ก กระดาษ ขวดแก้วต่าง ๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นง่ายในการจัดเก็บและคัดแยกที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ อีกทั้ง กระบวนการในการนำกลับมาใช้ใหม่นั้นก็สั้น และใช้ต้นทุนที่ต่ำในการดำเนินการในกระบวนการต่าง ๆ แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตอย่างเช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือพลาสติกที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากย่อยสลายยากนั้น ยังมีแนวคิดหรือการนำกลับมาใช้ใหม่อย่างเป็นรูปธรรมในสัดส่วนที่น้อยมาก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากขาดกระบวนการในการจัดการนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีประสิทธิภาพ อันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มในการลงทุนที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้น แนวทฤษฎีของกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น นับเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [14] โดยแนวคิดโลจิสติกส์ย้อนกลับนี้สามารถศึกษาได้จากรูปภาพที่ 3



รูปภาพที่ 3 เปรียบเทียบการไหลของวัตถุดิบในระบบโลจิสติกส์ และโลจิสติกส์ย้อนกลับ
ที่มา: ปรับปรุงจาก [14]

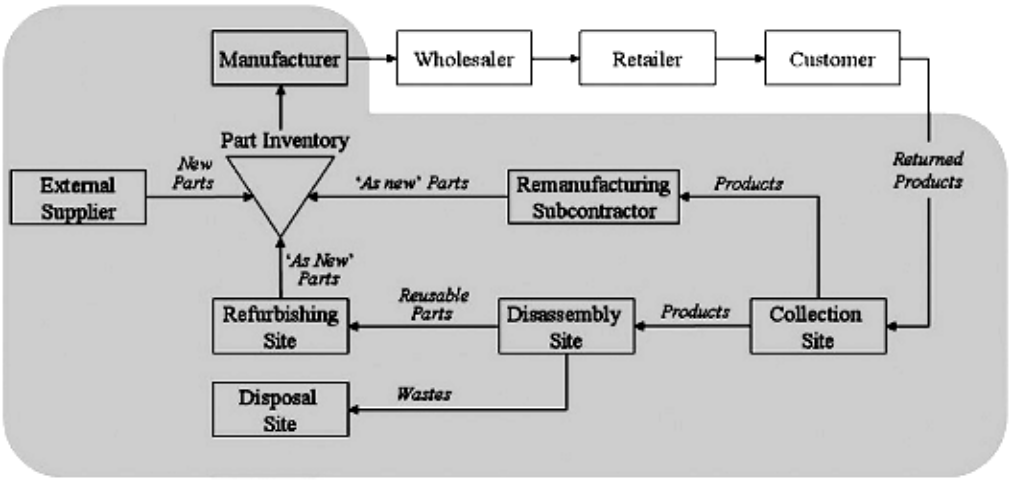
จากรูปภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าการไหลของโลจิสติกส์ทั่วไปและโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นจะเชื่อมโยงกันอยู่อย่างเป็นระบบที่มีความใกล้เคียงกับวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ที่เราสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างไม่หมดสิ้น ซึ่งจะสังเกตได้ว่าลักษณะโครงสร้างของโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น จะมีความใกล้เคียงกับโครงสร้างของโลจิสติกส์ทั่วไป ดังนั้น โครงสร้างในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น โดยหลักแล้วก็อาศัยพื้นฐานแนวคิดของระบบโลจิสติกส์เป็นหลักในการวางระบบ เพียงแต่ว่าในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น อาจต้องมีกิจกรรมบางอย่าง หรือขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นเพื่อจัดเก็บ รวบรวม คัดแยก ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทั้งนี้การกำหนดกิจกรรมต่าง ๆ นั้น ก็ต้องขึ้นอยู่กับการที่จะนำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นกลับมาสู่ระบบในรูปแบบหรือลักษณะใด และแหล่งหรือสถานที่ในการนำกลับมานั้น เป็นไปในลักษณะใด [14] อย่างไรก็ตามเราอาจมองระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับว่าเริ่มต้นตั้งแต่การที่อายุของผลิตภัณฑ์นั้นสิ้นสุดลงแล้วจากผู้บริโภค จนกระทั่ง เข้าสู่กระบวนการของการนำกลับเข้ามาสู่การเป็นวัตถุดิบเพื่อทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือการกำจัดทิ้ง [15] ซึ่งจะถูกส่งย้อนกลับเมื่อผู้บริโภคเลิกใช้หรือหมดอายุการใช้งานแล้วโดยจะถูกทดสอบว่านำมาใช้ได้อีกหรือไม่

โดยการซ่อมแซม หรือทำการตกแต่งใหม่ หรือในบางกรณีอาจนำชิ้นส่วนกลับมาเป็นอะไหล่ได้อีก กรณีที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้อีกดังกล่าวก็อาจนำไปผลิตซ้ำ หรือนำกลับไปหลอมละลายเป็นวัตถุดิบ (Raw Material) ส่วนที่ไม่สามารถใช้ได้เลยก็นำไปกำจัดทิ้ง ซึ่งในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถใช้งานได้ หรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ก็จะถูกนำกลับเข้าสู่ระบบควบคู่กันไปด้วย ซึ่งโครงพื้นฐานของกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับที่กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ดังรูปภาพที่ 4



รูปภาพที่ 4 โครงสร้างของกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับ
ที่มา: ประยุกต์จาก [15]

แนวคิดของโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น นอกจากการนำไปใช้เพื่อการนำผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่แล้ว ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อแก้ปัญหาในกระบวนการส่งกลับของผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องจากขั้นตอนการผลิต หรือจากความผิดพลาดของกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ในสายการผลิต เพื่อลดขั้นตอนในการผลิต เวลา ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ อันเกิดจากการขนส่ง หรือขนถ่ายต่าง ๆ ภายในระบบการผลิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งเราเรียกว่า ระบบการผลิตซ้ำ (Remanufacturing System) ซึ่งจะเชื่อมต่อระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ย้อนกลับจากลูกค้าไปแหล่งผลิต เพื่อส่งออกไปยังผู้ขายส่งอีกครั้งหนึ่ง [16] ดังแสดงในรูปภาพที่ 5



รูปภาพที่ 5 แนวคิดเค้าโครงของระบบการผลิตซ้ำ

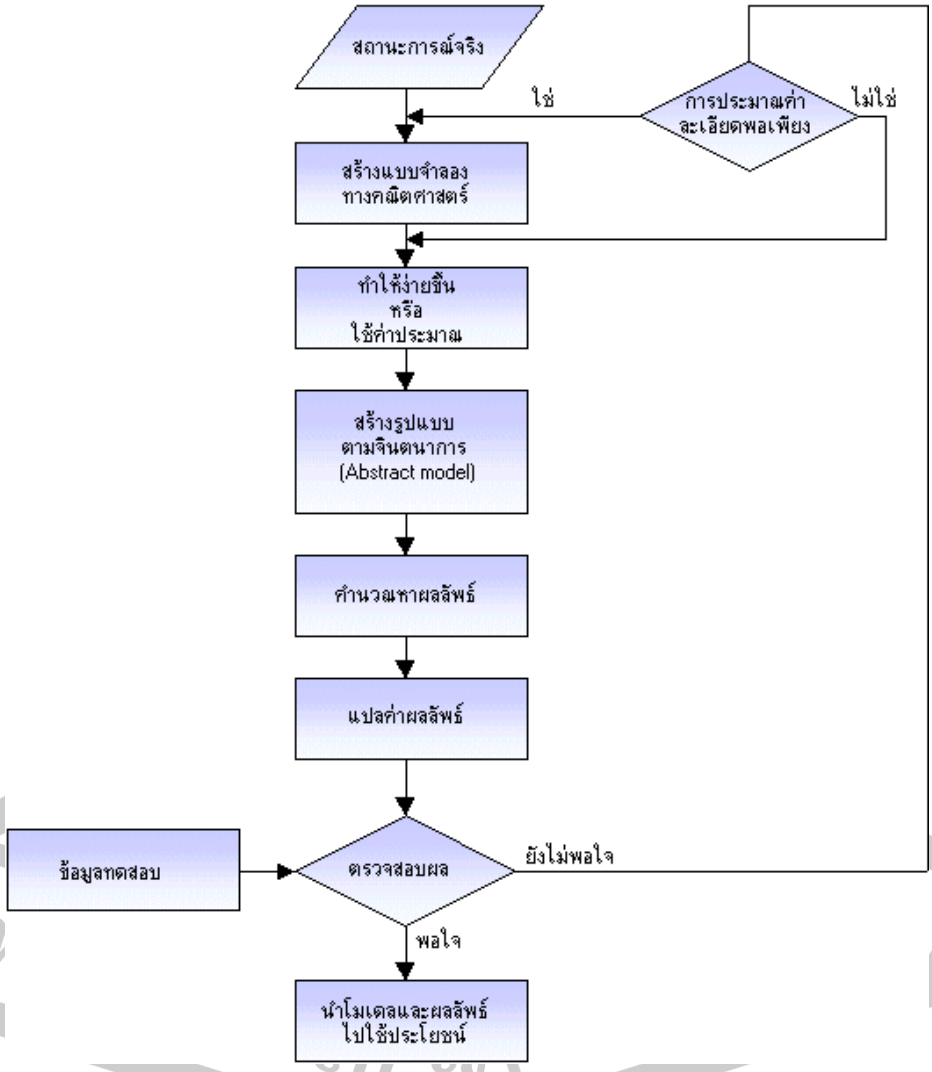
ที่มา: [16]

จากรูปภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกส่งออกไปจากผู้ผลิตจวบจนกระทั่งถึงมือลูกค้าหรือผู้บริโภคแล้ว เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นเลิกใช้งานหรือถูกทิ้งแล้ว ก็จะกลับคืนเข้าสู่ระบบการผลิตซ้ำ (Remanufacturing System) โดยการเก็บรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วทั้งหมด ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่ง ผู้รับเหมาช่วง (Subcontractor) จะนำกลับไปทำการผลิตใหม่ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปคัดแยกแล้วทำการถอดชิ้นส่วน เพื่อนำส่วนที่สามารถนำกลับไปใช้งานใหม่ได้กลับไปทำการปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อนำเข้าสู่ระบบคงคลังเป็นชิ้นส่วนใหม่ต่อไป ในส่วนของชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบชิ้นใดที่ไม่สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ หรืออาจใช้งานใหม่ได้ แต่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณสมบัติที่สูงซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ก็จะถูกนำไปกำจัดทิ้งยังแหล่งกำจัด [16]

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

2.5 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นการใช้เพื่อที่จะหาคำตอบหรือทดลองเพื่อให้ได้คำตอบตามที่ต้องการ โดยการที่จะสร้างแบบจำลองนั้น จะต้องอาศัยความรอบรู้ในเนื้อหาเรื่องนั้นก่อน แล้วจึงใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ และสร้างความชำนาญเพื่อจะหาผลลัพธ์หรือทดลองจนได้คำตอบที่ดี ซึ่งเรียกว่า what if โมเดล หรือทดลองดูจนเกิดความชำนาญ เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้ว่าตรงตามความต้องการซึ่งสามารถตอบโจทย์ที่ต้องการได้ [17]



รูปภาพที่ 6 การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ที่มา: [17]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยภายในประเทศ

ศฤงคาร คลายแขก และคณะ [18] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลตอการจัดการในการดำเนินงานโครงข่ายโลจิสติกสยอนกลับ ซากผลิตภัณฑเครื่องใชไฟฟา และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย รวมถึงปญหาและอุปสรรคฯ โดยใชวิธีวิจัยแบบผสมผสานระหว่างการวิจัยเชิงปริมาณและการวิจัยเชิงคุณภาพ ตัวอย่างที่ใชแบงเป็นโรงงานประเภท 105 และ 106 รวมจำนวน 150 โรงงาน เครื่องมือใชแบบสอบถามในการเก็บรวบรวมขอมูลสถิติในการวิเคราะหขอมูลใชสถิติเชิงพรรณาและการวิเคราะหโมเดลสมการโครงสร้าง และการสัมภาษณเจาะลึกทรงคุณวุฒิและผู้ประกอบการ รวมจำนวน 9 คน และวิเคราะหขอมูลด้วยการวิเคราะหเนื้อหาผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยด้านกฎระเบียบมีอิทธิพลทางตรงในเชิงบวกต่อโลจิสติกสยอนกลับมีคามากที่สุด รองลงมา ได้แก ปจจัยดานความรับผิดชอบตอสังคมและสิ่งแวดลอมและปจจัยดานเทคโนโลยีสารสนเทศ ตามลำดับ ยังพบอีกวา ปจจัยด้านโลจิสติกสยอนกลับมีอิทธิพลทางตรงในเชิงบวกต่อผลการดำเนินงานทางดานการเงินและผลการดำเนินงานทางดานสิ่งแวดลอม และจากการศึกษาปญหาและอุปสรรคฯ พบวา ประเทศไทยไม่มีกฎหมายที่เกี่ยวของกับการจัดการซากผลิตภัณฑเฉพาะ ยังขาดการบูรณาการร่วมกัน รวมถึงเจาหน้าที่รัฐไม่เขมงวดในการบังคับใชกฎหมายและการแกปญหาในทางปฏิบัติ ในขณะที่ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ได้รับใบอนุญาต ลักลอบนำเขา และขาดความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดลอม นอกจากนี้ผู้ประกอบการแบบครัวเรือนมีการคัดแยกที่ไม่ถูกตองตามหลักวิชาการ

ไอลดา คำปากูล [19] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์กิจการเซรามิกในจังหวัดลำปาง โดยมีมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษากิจกรรมโลจิสติกส์ของกิจการเซรามิกในจังหวัดลำปาง 2) เพื่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนกิจกรรมโลจิสติกส์ของกิจการเซรามิกในจังหวัดลำปาง และผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลกิจการเซรามิกในจังหวัดลำปาง กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กิจการขนาดเล็ก จำนวน 2 โรงงาน กิจการขนาดกลาง จำนวน 2 โรงงาน และกิจการขนาดใหญ่ จำนวน 2 โรงงาน โดยผลการศึกษาพบว่า 1) กิจกรรมโลจิสติกส์ของกิจการเซรามิก ประกอบไปด้วย การจัดการคำสั่งซื้อ การบริการลูกค้า การพยากรณ์ความต้องการสินค้า การสื่อสารในงานโลจิสติกส์ การจัดซื้อ การบรรจุภัณฑ์และการบรรจุ การจัดการสินค้าคงคลังและการจัดเก็บ การขนส่ง การบริหารจัดการ และสำนักงาน และการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ 2) ต้นทุนกิจกรรมโลจิสติกส์ของกิจการเซรามิก มีความแตกต่างกัน ในด้านต้นทุนตามหลักการแล้วกิจการขนาดใหญ่มักจะมีต้นทุนที่สูงที่สุด รองลงมาเป็นกิจการขนาดกลาง และกิจการขนาดเล็กใช้ต้นทุนน้อยที่สุด ยกเว้น กิจกรรมการบริการลูกค้าในกิจกรรมย่อยการบริการ

ออกแบบสินค้าตามคำสั่งซื้อของลูกค้า จะเห็นว่า กิจการขนาดเล็กใช้ต้นทุนในกิจกรรมนี้สูงที่สุด จำนวน 35,109.44 บาท รองลงมาเป็นกิจการขนาดกลาง จำนวน 25,963.00 บาท และกิจการขนาดใหญ่ไม่มีต้นทุนในกิจกรรมนี้ เช่นเดียวกันกับกิจกรรมการพยากรณ์ความต้องการสินค้า ในกิจกรรมย่อยการคาดการณ์ความต้องการสินค้าในอนาคต จะเห็นว่า กิจการขนาดเล็กใช้ต้นทุนในกิจกรรมนี้สูงที่สุด จำนวน 23,860.28 บาท รองลงมาเป็นกิจการขนาดกลาง จำนวน 20,478.82 บาท และกิจการขนาดใหญ่ไม่มีต้นทุนในกิจกรรมนี้ และในกิจกรรมการจัดซื้อกิจกรรมย่อยการจัดซื้อวัตถุดิบ กิจการขนาดใหญ่ใช้ต้นทุนในกิจกรรมนี้สูงที่สุด จำนวน 103,874.00 บาท รองลงมาเป็นกิจการขนาดเล็ก จำนวน 31,974.48 บาท และกิจการขนาดกลาง จำนวน 22,210.64 บาท ข้อเสนอแนะในการวิจัย คือ ลดต้นทุนกิจกรรมที่สูงเป็นอันดับหนึ่ง จากการคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรม พบว่า กิจกรรมกระบวนการผลิตเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดต้นทุนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 70.39 ของต้นทุนรวมทั้งหมด โดยจุดมุ่งเน้นไปที่กิจกรรมการผลิตเป็นหลัก หากทำการลดต้นทุนไปในกิจกรรมกระบวนการผลิตที่มีต้นทุนสูง จะสามารถลดต้นทุนรวมของกิจการได้

เสกสรร สุธรรมานนท์ [20] ได้ศึกษาระบบการขนส่งในโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะคอมพิวเตอร์ในจังหวัดสงขลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางในการลดต้นทุนการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในพื้นที่จังหวัดสงขลา วิธีการในการศึกษาประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การศึกษาสภาพการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน 2) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินต้นทุนในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์และ 3) การพัฒนากลยุทธ์เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ ผลการศึกษาได้นำเสนอแนวทางในการลดต้นทุน 2 แนวทางคือ 1) การกำหนดให้ร้านรับซื้อของเก่าส่งขยะคอมพิวเตอร์ไปยังศูนย์รวบรวมทั้งหมด ซึ่งต้นทุนจะลดลงจาก 3.647 ล้านบาทต่อเดือน เหลือ 3.422 ล้านบาทต่อเดือนหรือลดลงร้อยละ 6 2) กำหนดให้มีการส่งขยะคอมพิวเตอร์จากแหล่งกำเนิดไปยังศูนย์รวบรวมโดยตรง ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนลดลงเหลือ 2.413 ล้านบาทต่อเดือนหรือลดลงร้อยละ 34

อำพล นววงศ์เสถียร [21] ได้ศึกษาเกี่ยวกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้กลายมาเป็นปัญหาด้านสภาพแวดล้อมในหลายประเทศทั่วโลก ภาครัฐและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่างให้ความสนใจกับปัญหาเรื่องปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการใช้งาน และเทคโนโลยี ที่ทำให้อายุของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สั้นลงเรื่อย ๆ แนวคิดการลดขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้กระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับเริ่มได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว บทความนี้นำเสนอแนวทางการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโลจิสติกส์

ย้อนกลับ ผ่านการทบทวนวรรณกรรมทั้งแนวคิด ทฤษฎี และแบบจำลองที่ใช้ในการลดขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งพบว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์ ความรับผิดชอบของผู้ผลิตเพื่อพิทักษ์สิ่งแวดล้อม การย้อนกลับผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ใหม่ การลดส่วนสูญเสียของการผลิตให้น้อยที่สุด รวมถึงการจัดตั้งสถานที่กำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ เป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโลจิสติกส์ย้อนกลับ

โรจนี หอมชาลี และ วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์ [22] ได้ศึกษาการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางสำหรับโซ่อุปทานเอทานอลของไทย เพื่อให้ระบบโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานเอทานอลของไทยมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและการจัดการโซ่อุปทานเอทานอลของไทยภายในขอบเขตเครือข่ายการกระจายเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังลูกค้าซึ่งเป็นคลังผสมแก๊สโซฮอล์และคลังรวบรวมเพื่อการส่งออก โดยออกแบบให้มีคลังกลางรวบรวมเอทานอลและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Location-Allocation Model ในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางเอทานอลและการกระจายเอทานอลที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ศึกษาบริบทโซ่อุปทานเอทานอลของไทย โดยการทบทวนวรรณกรรม การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แล้ววิเคราะห์โครงสร้างและตัวขับเคลื่อนโซ่อุปทาน ส่วนการกำหนดตำแหน่งทางเลือกของคลังกลางเอทานอล ใช้การวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธี K-mean Clustering และ Hierarchical Clustering รวมทั้งตำแหน่งที่เป็นไปได้ตามโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งของประเทศ จากนั้นนำไปเป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางเอทานอลของแบบจำลอง ผลการวิจัย พบว่า ประเทศไทยควรมีคลังรวบรวมเอทานอลเพื่อการส่งออกเพียงแห่งเดียว โดยตั้งอยู่แถบท่าเทียบเรือ จ.สมุทรปราการ ส่วนคลังกลางเอทานอลเพื่อการกระจายภายในประเทศนั้น ควรมี 2 แห่ง คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณรอยต่อ จ.ขอนแก่น และ จ.นครราชสีมา และภาคกลางตอนบน บริเวณ จ.นครสวรรค์ ซึ่งทำให้ได้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด

2.6.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

Schultmann Frank และคณะ [23] ได้พัฒนาตัวแบบจำนวนเต็มแบบผสมเชิงเส้น เพื่อแก้ปัญหาในการหาทำเลที่ตั้งของโรงงาน โดยแบบจำลองนี้ได้ทำการศึกษากรณีศึกษาในการวางเครือข่ายเพื่อการรีไซเคิลแบตเตอรี่เก่าที่หมดอายุการใช้งานแล้วในประเทศเยอรมนี ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการบริโภคแบตเตอรี่ในปริมาณมากในเยอรมนีโดยเฉพาะแบตเตอรี่ที่ใช้กับเครื่องมือหรืออุปกรณ์พกพา (Portable Batteries) เช่น จำพวกที่ใช้ในเครื่องมือสื่อสารเครื่องเล่นเพลงขนาดพกพาหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กต่าง ๆ ซึ่งจากรายงานในปี 2000 พบว่า มีปริมาณขยะพวกนี้ถึง

33,058.4 ตัน ในขณะที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่เพียง 10,295.8 ตัน เท่านั้น ซึ่งเป็นเพียงร้อยละ 31.1 ของขยะที่เกิดขึ้นเท่านั้น โดยงานวิจัยนี้จะเน้นที่การแยกเอาสารประกอบที่อยู่ในแบตเตอรี่มาใช้งาน เช่น ตะกั่ว ปรอท นิเกิล ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งประเด็นไปที่การคัดแยก (Sorting) โดยการสร้างแบบจำลองขึ้น เพื่อแสดงการดำเนินงานและต้นทุนที่ใช้ในการคัดแยก ต้นทุนในการเก็บรวบรวม ต้นทุนในการขนส่ง และต้นทุนในกระบวนการรีไซเคิล

Jayaraman Vaidyanathan [24] ได้ศึกษาวิเคราะห์โครงข่ายโลจิสติกส์สำหรับโรงงาน ซึ่งทำการผลิตซ้ำในสหรัฐอเมริกา โดยบริษัทมีกิจกรรมในการรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วจากลูกค้า ซึ่งการรับมอบของจากลูกค้าและการผลิตซ้ำนั้นก็มักเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ในขณะที่กำลังในการผลิตนั้นมีอย่างจำกัด โดยในงานวิจัยนี้ได้แสดงโครงข่ายที่สร้างขึ้น โดยจะแสดงค่าเพื่อนำมาใช้ในการตัดสินใจได้ว่าต้องใช้จำนวนของโรงงานเท่าใด และเลือกทำเลที่ตั้งใดในการรองรับปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น โดยผู้วิจัยได้นำเสนอตัวแบบ MILP เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวและรองรับกับความแตกต่างขององุปสงค์กับอุปทานในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี

Kara Sami [25] ได้ศึกษาและสร้างแบบจำลองของโครงข่ายระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของเมืองซิดนีย์ เพื่อที่จะศึกษาถึงวงจรของการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ บริเวณพื้นที่ในเขตเมืองซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย โดยมุ่งประเด็นหลักไปที่การหาต้นทุนในการขนส่งและลำเลียงในผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว (End-of-life: EOL) ในงานวิจัยนี้ Kara ได้ทำการกำหนดภาคส่วนต่าง ๆ ในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับขึ้น เพื่อสร้างแบบจำลองภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการการเรียกกลับคืนผลิตภัณฑ์โดยอาศัยสถานการณ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริง จากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองระบบด้วยโปรแกรม Arena โดยการจำลองกิจกรรมต่าง ๆ ของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการเรียกกลับคืนผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของเมืองซิดนีย์ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลและความน่าเชื่อถือที่ได้จากแบบจำลองโดยหาต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งรวม

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก โดยตัวแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Non-linear Programming: MINLP) เพื่อวิเคราะห์และแสดงการไหลของพลาสติกรีไซเคิลในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับให้มีความเหมาะสมมากที่สุด รวมถึงสามารถหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อจัดการกับปริมาณขยะพลาสติก ทั้งนี้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์การวิจัยได้ครบถ้วนสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงออกแบบวิธีดำเนินวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากเอกสารวิชาการ รายงานการวิจัย ตลอดจนฐานข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนที่ได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมไว้ ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย เป็นต้น

3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้างของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อพิจารณาผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภายในระบบ ประกอบด้วย

1) ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลัก คือ ประชาชนในชุมชน (อำเภอ) ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และโรงงานรีไซเคิลพลาสติก

2) ผู้สนับสนุน คือ หน่วยงานภาครัฐ ผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ และผู้สนับสนุนอื่น ๆ

3.1.2.2 การวิเคราะห์การไหลของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อพิจารณาเส้นทางการไหลของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ประกอบด้วย การไหลของขยะพลาสติก และการขนส่งด้วยรถประเภทต่าง ๆ ที่ครอบคลุมการขนส่งขยะพลาสติกจากชุมชน (อำเภอ) ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และขนส่งต่อไปยังโรงงานรีไซเคิลพลาสติก

3.1.2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนที่เกี่ยวข้องของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยเริ่มต้นตั้งแต่อำเภอต่าง ๆ จนถึงโรงงานรีไซเคิล ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่งขยะพลาสติก ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก ต้นทุนการดำเนินงานของโรงงานรีไซเคิล เป็นต้น

3.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติก

3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติก คือ พิกัดของชุมชน (อำเภอ) และจำนวนประชากรในอำเภอ เป็นต้น มาแปลงเป็นคะแนนมาตราฐาน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Clustering) โดยใช้วิธีการ Agglomerative Hierarchical Clustering และกำหนดการหาระยะห่างด้วยวิธี Squared Euclidean Distance และการรวมกลุ่มแบบ Centroid

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) พิจารณาผลการแบ่งกลุ่มจากวิธี Hierarchical Clustering โดยเลือกระดับการแบ่งกลุ่ม 3 ระดับ คือ จำนวนกลุ่มเท่ากับ K1 K2 และ K3

2) นำจำนวนกลุ่ม K1 K2 และ K3 ที่ได้จาก Hierarchical Clustering มาเข้าสู่กระบวนการของการวิเคราะห์กลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) โดยในขั้นตอนของ K-means Clustering จะกำหนดการหาระยะห่างด้วยวิธี Euclidean Distance และการรวมกลุ่มแบบ Centroid

3) สรุปตำแหน่งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกจากเทคนิค K-means Clustering 3 ระดับ เพื่อนำไปใช้เป็นตัวแปรตัดสินใจในตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

3.3 การออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

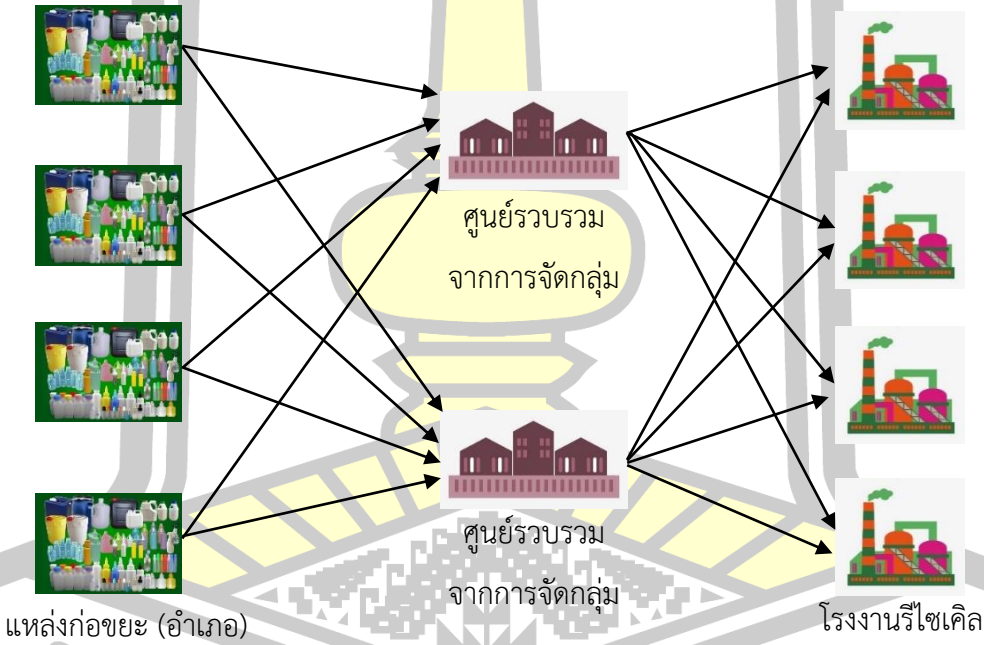
3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมทั้งจากภาครัฐและเอกชน ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์จากส่วนที่ 3.1 และ 3.2 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เหล่านั้นมาใช้ในการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

3.3.2 การออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการรีไซเคิลพลาสติก

การสร้างตัวแบบการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมุ่งเป้าหมายหลักไปที่การนำขยะพลาสติกกลับมารีไซเคิลให้เป็นเม็ดพลาสติก โดยจะจำแนกประเภทของการดำเนินการในกระบวนการรีไซเคิลหลักเป็น 3 สถานที่ตั้งที่สำคัญ คือ แหล่งก่อขยะ (อำเภอ) ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และโรงงานรีไซเคิลพลาสติก

ทางเลือกในการจัดการขยะพลาสติกและขั้นตอนในการวิจัยเพื่อแก้ปัญหานั้น สามารถศึกษาได้จากรูปภาพที่ 7 โดยเริ่มจากการนำขยะพลาสติกจากทุกอำเภอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก เพื่อทำการคัดแยกประเภทของพลาสติก แล้วเตรียมการจัดส่งต่อไปยังโรงงานรีไซเคิล โดยใช้ยานพาหนะประเภทต่างๆ ในการขนส่งทางถนน



รูปภาพที่ 7 โครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีการรีไซเคิลพลาสติก

3.3.3 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก

การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นตัวแบบแบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Non-linear Programming: MINLP) โดยจะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1) กำหนดปัญหา งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาระบบการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2) พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับพลาสติกรีไซเคิลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจในแต่ละส่วนของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ได้แก่

- การเปิดศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก
- ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากแหล่งก่อขยะไปยังศูนย์รวบรวมขยะ
- ปริมาณขยะพลาสติกที่จัดเก็บในศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก
- ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิล
- ปริมาณขยะพลาสติกที่จัดเก็บในโรงงานรีไซเคิล
- ปริมาณขยะพลาสติกที่นำเข้าไปรีไซเคิลในโรงงาน
- ปริมาณเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ผลิตได้ของโรงงานรีไซเคิล
- ปริมาณเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่จัดเก็บในโรงงานรีไซเคิล

3) กำหนดและรวบรวมพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์จากส่วนที่ 3.1 และ 3.2 ได้แก่

- ปริมาณขยะพลาสติกของแหล่งก่อขยะ
- ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก
- ต้นทุนการจัดเก็บขยะพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล
- ต้นทุนการผลิตของโรงงานรีไซเคิล
- ต้นทุนการจัดเก็บเม็ดพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล
- ต้นทุนการขนส่งด้วยรถประเภทต่าง ๆ
- ระยะทางระหว่างแหล่งก่อขยะกับศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก
- ระยะทางระหว่างศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกกับโรงงานรีไซเคิล

- กำลังการผลิตของโรงงานรีไซเคิล
- ขีดความสามารถในการดำเนินงานรับซื้อ/คัดแยก/จัดเก็บขยะพลาสติกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก
- ขีดความสามารถในการดำเนินงานรับซื้อ/คัดแยก/จัดเก็บขยะพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล
- ขีดความสามารถในการจัดเก็บเม็ดพลาสติกรีไซเคิลของโรงงาน
- ความจุสูงสุดของรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ
- อัตราการแปลงขยะพลาสติกเป็นเม็ดพลาสติก

4) วิเคราะห์ข้อมูล เขียนโปรแกรม และหาผลเฉลยของตัวแบบ โดยใช้โปรแกรม LINGO

5) ทดสอบวิธีการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากค่าเป้าหมายและค่าของตัวแปรตัดสินใจ เพื่อให้คำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์มีความถูกต้อง สมเหตุสมผล และสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

6) วิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยทำการทดลองแปรเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในอนาคต หรือเมื่อสถานการณ์มีการเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณขยะพลาสติก ความจุหรือขีดความสามารถในการดำเนินงานของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก โดยมีความมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก หาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชน(อำเภอ) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีผลการวิจัย ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก และหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชน(อำเภอ) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

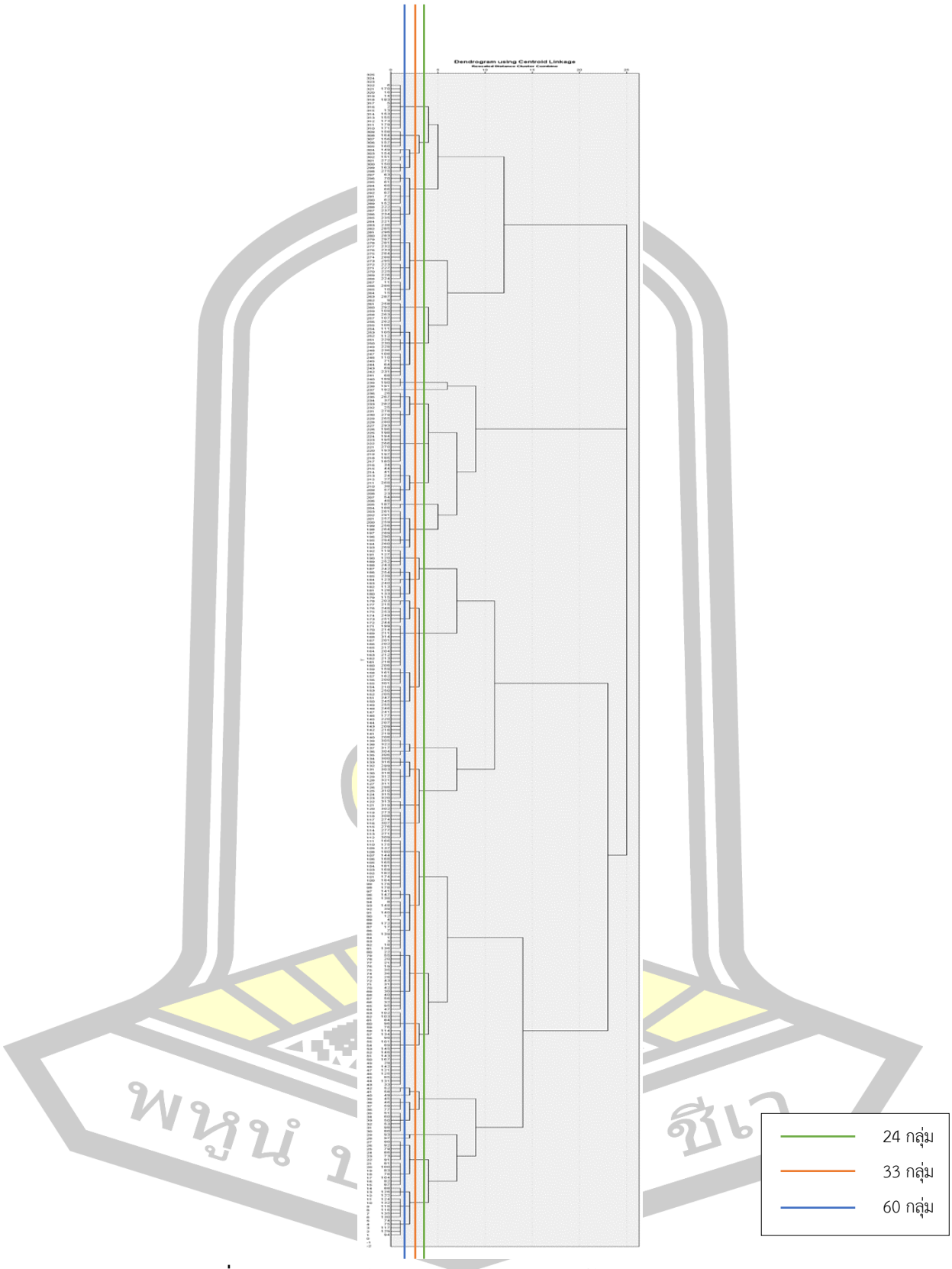
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก

จากการสืบค้นข้อมูลจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในชุมชน(อำเภอ) เพื่อคำนวณอัตราการก่อขยะพลาสติกในทุกชุมชน(อำเภอ) พบว่า ประชากร 1 คน สามารถก่อขยะพลาสติกได้ 7.25 กิโลกรัมต่อปี [26] ทำให้อำเภอต่างๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณขยะพลาสติก ดังตารางที่ 16 (ภาคผนวก)

4.1.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชน (อำเภอ) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

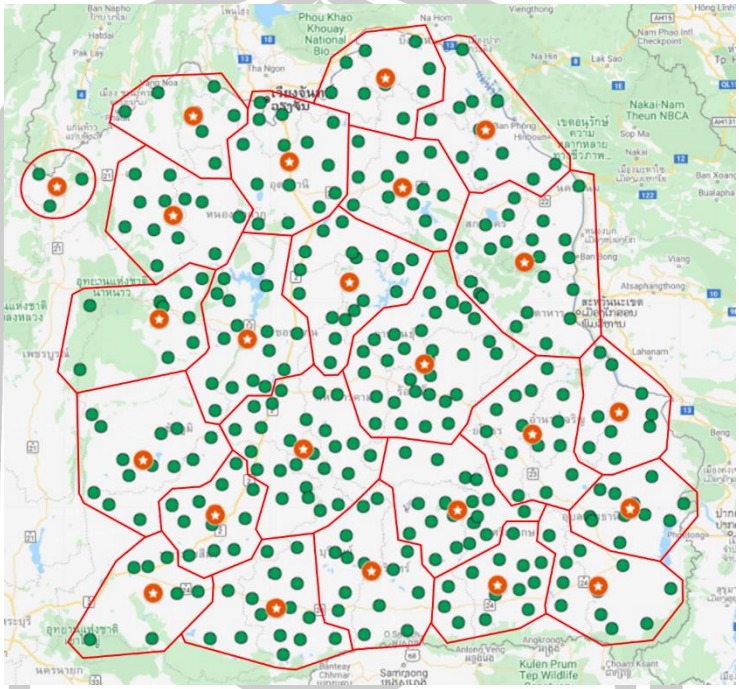
จากการนำข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งพิกัดชุมชน (อำเภอ) ทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมาวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Clustering) จะได้จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ 24 33 และ 60 กลุ่ม โดยดูจากแผนภาพเดนโดรแกรม (Dendrogram) ดังรูปภาพที่ 8 แล้วนำจำนวนกลุ่มที่ได้มาวิเคราะห์กลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) โดยในขั้นตอนของ K-means Clustering ด้วยการกำหนดการหาระยะห่างด้วยวิธี Squared Euclidean Distance และการรวมกลุ่มแบบ Centroid

จากการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) ทำให้ได้จุด Centroid ของกลุ่ม ซึ่งนำมากำหนดเป็นทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกได้อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการกระจายตัวของขยะพลาสติกมาก และสิ้นเปลืองต้นทุนในการจัดการกับขยะพลาสติก อีกทั้งยังเอื้อต่อการรวบรวมขยะพลาสติกไปส่งโรงงานรีไซเคิลพลาสติกอีกด้วย และอาจจะทำให้มีโอกาสในการสร้างโรงงานรีไซเคิลพลาสติกในบริเวณใกล้เคียงศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่กำหนดได้



รูปภาพที่ 8 แผนภาพเดนโดแกรม จากการวิเคราะห์ด้วย Hierarchical Clustering

จากการจัดกลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์กลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) จำนวน 3 แบบ คือ K1 มีจำนวนกลุ่ม 24 กลุ่ม K2 มีจำนวนกลุ่ม 33 กลุ่ม และ K3 มีจำนวนกลุ่ม 60 กลุ่ม โดยแต่ละแบบสามารถแสดงแผนที่กลุ่ม และตารางแสดงพิกัดตำแหน่งกลุ่ม ได้ดังนี้



รูปภาพที่ 9 แผนที่กลุ่มจากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K1 (จำนวน 24 กลุ่ม)

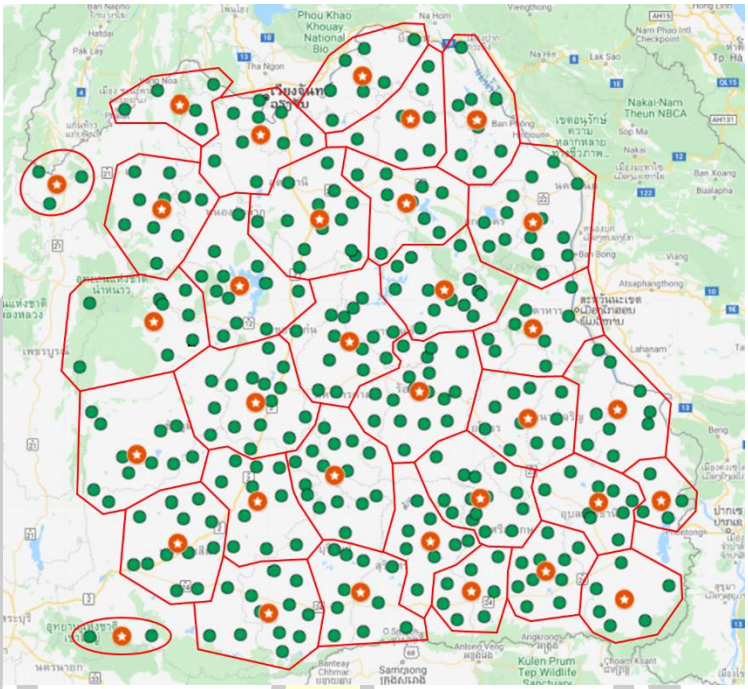
ตารางที่ 1 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K1 (จำนวน 24 กลุ่ม)

กลุ่มที่	ละติจูด	ลองจิจูด	พิกัดที่ตั้ง
1	16.236408	103.708073	ต.เหล่าอ้อย อ.ร่องคำ จ.กาฬสินธุ์
2	16.774428	103.194951	ต.หนองใหญ่ อ.หนองกุงศรี จ.กาฬสินธุ์
3	16.401892	102.498055	ต.ยางคำ อ.หนองเรือ จ.ขอนแก่น
4	16.905199	104.397725	ต.ก้านเหลือง อ.นาแก จ.นครพนม
5	17.775092	104.130101	ต.ดอนเตย อ.นาทม จ.นครพนม
6	17.565913	102.785615	ต.บ้านขาว อ.เมืองอุดรธานี จ.อุดรธานี
7	17.870318	102.122301	ต.บ้านก้อง อ.นายูง จ.อุดรธานี
8	17.406667	101.193333	ต.นาดี อ.ด่านซ้าย จ.เลย
9	17.215833	101.985741	ต.ทรัพย์ไพวัลย์ อ.เอราวัณ จ.เลย
10	14.867202	103.343988	ต.หนองเต็ง อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์

ตารางที่ 1 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K1 (จำนวน 24 กลุ่ม)

กลุ่มที่	ละติจูด	ลองจิจูด	พิกัดที่ตั้ง
11	14.619287	102.690633	ต.หนองโบสถ์ อ.นางรอง จ.บุรีรัมย์
12	15.675000	102.879512	ต.นาโพธิ์ อ.นาโพธิ์ จ.บุรีรัมย์
13	18.117068	103.443395	ต.โซ่ อ.โซ่พิสัย จ.บึงกาฬ
14	15.281162	105.125480	ต.สว่าง อ.สว่างวีระวงศ์ จ.อุบลราชธานี
15	15.922191	105.048272	ต.หนองผือ อ.เขมราฐ จ.อุบลราชธานี
16	14.769520	104.902828	ต.โคกชำแระ อ.ทุ่งศรีอุดม จ.อุบลราชธานี
17	15.241793	102.276490	ต.พลสงคราม อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา
18	14.719008	101.849802	ต.ตะขบ อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา
19	15.272579	103.938189	ต.เบิด อ.รัตนบุรี จ.สุรินทร์
20	15.601809	101.783893	ต.กุดน้ำใส อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ
21	16.532310	101.894405	ต.ห้วยยาง อ.คอนสาร จ.ชัยภูมิ
22	17.400556	103.559514	ต.สว่างแดนดิน อ.สว่างแดนดิน จ.สกลนคร
23	15.774411	104.446648	ต.หัวตะพาน อ.หัวตะพาน จ.อำนาญเจริญ
24	14.777329	104.212184	ต.ดองกำเม็ด อ.ขุขันธ์ จ.ศรีสะเกษ

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



รูปภาพที่ 10 แผนที่กลุ่มจากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K2 (จำนวน 33 กลุ่ม)

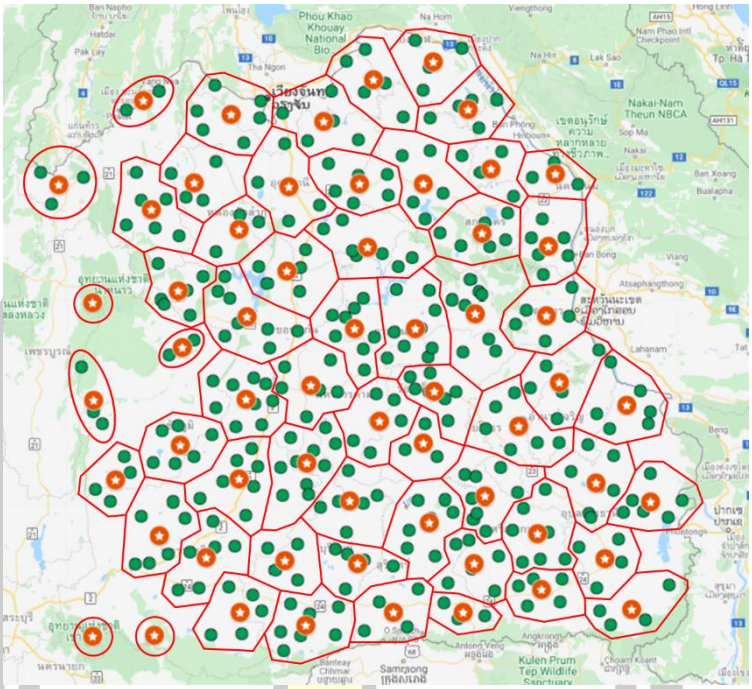
ตารางที่ 2 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K2 (จำนวน 33 กลุ่ม)

กลุ่มที่	ละติจูด	ลองจิจูด	พิกัดที่ตั้ง
1	15.303611	104.917469	ต.ไร่น้อย อ.เมืองอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี
2	14.664398	105.094815	ต.ตบหู อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี
3	15.922191	105.048272	ต.หนองผือ อ.เขมราฐ จ.อุบลราชธานี
4	15.315070	105.350347	ต.ทรายมูล อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี
5	17.832904	104.075625	ต.ดอนเตย อ.นาทม จ.นครพนม
6	17.154504	104.461210	ต.โคกสว่าง อ.ปลาปาก จ.นครพนม
7	15.968490	102.559185	ต.ห้วยแก อ.ชนบท จ.ขอนแก่น
8	16.733310	102.449629	ต.หว้าทอง อ.ภูเวียง จ.ขอนแก่น
9	15.623981	101.742732	ต.กุดน้ำใส อ.จัตุรัส จ.ชัยภูมิ
10	16.498815	101.857733	ต.คอนสาร อ.คอนสาร จ.ชัยภูมิ
11	16.039902	103.684101	ต.รอบเมือง อ.เมืองร้อยเอ็ด จ.ร้อยเอ็ด
12	17.930445	102.033278	ต.นาแค อ.นายูง จ.อุดรธานี
13	17.173077	102.992949	ต.เชียงแหว อ.กุมภวาปี จ.อุดรธานี

ตารางที่ 2 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K2 (จำนวน 33 กลุ่ม)

กลุ่มที่	ละติจูด	ลองจิจูด	พิกัดที่ตั้ง
14	17.282130	103.593796	ต.หนองลาด อ.วาริชภูมิ จ.สกลนคร
15	17.834286	103.622659	ต.บ่อแก้ว อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร
16	15.311722	102.569833	ต.ดงใหญ่ อ.พิมาย จ.นครราชสีมา
17	15.033611	102.024421	ต.พุดชา อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา
18	14.415000	101.635833	ต.วังหมี อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา
19	15.329704	104.102136	ต.บัวหุ่ง อ.ราษีไศล จ.ศรีสะเกษ
20	14.713532	104.039214	ต.ปราสาท อ.ขุขันธ์ จ.ศรีสะเกษ
21	14.846833	104.552389	ต.เขิน อ.น้ำเกลี้ยง จ.ศรีสะเกษ
22	15.482352	103.100630	ต.บ้านยาง อ.พุทไธสง จ.บุรีรัมย์
23	14.570486	102.648588	ต.ชุมแสง อ.นางรอง จ.บุรีรัมย์
24	17.242000	101.910444	ต.หญ้าปล้อง อ.วังสะพุง จ.เลย
25	17.406667	101.193333	ต.นาดี อ.ด่านซ้าย จ.เลย
26	16.706987	103.852026	ต.คำบง อ.ห้วยผึ้ง จ.กาฬสินธุ์
27	15.860894	104.426722	ต.โพธิ์ไทร อ.ป่าติ้ว จ.ยโสธร
28	15.047917	103.758924	ต.หนองบัว อ.ศีขรภูมิ จ.สุรินทร์
29	14.707597	103.278783	ต.ทุ่งมน อ.ปราสาท จ.สุรินทร์
30	18.117024	103.292976	ต.วังหลวง อ.เฝ้าไร่ จ.หนองคาย
31	17.734414	102.589167	ต.บ้านถ่อน อ.ท่าบ่อ จ.หนองคาย
32	16.450903	104.460486	ต.ภูวง อ.หนองสูง จ.มุกดาหาร
33	16.364901	103.202837	ต.นาสีนวน อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว



รูปภาพที่ 11 แผนที่กลุ่มจากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K3 (จำนวน 60 กลุ่ม)

ตารางที่ 3 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K3 (จำนวน 60 กลุ่ม)

กลุ่มที่	ละติจูด	ลองจิจูด	ที่อยู่
1	17.824889	103.014944	ต.สร้างคอม อ.สร้างคอม จ.อุดรธานี
2	17.391167	102.775611	ต.เชียงพิณ อ.เมืองอุดรธานี จ.อุดรธานี
3	17.413009	103.261343	ต.บ้านเชียง อ.หนองหาน จ.อุดรธานี
4	17.871826	102.381468	ต.คำด้วง อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี
5	16.990754	103.318770	ต.หนองนกเขียน อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี
6	16.831611	102.762944	ต.ดงเมืองแอม อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น
7	16.698982	102.012500	ต.นาหนองทุ่ม อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น
8	16.533819	102.488889	ต.หนองเรือ อ.หนองเรือ จ.ขอนแก่น
9	15.987963	102.481515	ต.วังแสง อ.ชนบท จ.ขอนแก่น
10	16.078750	102.927778	ต.นาโพธิ์ อ.กุดรัง จ.มหาสารคาม
11	15.842037	103.400046	ต.หนองแสง อ.วาปีปทุม จ.มหาสารคาม
12	17.511250	104.165069	ต.นาคูณใหญ่ อ.นาหว้า จ.นครพนม
13	16.998472	104.568287	ต.พระซอง อ.นาแก จ.นครพนม

ตารางที่ 3 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K3 (จำนวน 60 กลุ่ม)

กลุ่มที่	ละติจูด	ลองจิจูด	ที่อยู่
14	17.474444	104.616667	ต.รามราช อ.ท่าอุเทน จ.นครพนม
15	15.451805	101.584306	ต.โคกเพชรพัฒนา อ.บำเหน็จณรงค์ จ.ชัยภูมิ
16	15.977177	101.428231	ต.หนองแหลม อ.ภักดีชุมพล จ.ชัยภูมิ
17	16.328334	102.041250	ต.บ้านหัน อ.เกษตรสมบูรณ์ จ.ชัยภูมิ
18	15.679491	102.026389	ต.บ้านค่าย อ.เมืองชัยภูมิ จ.ชัยภูมิ
19	14.915417	102.751667	ต.ลำปลายมาศ อ.ลำปรายมาศ จ.บุรีรัมย์
20	14.897667	103.252611	ต.สองชั้น อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์
21	14.482638	102.895443	ต.ตาจง อ.ละหานทราย จ.บุรีรัมย์
22	15.564861	102.902528	ต.หนองแวง อ.บ้านใหม่ไชยพจน์ จ.บุรีรัมย์
23	15.308935	103.195694	ต.ดงพลอง อ.แคนดง จ.บุรีรัมย์
24	14.418333	101.850000	ต.วังน้ำเขียว อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา
25	15.077870	101.884907	ต.หนองสรวง อ.ขามทะเลสอ จ.นครราชสีมา
26	14.936667	102.204352	ต.หนองระเวียง อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา
27	14.571166	102.441278	ต.สุขไพบูลย์ อ.เสิงสาง จ.นครราชสีมา
28	15.455794	102.434524	ต.คูขาด อ.คง จ.นครราชสีมา
29	14.411667	101.421667	ต.หมูสี อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา
30	14.718667	104.515333	ต.ภูเงิน อ.กันทรลักษ์ จ.ศรีสะเกษ
31	15.340651	104.126193	ต.บัวหุ่ง อ.ราษีไศล จ.ศรีสะเกษ
32	15.091270	104.491508	ต.ดู่ อ.กันทรารมย์ จ.ศรีสะเกษ
33	14.892963	104.050750	ต.พิมายเหลือ อ.ปรางค์กู่ จ.ศรีสะเกษ
34	15.696482	103.699352	ต.นาใหญ่ อ.สุวรรณภูมิ จ.ร้อยเอ็ด
35	16.037936	103.776984	ต.อุ่มเม้า อ.ธวัชบุรี จ.ร้อยเอ็ด
36	16.454688	103.232118	ต.อิตื้อ อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์
37	16.550123	104.058574	ต.บัวขาว อ.กุฉินารายณ์ จ.กาฬสินธุ์
38	16.452747	103.644568	ต.นาม่วง อ.ดอนจาน จ.กาฬสินธุ์
39	15.163175	103.743730	ต.หนองระฆัง อ.สนม จ.สุรินทร์
40	14.572014	103.494792	ต.หนองใหญ่ อ.ปราสาท จ.สุรินทร์

ตารางที่ 3 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K3 (จำนวน 60 กลุ่ม)

กลุ่มที่	ละติจูด	ลองจิจูด	ที่อยู่
41	14.569815	103.976482	ต.สำเภาลูน อ.บัวเชด จ.สุรินทร์
42	14.926250	104.957222	ต.นาเจริญ อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี
43	14.587431	105.145556	ต.ยางใหญ่ อ.น้ำยืน จ.อุบลราชธานี
44	15.431786	104.895357	ต.เหล่าเสือโก้ก อ.เหล่าเสือโก้ก จ.อุบลราชธานี
45	15.302639	105.274676	ต.ระเว อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี
46	15.947917	105.107639	ต.หนองผือ อ.เขมราฐ จ.อุบลราชธานี
47	17.418333	102.127708	ต.กุดแห่ อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู
48	17.110833	102.432407	ต.บ้านขาม อ.เมืองหนองบัวลำภู จ.หนองบัวลำภู
49	17.960000	101.776667	ต.บุฮม อ.เชียงคาน จ.เลย
50	17.406667	101.193333	ต.นาดี อ.ด่านซ้าย จ.เลย
51	17.237500	101.831389	ต.ศรีสงคราม อ.วังสะพุง จ.เลย
52	17.899536	104.011944	ต.โพธิ์หมากแข้ง อ.บึงโขงหลง จ.บึงกาฬ
53	18.093333	103.360667	ต.บัวตูม อ.โซ่พิสัย จ.บึงกาฬ
54	18.216667	103.770833	ต.นาสิงห์ อ.ศรีวิไล จ.บึงกาฬ
55	17.408241	103.704444	ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร
56	17.084074	104.108657	ต.ดงมะไฟ อ.เมืองสกลนคร จ.สกลนคร
57	16.540222	104.553833	ต.กุดแข้ อ.เมืองมุกดาหาร จ.มุกดาหาร
58	16.621512	101.547472	ต.ทุ่งลุยลาย อ.คอนสาร จ.ชัยภูมิ
59	16.096833	104.644389	ต.ไร่สีสุก อ.เสนางคนิคม จ.อำนาญเจริญ
60	15.807031	104.360000	ต.กระจาย อ.ป่าติ้ว จ.ยโสธร

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

4.2 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

งานวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาตัวแบบทางคณิศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ แบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Non-linear Programming : MINLP) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุด ซึ่งมีดัชนี ตัวแปรตัดสินใจ พารามิเตอร์ และโครงสร้างของตัวแบบ MINLP ดังต่อไปนี้

ดัชนี

i	คือ แหล่งก่อขยะ(อำเภอ)	; $i=1,...,I$
j	คือ ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก	; $j=1,...,J$
k	คือ โรงงานรีไซเคิล	; $k=1,...,K$
v	คือ ประเภทของรถบรรทุก	; $v=1,...,V$

ตัวแปรตัดสินใจ

E_j	ตัวแปรในการกำหนดตำแหน่ง โดย เท่ากับ 1 เมื่อศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่ j ถูกจัดตั้งขึ้นหรือเปิดดำเนินการ และเท่ากับ 0 เมื่อไม่ถูกจัดตั้งหรือไม่เปิดดำเนินการ
X_{ij}	ตัวแปรในการกำหนดการขนส่ง โดย เท่ากับ 1 เมื่อมีการขนส่งขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะที่ i ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่ j และเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการขนส่ง
Y_{jk}	ตัวแปรในการกำหนดการขนส่ง โดย เท่ากับ 1 เมื่อมีการขนส่งขยะพลาสติกจากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่ j ไปยังโรงงานรีไซเคิลที่ k และเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการขนส่ง
Se_j	ปริมาณขยะพลาสติกที่จัดเก็บในศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่ j (กิโลกรัม)
So_k	ปริมาณขยะพลาสติกที่จัดเก็บในโรงงานรีไซเคิลที่ k (กิโลกรัม)
Sr_k	ปริมาณขยะพลาสติกที่นำเข้าไปรีไซเคิลในโรงงานที่ k (กิโลกรัม)
Sp_k	ปริมาณเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่จัดเก็บในโรงงานรีไซเคิลที่ k (กิโลกรัม)
PR_k	ปริมาณเม็ดพลาสติกที่รีไซเคิลโดยโรงงานรีไซเคิลที่ k (กิโลกรัม)
PD_{ijv}	ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากแหล่งก่อขยะ i ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก j ด้วยรถบรรทุก v (กิโลกรัม)
PE_{jkv}	ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากศูนย์รวบรวม j ไปยังโรงงานรีไซเคิล k ด้วยรถบรรทุก v (กิโลกรัม)

พารามิเตอร์

Pld_i ปริมาณขยะพลาสติกของแหล่งก่อขยะที่ i (กิโลกรัม)

Ce_j ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่ j (บาท/กิโลกรัม)

Co_k ต้นทุนการจัดเก็บขยะพลาสติกของโรงงานรีไซเคิลที่ k (บาท/กิโลกรัม)

Cr_k ต้นทุนการผลิตของโรงงานรีไซเคิลที่ k (บาท/กิโลกรัม)

Cp_k ต้นทุนการจัดเก็บเม็ดพลาสติกของโรงงานรีไซเคิลที่ k (บาท/กิโลกรัม)

Ct_v ต้นทุนการขนส่งด้วยรถประเภทที่ v (บาท/กิโลเมตร)

D_{ij} ระยะทางระหว่างแหล่งก่อขยะที่ i กับศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่ j (กิโลเมตร)

D_{jk} ระยะทางระหว่างศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก j กับโรงงานรีไซเคิลที่ k (กิโลเมตร)

$PlCap_k$ กำลังการผลิตเม็ดพลาสติกของโรงงานรีไซเคิลที่ k (กิโลกรัม)

$EeCap_j$ ขีดความสามารถในการดำเนินงาน (รับซื้อ/คัดแยก/จัดเก็บ) ของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่ j (กิโลกรัม)

$ErCap_k$ ขีดความสามารถในการดำเนินงาน (รับซื้อ/คัดแยก/จัดเก็บ) ของโรงงานรีไซเคิลที่ k (กิโลกรัม)

$EpCap_k$ ขีดความสามารถในการจัดเก็บเม็ดพลาสติกรีไซเคิลของโรงงานที่ k (กิโลกรัม)

$TCap_v$ ความจุสูงสุดของรถบรรทุกประเภทที่ v (กิโลกรัม)

α อัตราการแปลงขยะพลาสติกเป็นเม็ดพลาสติก (กิโลกรัม)

M จำนวนจริงที่มีค่ามากพอ (Positive Large Number)

สมการเป้าหมาย

เพื่อให้ต้นทุนรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุด

$$Minimize\left\{\left(\sum_{j=1}^{J} Ce_j Se_j E_j + \sum_{k=1}^{K}\left(Co_k So_k + Cr_k Sr_k + Cp_k Sp_k\right)\right)\right. \quad (4.1)$$
$$\left. + \left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{v=1}^{V} Ct_v X_{ij} D_{ij} \frac{PD_{ijv}}{TCap_v} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{v=1}^{V} Ct_v Y_{jk} D_{jk} \frac{PE_{jkv}}{TCap_v}\right)\right\}$$

ข้อจำกัด

$$Pld_i \geq \sum_{j=1}^{J}\sum_{v=1}^{V} PD_{ijv} \quad ; \forall_i \qquad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ij} = 1 \quad ; \forall_i \qquad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^{I} X_{ij} \geq 1 \quad ; \forall_j \qquad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{v=1}^{V} PD_{ijv} \leq M\left(E_j\right) \quad ; \forall_j \qquad (4.5)$$

$$Se_j = \sum_{i=1}^{I}\sum_{v=1}^{V} PD_{ijv} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{v=1}^{V} PE_{jkv} \quad ; \forall_j \qquad (4.6)$$

$$Se_j \leq EeCap_j\left(E_j\right) \quad ; \forall_j \qquad (4.7)$$

$$\sum_{k=1}^{K} Y_{jk} \geq 1 \quad ; \forall_j \qquad (4.8)$$

$$\sum_{j=1}^{J} Y_{jk} \geq 1 \quad ; \forall_k \qquad (4.9)$$

$$So_k = \sum_{j=1}^{J}\sum_{v=1}^{V} PE_{jkv} - Sr_k \quad ; \forall_k \qquad (4.10)$$

$$So_k \leq ErCap_k \quad ; \forall_k \qquad (4.11)$$

$$\alpha\left(Sr_k\right) = PR_k \quad ; \forall_k \qquad (4.12)$$

$$PR_k \leq PlCap_k \quad ; \forall_k \qquad (4.13)$$

$$Sp_k \leq EpCap_k \quad ; \forall_k \qquad (4.14)$$

$$Se_j \geq 0 \quad ; \forall_j \qquad (4.15)$$

$$PR_k, So_k, Sp_k, Sr_k \geq 0 \quad ; \forall_k \qquad (4.16)$$

$$PD_{ijv} \geq 0 \quad ; \forall_i, \forall_j, \forall_v \qquad (4.17)$$

$$PE_{jkv} \geq 0 \quad ; \forall_j, \forall_k, \forall_v \qquad (4.18)$$

$$E_j \in \{0,1\} \quad ; \forall_j \qquad (4.19)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall_i, \forall_j \qquad (4.20)$$

$$Y_{jk} \in \{0,1\} \quad ; \forall_j, \forall_k \qquad (4.21)$$

พหน ปณ ฑิโต ชีว

สมการที่ (4.1) เป็นสมการวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุด ประกอบไปด้วย ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก ต้นทุนการดำเนินงาน (จัดเก็บขยะพลาสติก/ผลิต/จัดเก็บเม็ดพลาสติกรีไซเคิล) ของโรงงานรีไซเคิล และต้นทุนการขนส่งขยะพลาสติก

สมการที่ (4.2) เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกต้องมีไม่เกินปริมาณขยะพลาสติกจากแหล่งต่างๆ

สมการที่ (4.3) ขยะจากแต่ละอำเภอ ใดๆ สามารถส่งไปยังศูนย์รวบรวมได้แห่งเดียว

สมการที่ (4.4) ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกใดๆ สามารถรับขยะพลาสติกได้จากหลายอำเภอ

สมการที่ (4.5) เป็นการกำหนดให้ปริมาณขยะพลาสติกทั้งหมดที่ขนส่งจากแหล่งก่อขยะไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก เท่ากับจำนวนจริงที่มีค่ามากพอ (Positive Large Number)

สมการที่ (4.6) สมดุลสินค้าคงคลังขยะพลาสติกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก

สมการที่ (4.7) เป็นการประกันว่าศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกมีขีดความสามารถในการจัดเก็บขยะพลาสติก

สมการที่ (4.8) ขยะพลาสติกจากแต่ละศูนย์รวบรวมใดๆ สามารถส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลได้หลายแห่ง

สมการที่ (4.9) โรงงานรีไซเคิลใดๆ สามารถรับขยะพลาสติกได้จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกหลายแหล่ง

สมการที่ (4.10) สมดุลสินค้าคงคลังขยะพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล (ขยะพลาสติก)

สมการที่ (4.11) เป็นการประกันว่าโรงงานรีไซเคิลมีขีดความสามารถในการจัดเก็บขยะพลาสติก

สมการที่ (4.12) ปริมาณเม็ดพลาสติกที่รีไซเคิลได้ต้องเท่ากับปริมาณขยะพลาสติกที่นำเข้าไปรีไซเคิลคูณด้วยอัตราการแปลง

สมการที่ (4.13) เป็นการประกันว่าโรงงานรีไซเคิลมีขีดความสามารถในการรีไซเคิลเม็ดพลาสติก

สมการที่ (4.14) เป็นการประกันว่าโรงงานรีไซเคิลมีขีดความสามารถในการจัดเก็บเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

สมการที่ (4.15 - 4.18) ตัวแปรตัวสินใจมีค่าเป็นจำนวนจริงที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0 (Non-negative)

สมการที่ (4.19) ตัวแปรในการกำหนดตำแหน่ง โดย เท่ากับ 1 เมื่อศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกถูกจัดตั้งขึ้นหรือเปิดดำเนินการ และ เท่ากับ 0 เมื่อไม่ถูกจัดตั้งหรือไม่เปิดดำเนินการ

สมการที่ (4.20) ตัวแปรในการกำหนดการขนส่งทางถนน โดย เท่ากับ 1 เมื่อมีการขนส่งขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะ(อำเภอ) ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการขนส่ง

สมการที่ (4.21) ตัวแปรในการกำหนดการขนส่งทางถนน โดย เท่ากับ 1 เมื่อมีการขนส่งขยะพลาสติกจากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก ไปยังโรงงานรีไซเคิล และเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการขนส่ง

4.3 การประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบ MINLP ที่พัฒนาขึ้นกับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีทั้งหมด 20 จังหวัด 322 อำเภอ และมีประชากรทั้งหมด 22,015,305 คน และมีค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบสรุปได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ MINLP สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

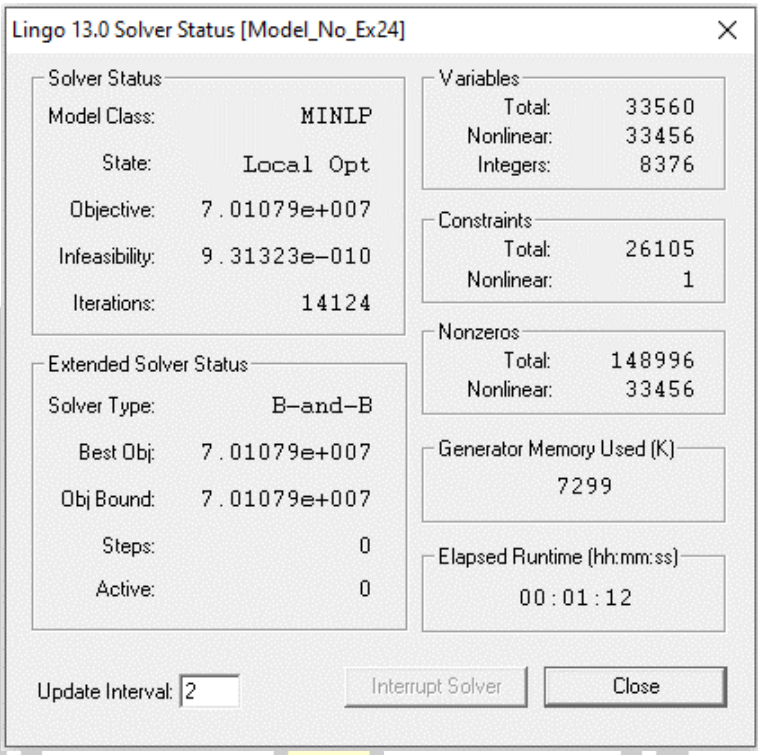
พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	แหล่งที่มา
ปริมาณขยะพลาสติกของแหล่งก่อขยะ	7.25	กิโลกรัม/คน/ปี	ธารา บัวคำศรี [27]
ต้นทุนการดำเนินงานของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก	0.06	บาท/กิโลกรัม	คำนวณค่าเฉลี่ยจากต้นทุนการดำเนินงานของโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]
ต้นทุนการจัดเก็บขยะพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล	0.03 – 0.09	บาท/กิโลกรัม	เทียบเคียงข้อมูลทุนจดทะเบียนของแต่ละโรงงาน [29] กับโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]
ต้นทุนการผลิตของโรงงานรีไซเคิล	0.50 – 1.50	บาท/กิโลกรัม	เทียบเคียงข้อมูลทุนจดทะเบียนของแต่ละโรงงาน [29] กับโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]
ต้นทุนการจัดเก็บเม็ดพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล	0.17 – 0.52	บาท/กิโลกรัม	เทียบเคียงข้อมูลทุนจดทะเบียนของแต่ละโรงงาน [29] กับโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]
ต้นทุนการขนส่งทางถนน	11 – 22.5	บาท/กิโลเมตร	บริษัท จิซทิกซ์ จำกัด [30]
ระยะทางจากแหล่งก่อขยะไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก	4.1 – 721.8	กิโลเมตร	คำนวณด้วยวิธี Euclidean Distance
ระยะทางระหว่างศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล	9.9 – 674.3	กิโลเมตร	คำนวณด้วยวิธี Euclidean Distance
กำลังการผลิตเม็ดพลาสติกของโรงงานรีไซเคิล	143,000 – 14,950,000	กิโลกรัม	เทียบเคียงข้อมูลทุนจดทะเบียนของแต่ละโรงงาน [29] กับโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]
ขีดความสามารถในการดำเนินงาน (รับซื้อ/คัดแยก/จัดเก็บ) ของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก	2,400,000	กิโลกรัม	คำนวณค่าเฉลี่ยของขีดความสามารถของโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]
ขีดความสามารถในการดำเนินงาน (รับซื้อ/คัดแยก/จัดเก็บ) ของโรงงานรีไซเคิล	105,600 – 11,040,000	กิโลกรัม	เทียบเคียงข้อมูลทุนจดทะเบียนของแต่ละโรงงาน [29] กับโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย	แหล่งที่มา
ขีดความสามารถในการจัดเก็บเม็ดพลาสติกรีไซเคิลของโรงงาน	7,920 – 828,000	กิโลกรัม	เทียบเคียงข้อมูลทุนจดทะเบียนของแต่ละโรงงาน [29] กับโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]
ความจุสูงสุดของรถบรรทุกประเภท	1,000 – 14,000	กิโลกรัม	บริษัท จิชทิกซ์ จำกัด [30]
อัตราการแปลงขยะพลาสติกเป็นเม็ดพลาสติก	0.36	กิโลกรัม	ข้อมูลจากโรงงานรีไซเคิลพลาสติก [28]

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาได้ข้างต้น ผู้วิจัยได้นำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Pro เครื่องประมวลผล CPU 12th Gen Intel® Core™ i5-12400F และหน่วยความจำ RAM 32 GB โดยประมวลผลตัวแบบสำหรับ 3 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ K1 มีตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกจำนวน 24 แห่ง สถานการณ์ K2 มีตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกจำนวน 33 แห่ง และ สถานการณ์ K3 มีตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกจำนวน 60 แห่ง โดยมีผลลัพธ์ของแต่ละสถานการณ์ดังหัวข้อ 4.3.1 – 4.3.3 ต่อไปนี้

4.3.1 ผลเฉลยของสถานการณ์ K1

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบ MINLP ที่พัฒนาขึ้นกับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลเฉลยของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น ทำให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุดเท่ากับ 70.11 ล้านบาท ภายใต้ขนาดตัวแปรทั้งหมด 33,560 ตัวแปร และมีสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 26,105 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 1 นาที 12 วินาที ดังในรูปภาพที่ 12



รูปภาพที่ 12 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 แบบ K1 (จำนวน 24 กลุ่ม)

ตารางที่ 5 ผลเฉลยของสถานการณ์ K1 แสดงศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการ และปริมาณการกระจายขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะพลาสติก ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก

จังหวัด	จำนวนอำเภอ	ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก														รวม (กิโลกรัม)
		กาฬสินธุ์ (2)	ขอนแก่น (1)	ชัยภูมิ (2)	นครพนม (2)	นครราชสีมา (2)	บึงกาฬ (1)	บุรีรัมย์ (3)	เลย (2)	ศรีสะเกษ (1)	สกลนคร (1)	สุรินทร์ (1)	อำนาจเจริญ (1)	อุดรธานี (2)	อุบลราชธานี (3)	
กาฬสินธุ์	18	2,579,909	1,070,889	141,439	133,828	399,484	58,206	34,018	191,643	27,809	21,913	833,548	28,142	1,031,549	577,041	**7,129,418**
ขอนแก่น	26	3,572,515	278,256	2,887	1,132,638	535,225	251,044	96,001	2,078,221	120,059	127,558	1,510,907	86,366	2,138,102	1,141,044	**13,070,822**
ชัยภูมิ	16	1,120,865	18,280	781	8,013	678,839	39,176	421,477	2,121,984	23,671	601	51,493	959,017	2,693,057	108,584	**8,245,838**
นครพนม	12	350,493	158,088	4,513	13,158	385,708	1,016,120	817,719	1,181,172	70,306	1,920	62,929	12,006	853,577	277,995	**5,205,703**
นครราชสีมา	32	1,131,034	1,535,189	878,638	1,465,435	1,846,897	2,060,512	570,056	1,909,437	497,456	1,042,278	591,197	2,627,414	1,119,772	1,929,407	**19,204,721**
บึงกาฬ	8	189,389	293,725	535,080	268,015	241,910	269,989	27,117	255,704	92,269	197,026	96,390	93,933	220,085	286,349	**3,066,982**
บุรีรัมย์	23	1,338,687	1,053,005	286,874	986,427	713,951	779,095	413,609	1,640,326	398,272	552,330	479,872	375,732	1,008,939	1,542,048	**11,569,166**
มหาสารคาม	13	603,831	561,779	225,848	550,407	548,054	447,633	230,595	1,309,300	216,036	363,534	293,574	233,053	575,217	820,460	**6,979,321**
มุกดาหาร	7	117,718	281,054	92,557	351,624	425,415	116,705	55,899	255,965	56,797	386,747	62,132	41,898	127,564	188,435	**2,560,512**
ยโสธร	9	272,411	326,084	72,151	271,572	1,116,305	223,104	112,702	361,015	109,178	286,800	118,265	39,337	236,190	350,303	**3,895,418**
ร้อยเอ็ด	20	739,264	694,831	254,062	573,270	2,104,103	623,401	327,957	939,162	295,511	335,311	409,838	293,080	735,397	1,144,842	**9,470,030**
เลย	14	411,552	338,910	129,219	242,105	284,636	306,336	170,644	512,355	145,984	438,966	178,390	162,646	805,311	534,334	**4,661,388**
ศรีสะเกษ	22	1,671,047	688,255	252,316	638,135	832,308	894,094	341,011	1,837,473	195,546	264,978	378,615	412,086	921,541	1,350,825	**10,678,228**
สกลนคร	18	520,308	474,185	1,073,035	474,385	864,196	594,623	486,275	1,005,865	171,232	247,768	284,406	209,224	1,143,409	827,666	**8,376,578**
สุรินทร์	17	470,243	894,272	456,959	1,038,451	1,035,921	659,743	778,709	1,310,242	168,357	1,337,927	201,721	199,184	437,201	1,138,094	**10,127,025**
หนองคาย	9	323,910	246,267	462,179	217,687	565,619	239,996	105,391	332,418	117,493	96,782	142,910	145,089	311,335	479,680	**3,786,755**
หนองบัวลำภู	6	199,226	207,625	13,214	155,169	629,812	196,403	539,311	855,557	93,204	109,485	103,140	95,513	218,079	301,915	**3,717,655**
อำนาจเจริญ	7	174,368	981,142	78,711	209,375	268,981	124,082	75,840	194,230	65,343	136,175	77,816	1,387	145,279	208,549	**2,741,276**
อุดรธานี	20	974,224	955,349	659,590	689,491	922,317	788,650	522,771	1,185,913	384,946	1,170,242	573,330	406,369	808,236	1,461,755	**11,503,184**
อุบลราชธานี	25	948,312	924,242	1,496,259	891,898	2,007,184	870,455	473,509	1,837,775	414,509	466,643	507,076	583,456	1,145,962	1,053,664	**13,620,945**
รวม	**322**	**17,709,307**	**11,981,426**	**7,116,310**	**10,311,082**	**16,406,864**	**10,559,368**	**6,600,611**	**21,315,758**	**3,663,975**	**7,584,984**	**6,957,551**	**7,004,932**	**16,675,803**	**15,722,990**	**159,610,961**

ตารางที่ 6 สรุปการกระจายขยะพลาสติกของสถานการณ์ K1 จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล

จังหวัด	จำนวนศูนย์รวบรวม	โรงงานรีไซเคิล									รวม (กิโลกรัม)
		กาฬสินธุ์ (4)	ขอนแก่น (4)	ชัยภูมิ (1)	นครพนม (1)	นครราชสีมา (7)	มหาสารคาม (1)	ร้อยเอ็ด (3)	อุดรธานี (3)	อุบลราชธานี (2)	
กาฬสินธุ์	2	19,271	4,104,535	4,239	4,074	69,128	5,376	2,948,292	1,280	25,231	**7,181,426**
ขอนแก่น	1	14,512	4,522,650	13,434	2,057	110,526	2,357	28,028	466	22,279	**4,716,310**
ชัยภูมิ	2	13,270	4,145,759	3,075	2,630	1,307,839	3,422	16,290	956	17,840	**5,511,082**
นครพนม	2	5,617,526	772,834	4,708	2,861,224	36,091	3,598	13,123	2,286,030	11,731	**11,606,864**
นครราชสีมา	2	10,645	3,728	4,374	2,964	5,715,489	4,305	8,672	901	8,291	**5,759,368**
บึงกาฬ	1	3,359	0	0	1,707	4,172,123	1,761	9,259	2,034	10,368	**4,200,611**
บุรีรัมย์	3	3,642,990	4,518	2,250,994	5,553	7,137,683	7,052	17,282	1,613	1,048,072	**14,115,758**
เลย	2	0	1,802	0	1,663	6,285,591	2,388	6,602,415	661	14,788	**12,909,307**
ศรีสะเกษ	1	6,942	2,350	0	2,299	1,245,865	3,178	3,178	164	0	**1,263,975**
สกลนคร	1	5,265	5,148,115	2,005	1,075	15,656	1,172	5,469	1,484	4,743	**5,184,984**
สุรินทร์	1	3,779	0	0	3,036	1,596,266	705,056	2,236,607	1,055	11,751	**4,557,551**
อำนาจเจริญ	1	5,674	6,410	2,727	1,097	19,368	1,283	6,586	4,555,789	5,998	**4,604,932**
อุดรธานี	2	10,865	1,800	0	1,723	11,820,693	5,427	18,716	1,615	14,964	**11,875,803**
อุบลราชธานี	3	1,131,516	4,654	0	6,983	4,645,990	7,857	491,092	2,619	2,232,278	**8,522,990**
รวม	**24**	**10,485,613**	**18,719,156**	**2,285,556**	**2,898,086**	**44,178,309**	**754,233**	**12,405,009**	**6,856,667**	**3,428,333**	**102,010,961**

จากตารางที่ 5 พบว่า ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการกระจายอยู่ทั้งหมด 14 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บึงกาฬ บุรีรัมย์ เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อำนาจเจริญ อุดรธานี และอุบลราชธานี โดยมีปริมาณการขนส่งทั้งหมด 159,610,961 กิโลกรัมศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่มีการขนส่งขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะ(อำเภอ) มากที่สุดก็คือจังหวัดเลย มีปริมาณ 21,315,758 กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดกาฬสินธุ์ มีปริมาณ 17,709,307 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดศรีสะเกษ มีปริมาณ 3,663,975 กิโลกรัม

จากตารางที่ 6 พบว่า ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิลจังหวัดต่างๆ มีทั้งหมด 102,010,961 กิโลกรัม และถูกขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลในจังหวัดนครราชสีมามากที่สุด จำนวน 44,178,309 กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่นจำนวน 18,719,156 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดมหาสารคามจำนวน 754,233 กิโลกรัม

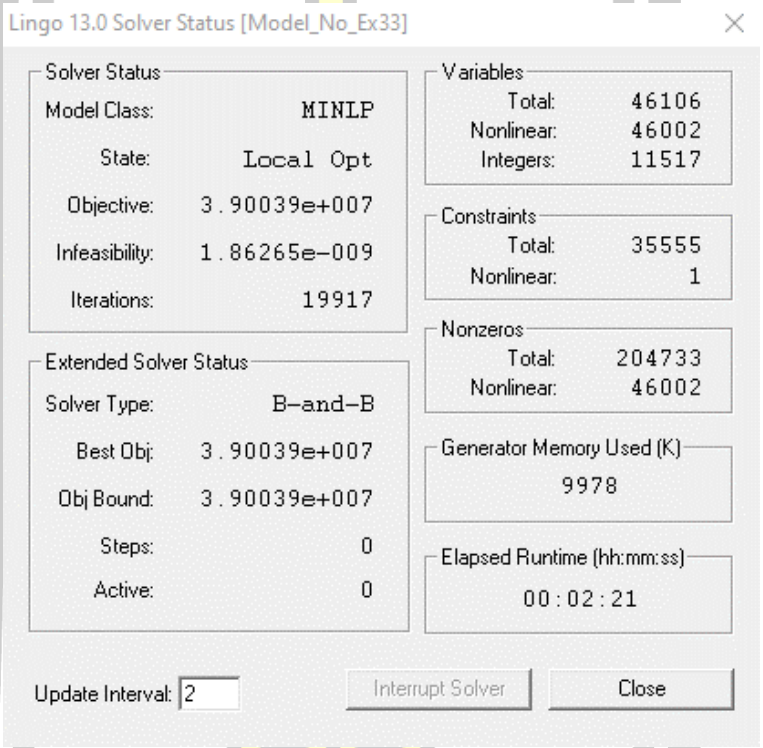
ตารางที่ 7 ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลของสถานการณ์ K1

จังหวัด	**จำนวนโรงงานรีไซเคิล**	**ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)**
กาฬสินธุ์	4	2,275,000
ขอนแก่น	4	3,743,543
ชัยภูมิ	1	650,000
นครพนม	1	772,704
นครราชสีมา	7	9,561,074
มหาสารคาม	1	214,500
ร้อยเอ็ด	3	793,389
อุดรธานี	3	1,950,000
อุบลราชธานี	2	975,000
รวม	**26**	**20,935,210**

จากตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลพลาสติกของจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 20,935,210 กิโลกรัม โดยจังหวัดที่มีการผลิตของโรงงานรีไซเคิลสูงสุดคือ จังหวัดนครราชสีมาจำนวน 9,561,074 กิโลกรัม รองลงมาคือ จังหวัดขอนแก่นจำนวน 3,743,543 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดมหาสารคามจำนวน 214,500 กิโลกรัม

4.3.2 ผลเฉลยของสถานการณ์ K2

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบ MINLP ที่พัฒนาขึ้นกับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลเฉลยของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น ทำให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุดเท่ากับ 39.01 ล้านบาท ภายใต้ขนาดตัวแปรทั้งหมด 46,106 ตัวแปร และมีสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 35,555 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 2 นาที 21 วินาที ดังในรูปภาพที่ 13



รูปภาพที่ 13 สรุปการประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO 13.0 แบบ K2 (จำนวน 33 กลุ่ม)

ตารางที่ 8 ผลเฉลยของสถานการณ์ K2 แสดงศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการ และปริมาณการกระจายขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะพลาสติก ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก

จังหวัด	จำนวนอำเภอ	ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก																	รวม (กิโลกรัม)
		กาฬสินธุ์ (2)	ขอนแก่น (2)	ชัยภูมิ (2)	นครพนม (2)	นครราชสีมา (3)	บุรีรัมย์ (2)	มหาสารคาม (1)	มุกดาหาร (1)	ยโสธร (1)	ร้อยเอ็ด (1)	เลย (2)	ศรีสะเกษ (3)	สกลนคร (2)	สุรินทร์ (2)	หนองคาย (2)	อุดรธานี (2)	อุบลราชธานี (4)	
กาฬสินธุ์	18	47,777	192,117	11,502	238,317	10,638	3,009,228	476,904	220,644	32,444	4,319	1,430	230,960	14,554	193,328	1,158,616	381,076	905,563	**7,129,418**
ขอนแก่น	26	5,039	2,033,873	47,696	552,390	64,283	5,423,160	352,952	17,582	5,310	2,794,770	57,112	1,147,425	138,934	36,010	22,627	102,438	269,221	**13,070,822**
ชัยภูมิ	16	1,682	7,941	1,212,013	1,059,191	56	1,656,150	444,190	41	1,801	0	0	2,883,141	2,407	788,135	185,574	2,795	720	**8,245,838**
นครพนม	12	602	772,641	1,087,749	893,774	483,425	1,217	837,045	205	844	22,500	505,030	192,734	34,297	1,276	254,588	4,227	113,550	**5,205,703**
นครราชสีมา	32	74,621	1,196,736	2,882,834	3,317,921	3,683,966	667,949	139,995	25,382	106,905	668,975	179,211	211,952	140,572	44,096	4,785,606	772,212	305,785	**19,204,721**
บึงกาฬ	8	8,064	25,436	20,140	327,406	145,316	21,000	14,070	8,286	6,993	98,916	30,535	538,001	113,077	24,633	28,772	453,256	1,203,082	**3,066,982**
บุรีรัมย์	23	283,911	706,438	1,024,937	854,977	998,971	525,738	313,940	239,176	477,030	808,000	816,456	1,010,319	523,082	707,245	527,896	1,101,926	649,126	**11,569,166**
มหาสารคาม	13	402,220	179,146	1,089,660	1,093,685	278,709	322,378	159,603	461,656	140,315	125,333	271,917	325,776	353,627	268,361	423,478	378,822	704,636	**6,979,321**
มุกดาหาร	7	41,866	79,580	331,382	820,571	143,985	115,690	44,999	25,436	48,468	55,183	230,433	164,750	91,073	91,530	70,243	115,004	90,317	**2,560,512**
ยโสธร	9	65,123	115,683	705,281	488,300	187,043	162,267	65,389	382,433	75,703	60,217	92,919	186,743	130,426	162,531	80,268	819,271	115,821	**3,895,418**
ร้อยเอ็ด	20	192,984	1,259,842	430,009	878,286	882,776	409,850	183,463	165,607	260,877	143,807	659,000	1,148,855	359,940	337,607	300,212	606,483	1,250,432	**9,470,030**
เลย	14	83,838	321,806	955,093	187,804	272,647	181,779	200,130	93,097	97,742	99,655	92,597	289,516	166,613	243,321	151,032	171,277	1,053,443	**4,661,388**
ศรีสะเกษ	22	206,642	1,019,110	566,081	1,126,980	974,262	364,622	249,948	164,704	191,430	296,996	682,761	1,787,722	1,031,137	315,204	262,448	704,617	733,565	**10,678,228**
สกลนคร	18	154,817	758,342	749,340	284,300	1,087,100	653,044	241,627	136,903	150,606	155,303	802,628	370,288	395,432	711,328	271,507	399,556	1,054,457	**8,376,578**
สุรินทร์	17	202,411	585,943	619,951	656,102	1,462,307	408,998	350,066	192,286	1,101,686	289,362	362,323	550,321	1,106,391	495,145	749,510	461,107	533,115	**10,127,025**
หนองคาย	9	65,059	532,286	235,171	232,945	567,795	168,216	108,590	66,947	85,384	85,190	206,022	262,944	196,367	194,869	362,689	185,724	230,557	**3,786,755**
หนองบัวลำภู	6	593,839	860,960	142,007	190,152	424,297	410,130	45,486	32,053	68,648	51,237	86,195	159,675	88,652	155,367	164,723	147,448	96,785	**3,717,655**
อำนาจเจริญ	7	22,279	454,855	107,584	102,174	159,372	152,261	31,390	55,044	42,668	51,479	61,262	142,962	72,115	67,832	135,735	99,236	983,028	**2,741,276**
อุดรธานี	20	176,755	443,213	620,905	517,947	893,959	494,272	197,686	409,124	421,330	272,400	342,193	771,874	368,366	716,951	652,727	1,935,410	2,268,072	**11,503,184**
อุบลราชธานี	25	257,039	1,751,760	475,356	411,764	1,514,318	507,248	195,328	205,930	1,156,914	548,780	1,281,728	864,158	1,727,928	410,855	1,316,400	499,837	495,601	**13,620,945**
รวม	**322**	**2,886,568**	**13,297,708**	**13,314,691**	**14,234,987**	**14,235,227**	**15,655,196**	**4,652,801**	**2,902,536**	**4,473,096**	**6,632,420**	**6,761,751**	**13,240,117**	**7,054,991**	**5,965,625**	**11,904,650**	**9,341,722**	**13,056,876**	**159,610,961**

ตารางที่ 9 สรุปการกระจายขยะพลาสติกของสถานการณ์ K2 จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล

จังหวัด	จำนวนศูนย์รวบรวม	โรงงานรีไซเคิล									รวม (กิโลกรัม)
		กาฬสินธุ์ (4)	ขอนแก่น (4)	ชัยภูมิ (1)	นครพนม (1)	นครราชสีมา (7)	มหาสารคาม (1)	ร้อยเอ็ด (3)	อุดรธานี (3)	อุบลราชธานี (2)	
เลย	2	0	1,291,370	0	843	666,684	0	0	1,252	1,603	**1,961,752**
กาฬสินธุ์	1	2,719	3,420	0	1,449	473,299	0	2,845	1,526	1,308	**486,568**
ขอนแก่น	2	952,772	5,266,173	2,267,312	1,288	0	2,421	466	5,212	2,064	**8,497,708**
ชัยภูมิ	2	5,195,915	8,475	2,681	0	2,554,395	738,055	6,465	4,488	4,218	**8,514,691**
นครพนม	2	2,360	3,413,644	0	0	6,015,608	151	0	3,223	0	**9,434,987**
นครราชสีมา	3	4,851	5,547,624	2,422	3,188	23,281	1,452	1,440,116	4,246	8,048	**7,035,227**
บุรีรัมย์	2	1,138,850	9,147	2,188	804	9,689,664	2,427	4,018	2,445	5,653	**10,855,196**
มหาสารคาม	1	2,726	792	0	1,455	0	280	0	3,076	2,244,471	**2,252,801**
มุกดาหาร	1	4,985	1,205	0	1,705	3,800	0	487,391	2,307	1,142	**502,536**
ยโสธร	1	0	1,274	0	0	2,070,561	0	0	1,261	0	**2,073,096**
ร้อยเอ็ด	1	7,312	6,520	3,392	1,327	4,208,048	0	4,749	1,071	0	**4,232,420**
ศรีสะเกษ	3	6,490	5,675	371	1,084	261,576	2,055	4,624,695	2,910	1,135,261	**6,040,117**
สกลนคร	2	4	687	1,098	0	2,250,749	0	1,092	1,360	0	**2,254,991**
สุรินทร์	2	7,101	3,264	0	1,548	26,205	274	1,123,474	1,814	1,943	**1,165,625**
หนองคาย	2	6,256	6,904	2,478	941,225	3,857,707	817	3,727	2,276,207	9,329	**7,104,650**
อุดรธานี	2	836	2,300	0	1,702	4,139	836	2,271,413	2,255,333	5,162	**4,541,722**
อุบลราชธานี	4	6,415	14,142	3,613	2,383	1,109,868	5,464	17,926	2,288,935	8,130	**3,456,876**
รวม	**33**	**7,339,592**	**15,582,618**	**2,285,556**	**960,000**	**33,215,584**	**754,233**	**9,988,378**	**6,856,667**	**3,428,333**	**80,410,961**

จากตารางที่ 8 พบว่า ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการกระจายอยู่ทั้งหมด 17 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย อุดรธานี และอุบลราชธานี โดยมีปริมาณการขนส่งทั้งหมด 159,610,961 กิโลกรัม ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่มีการขนส่งขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะ(อำเภอ) มากที่สุดก็คือจังหวัดบุรีรัมย์ มีปริมาณ 15,655,196 กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณ 14,235,227 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดกาฬสินธุ์ มีปริมาณ 2,886,568 กิโลกรัม

จากตารางที่ 9 พบว่า ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิลจังหวัดต่างๆ มีทั้งหมด 80,410,961 กิโลกรัม และถูกขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลในจังหวัดนครราชสีมามากที่สุด จำนวน 33,215,584 กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่นจำนวน 15,582,618 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดมหาสารคามจำนวน 754,233 กิโลกรัม

ตารางที่ 10 ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลของสถานการณ์ K2

จังหวัด	**จำนวนโรงงานรีไซเคิล**	**ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)**
กาฬสินธุ์	4	991,408
ขอนแก่น	4	2,483,075
ชัยภูมิ	1	650,000
นครพนม	1	110,174
นครราชสีมา	7	4,991,875
มหาสารคาม	1	214,500
ร้อยเอ็ด	3	793,178
อุดรธานี	3	1,950,000
อุบลราชธานี	2	975,000
รวม	**26**	**13,159,210**

จากตารางที่ 10 พบว่า ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลพลาสติกของจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 13,159,210 กิโลกรัม โดยจังหวัดที่มีการผลิตของโรงงานรีไซเคิลสูงสุดคือ จังหวัดนครราชสีมาจำนวน 4,991,875 กิโลกรัม รองลงมาคือ จังหวัดขอนแก่นจำนวน 2,483,075 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดมหาสารคามจำนวน 214,500 กิโลกรัม

4.3.3 ผลเฉลยของสถานการณ์ K3

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบ MINLP ที่พัฒนาขึ้นกับกรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แล้วพบว่าสถานการณ์ K3 ซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกมากถึง 60 แห่ง ซึ่งเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และไม่สามารถประมวลผลด้วย MINLP ได้ หรือใช้เวลานานเกินที่จะหาคำตอบด้วย MINLP ได้

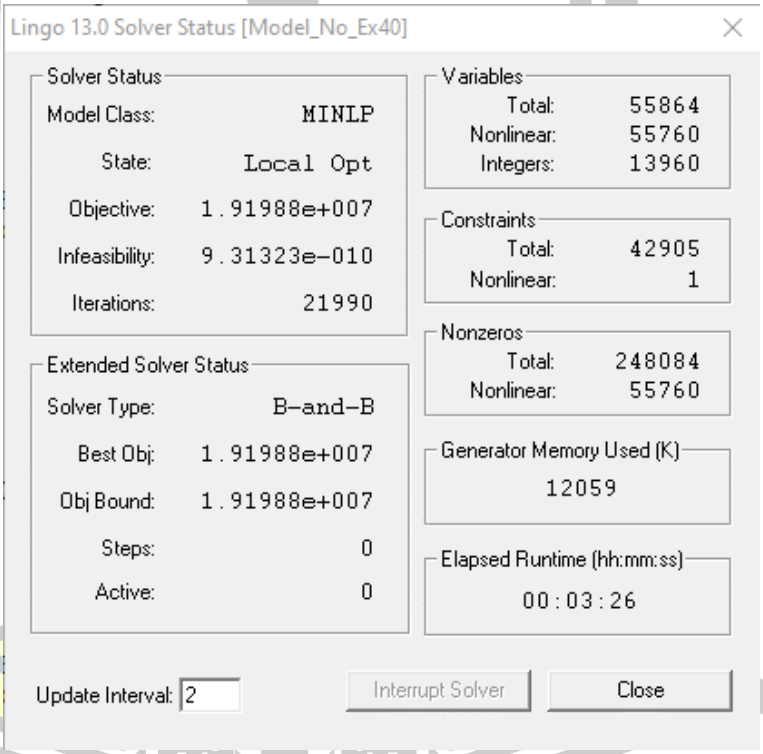
4.3.4 ผลเฉลยจากการวิเคราะห์ความไว

ผู้วิจัยได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว คือ จำนวนศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และความจุของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก เพื่อหาผลเฉลยของตัวแบบภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์และผลการประมวลด้วยโปรแกรม LINGO ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ข้อมูลสถานการณ์สำหรับการวิเคราะห์ความไว

สถานการณ์ (Scenario)	ความจุของศูนย์รวบรวม (ล้าน กก.)	จำนวนศูนย์รวบรวมจาก Clustering	เวลาในการประมวลผล (วินาที)	จำนวนศูนย์รวบรวมที่เปิด	ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด (ล้านบาท)	หมายเหตุ
K1	2.4	24	72	24	70.11	
K2	2.4	33	141	33	39.01	
K3	2.4	60	-	-	-	ใช้เวลานานในการประมวลผล
K4	2.4	40	197	40	19.20	
K5	3.0	33	164	33	17.88	
K6	3.0	40	-	-	-	ใช้เวลานานในการประมวลผล
K7	3.5	33	156	33	10.62	
K8	3.5	40	-	-	-	ใช้เวลานานในการประมวลผล
K9	3.5	50	-	-	-	ใช้เวลานานในการประมวลผล

จากตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความไว โดยการเปลี่ยนแปลงความจุของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกและจำนวนศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก พบว่า หากเพิ่มความจุของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกและจำนวนของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก จะทำให้มีต้นทุนโดยรวมลดลง แต่ถ้าหากเพิ่มมากไปจนกลายเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ จะไม่สามารถประมวลผลด้วย MINLP หรือใช้เวลานานเกินที่จะหาคำตอบด้วย MINLP ได้ สำหรับสถานการณ์ K4 ซึ่งมีความจุของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และจำนวนศูนย์รวบรวมทางเลือกจากการจัดกลุ่ม 40 แห่ง พบว่า มีการเปิดศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก ทั้ง 40 แห่ง และมีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 19.20 ล้านบาท ภายใต้ขนาดตัวแปรทั้งหมด 55,864 ตัวแปร และมีสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 42,905 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 3 นาที 26 วินาที ดังรูปภาพที่ 14



รูปภาพที่ 14 สรุปการวิเคราะห์ความไวของสถานการณ์ K4

ตารางที่ 12 ผลเฉลยของสถานการณ์ K4 แสดงศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการ และปริมาณการกระจายขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะพลาสติก ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก

จังหวัด	จำนวนอำเภอ	ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก																		รวม (กิโลกรัม)
		กาฬสินธุ์ (3)	ขอนแก่น (3)	ชัยภูมิ (3)	นครพนม (2)	นครราชสีมา (5)	บึงกาฬ (1)	บุรีรัมย์ (1)	มหาสารคาม (1)	มุกดาหาร (1)	ร้อยเอ็ด (1)	เลย (3)	ศรีสะเกษ (2)	สกลนคร (2)	สุรินทร์ (3)	หนองคาย (2)	อำนาจเจริญ (1)	อุดรธานี (2)	อุบลราชธานี (4)	
กาฬสินธุ์	18	30,763	1,072,802	574,534	726,586	83,346	13,367	319,896	16,336	1,412	15,117	2,268,603	26,814	16,933	461,372	658,980	9,432	390,964	442,160	**7,129,418**
ขอนแก่น	26	1,029,891	1,992,266	601,415	352,062	60,965	13,197	22,405	12,064	427,077	1,720	3,098,080	3,026,597	21,063	370,969	215,353	8,310	23,639	1,793,748	**13,070,822**
ชัยภูมิ	16	8,774	7,176	1,170,036	612,769	687,442	1,041	2,133	3,596	1,235	3,589	1,301,428	911,021	1,948,616	11,573	1,556,136	2,134	5,691	11,450	**8,245,838**
นครพนม	12	10,254	12,803	445,272	9,501	847,128	349,722	11,056	4,005	3,895	816	112,565	38,922	10,054	12,360	2,721	2,325,087	996,029	13,514	**5,205,703**
นครราชสีมา	32	2,321,341	2,707,244	999,744	456,492	732,044	55,173	61,148	908,340	1,080,143	39,457	848,903	2,703,014	3,177,781	228,021	180,137	32,077	1,308,904	1,364,757	**19,204,721**
บึงกาฬ	8	151,827	530,730	136,497	395,363	453,145	52,849	34,363	38,031	29,144	100,050	143,386	354,073	134,974	148,012	96,815	42,557	87,681	137,489	**3,066,982**
บุรีรัมย์	23	1,164,710	318,611	583,633	516,705	1,511,323	139,293	105,473	132,265	262,506	565,242	596,606	1,461,621	436,372	932,998	1,513,429	67,763	704,797	555,819	**11,569,166**
มหาสารคาม	13	400,739	1,186,928	305,509	950,744	759,734	86,769	111,913	90,166	117,516	355,969	397,374	551,334	191,643	322,848	548,731	77,799	200,876	322,729	**6,979,321**
มุกดาหาร	7	153,221	226,478	88,456	87,234	116,843	159,732	375,046	12,968	346,130	9,561	165,833	135,877	54,831	78,287	343,614	35,494	94,127	76,780	**2,560,512**
ยโสธร	9	278,366	183,494	1,089,282	103,789	476,758	85,555	50,314	74,832	253,979	68,615	256,981	250,885	122,206	165,445	105,565	7,718	107,328	214,306	**3,895,418**
ร้อยเอ็ด	20	509,569	1,059,764	401,310	1,155,375	861,982	120,510	477,043	107,101	323,352	198,867	640,701	490,053	518,311	597,057	571,106	79,064	718,154	640,711	**9,470,030**
เลย	14	626,571	204,864	477,456	221,863	487,555	72,854	71,972	76,355	205,756	68,796	202,936	183,424	468,468	325,582	390,870	42,640	200,570	332,853	**4,661,388**
ศรีสะเกษ	22	794,952	1,167,611	406,189	639,662	639,809	327,894	90,418	163,897	454,538	400,756	371,202	365,863	355,453	604,597	2,013,120	102,619	676,629	1,103,018	**10,678,228**
สกลนคร	18	451,929	1,160,025	487,964	520,173	1,746,398	127,219	136,238	210,495	106,377	127,748	515,818	706,591	260,853	434,076	356,131	68,528	292,944	667,071	**8,376,578**
สุรินทร์	17	712,854	952,149	599,348	400,173	2,523,007	140,304	443,831	130,416	134,017	143,966	562,965	749,258	326,078	562,966	337,519	61,745	243,249	1,103,180	**10,127,025**
หนองคาย	9	192,547	575,933	168,572	96,738	820,889	19,369	239,416	83,437	46,142	48,995	160,978	298,863	95,479	174,635	40,814	20,427	95,314	608,207	**3,786,755**
หนองบัวลำภู	6	507,629	959,363	136,151	120,040	241,180	86,566	50,452	63,542	41,553	43,690	165,064	142,549	117,229	580,167	158,330	42,140	84,148	177,863	**3,717,655**
อำนาจเจริญ	7	90,302	114,927	198,569	85,531	431,183	44,098	19,953	41,914	41,472	39,725	264,204	252,132	147,969	139,876	82,279	16,384	78,833	651,925	**2,741,276**
อุดรธานี	20	917,165	345,247	3,455,530	376,350	1,058,361	108,153	174,485	134,478	467,394	113,397	480,126	577,519	285,486	412,608	259,070	71,381	257,698	2,008,736	**11,503,184**
อุบลราชธานี	25	1,602,367	1,164,207	610,277	859,168	2,034,914	417,317	104,714	113,027	316,392	79,036	667,902	1,123,924	268,217	739,763	518,613	95,325	1,408,846	1,496,936	**13,620,945**
รวม	**322**	**11,955,770**	**15,942,622**	**12,935,743**	**8,686,319**	**16,574,007**	**2,420,983**	**2,902,267**	**2,417,268**	**4,660,032**	**2,425,112**	**13,221,654**	**14,350,332**	**8,958,015**	**7,303,211**	**9,949,333**	**3,208,622**	**7,976,421**	**13,723,251**	**159,610,961**

ตารางที่ 13 สรุปการกระจายขยะพลาสติกของสถานการณ์ K4 จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล

จังหวัด	จำนวนศูนย์รวบรวม	โรงงานรีไซเคิล									รวม (กิโลกรัม)
		กาฬสินธุ์ (4)	ขอนแก่น (4)	ชัยภูมิ (1)	นครพนม (1)	นครราชสีมา (7)	มหาสารคาม (1)	ร้อยเอ็ด (3)	อุดรธานี (3)	อุบลราชธานี (2)	
กาฬสินธุ์	3	455	1,028	0	1,476,160	683	4,532,155	0	10,366	808	**6,021,654**
ขอนแก่น	3	5,453	6,795	2,260,806	585,248	4,846	41,023	744,362	1,105,562	1,676	**4,755,770**
ชัยภูมิ	3	2,272,113	2,882,932	1,318	3,219,177	344,876	10,251	2,177	8,512	1,267	**8,742,622**
นครพนม	2	1,265	2,991,552	2,385	1,084,325	2,444	714,849	540	934,261	4,122	**5,735,743**
นครราชสีมา	5	1,400	3,390,063	1,668	19,373	5,253	458,692	703	7,803	1,365	**3,886,319**
บึงกาฬ	1	7,147	18,349	7,368	4,332,657	7,249	19,548	1,508	175,129	5,051	**4,574,007**
บุรีรัมย์	1	2	0	0	8,451	2,169	4,169	0	6,192	0	**20,983**
มหาสารคาม	1	2,386	3,233	664	10,089	621	481,297	0	3,619	357	**502,267**
มุกดาหาร	1	2	2,364	0	4,356	1,844	3,250	546	4,094	811	**17,268**
ร้อยเอ็ด	1	2	0	0	2,259,334	695	0	0	0	0	**2,260,032**
เลย	3	1,965	3,089	1,430	9,254	2,083	2,586	828	3,165	712	**25,112**
ศรีสะเกษ	2	776	5,494	0	9,524,883	782	16,792	0	1,605	0	**9,550,332**
สกลนคร	2	2,265,189	4,432	2,253	14,509	4,076	1,855,771	415	8,573	2,796	**4,158,015**
สุรินทร์	3	6,044	3,105	3,646	19,907	3,548	13,128	732	4,623	48,478	**103,211**
หนองคาย	2	1,094	5,345	0	2,862,161	2,256,692	11,294	0	12,010	738	**5,149,333**
อำนาจเจริญ	1	2,014	3,433	1,219	6,502	2,113	3,290	858	789,193	0	**808,622**
อุดรธานี	2	2,285,298	1,063	3	1,580	276	787	548	1,271	885,594	**3,176,421**
อุบลราชธานี	4	4,061	11,177	2,794	1,807,588	4,096	13,939	1,016	2,272,355	6,225	**4,123,251**
รวม	**40**	**6,856,665**	**9,333,453**	**2,285,556**	**27,245,556**	**2,644,343**	**8,182,822**	**754,233**	**5,348,333**	**960,000**	**63,610,961**

จากตารางที่ 12 พบว่า ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่เปิดดำเนินการกระจายอยู่ทั้งหมด 18 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บึงกาฬ บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย อำนาจเจริญ อุดรธานี และอุบลราชธานี โดยมีปริมาณการขนส่งทั้งหมด 159,610,961 กิโลกรัม ศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกที่มีการขนส่งขยะพลาสติกจากแหล่งก่อขยะ(อำเภอ) มากที่สุดก็คือจังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณ 16,574,007 กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่น มีปริมาณ 15,942,622 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดมหาสารคาม มีปริมาณ 2,417,268 กิโลกรัม

จากตารางที่ 13 พบว่า ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิลจังหวัดต่างๆ มีทั้งหมด 63,610,961 กิโลกรัม และถูกขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลในจังหวัดนครพนมมากที่สุด จำนวน 27,245,556 กิโลกรัม รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่น จำนวน 9,333,453 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 754,233 กิโลกรัม

ตารางที่ 14 ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลของสถานการณ์ K4

จังหวัด	**จำนวนโรงงานรีไซเคิล**	**ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)**
กาฬสินธุ์	4	2,708,333
ขอนแก่น	4	5,099,853
ชัยภูมิ	1	1,805,556
นครพนม	1	0
นครราชสีมา	7	1,805,556
มหาสารคาม	1	595,833
ร้อยเอ็ด	3	397,222
อุดรธานี	3	5,416,665
อุบลราชธานี	2	1,924,343
รวม	**26**	**19,753,361**

จากตารางที่ 14 พบว่า ปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลพลาสติกของสถานการณ์ K4 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 19,753,361 กิโลกรัม โดยจังหวัดที่มีการผลิตของโรงงานรีไซเคิลสูงสุดคือ จังหวัดอุดรธานีจำนวน 5,416,665 กิโลกรัม รองลงมาคือ จังหวัดขอนแก่น จำนวน 5,099,853 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือจังหวัดนครพนมไม่มีการผลิต

บทที่ 5
สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาการรีไซเคิลพลาสติก เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก หาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชน (อำเภอ) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การกระจายของปริมาณขยะพลาสติก การรีไซเคิลพลาสติก เพื่อให้ต้นทุนรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุด ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณขยะพลาสติก และหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกในการรวบรวมขยะพลาสติกของชุมชน(อำเภอ) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า ประชากร 1 คน สามารถก่อขยะพลาสติกได้ 7.25 กิโลกรัมต่อปี และจากการนำข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งพิกัดชุมชน (อำเภอ) ทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมาวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Clustering) และพิจารณาจากแผนภาพเดนโดรแกรม (Dendrogram) จะได้จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ 24 33 และ 60 กลุ่ม แล้วนำจำนวนกลุ่มที่ได้มาวิเคราะห์กลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) โดยในขั้นตอนของ K-means Clustering ด้วยการกำหนดการหาระยะห่างด้วยวิธี Squared Euclidean Distance และการรวมกลุ่มแบบ Centroid พบว่า พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K1 (จำนวน 24 กลุ่ม) เป็นตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกกระจายอยู่ใน 14 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บึงกาฬ บุรีรัมย์ เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อำนาญเจริญ อุดรธานี และอุบลราชธานี พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K2 (จำนวน 33 กลุ่ม) เป็นตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกกระจายอยู่ใน 17 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บุรีรัมย์ เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อุดรธานี อุบลราชธานี มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด และหนองคาย พิกัดตำแหน่งของกลุ่มที่ได้จากผลวิเคราะห์ K-means Clustering แบบ K3 (จำนวน 60 กลุ่ม) เป็นตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกกระจายอยู่ใน 19 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม

นครราชสีมา บุรีรัมย์ เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อุดรธานี อุบลราชธานี มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด หนองบัวลำภู บึงกาฬ และอำนาญเจริญ

5.1.2 ผลการพัฒนาและประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ

การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ แบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Non-linear Programming : MINLP) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุด สำหรับตัดสินใจเกี่ยวกับการเปิดดำเนินการของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก รวมถึงกระจายขยะพลาสติกจากชุมชน(อำเภอ) ไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก การกระจายขยะพลาสติกจากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกไปยังโรงงานรีไซเคิล และปริมาณการรีไซเคิลเป็นเม็ดพลาสติก ดังนี้

สถานการณ์ K1 มีตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกจำนวน 24 แห่ง ผลเฉลยของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น ทำให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุดเท่ากับ 70.11 ล้านบาท ภายใต้ขนาดตัวแปรทั้งหมด 33,560 ตัวแปร และมีสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 26,105 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 1 นาที 12 วินาที มีการจัดตั้งตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกทั้งหมด 24 แห่ง กระจายอยู่ทั้งหมด 14 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บึงกาฬ บุรีรัมย์ เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อำนาญเจริญ อุดรธานี และอุบลราชธานี ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากแหล่งก่อขยะพลาสติก (อำเภอ) มีจำนวนทั้งหมด 159,610,961 กิโลกรัม มีปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกของแต่ละจังหวัดไปยังโรงงานรีไซเคิลจังหวัดต่างๆ มีทั้งหมด 102,010,961 กิโลกรัม และปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลพลาสติกของจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 20,935,210 กิโลกรัม

สถานการณ์ K2 มีตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกจำนวน 33 แห่ง ผลเฉลยของตัวแบบที่พัฒนาขึ้น ทำให้ต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำที่สุดเท่ากับ 39.01 ล้านบาท ภายใต้ขนาดตัวแปรทั้งหมด 46,106 ตัวแปร และมีสมการเงื่อนไขหรือข้อจำกัดจำนวน 35,555 สมการ ใช้เวลาในการประมวลผล 2 นาที 21 วินาที การจัดตั้งตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกทั้งหมด 33 แห่ง กระจายอยู่ทั้งหมด 17 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย อุดรธานี และอุบลราชธานี ปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่งจากแหล่งก่อขยะพลาสติก (อำเภอ) มีจำนวนทั้งหมด 159,610,961 กิโลกรัม มีปริมาณขยะพลาสติกที่ขนส่ง

จากศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกของแต่ละจังหวัดไปยังโรงงานรีไซเคิลจังหวัดต่างๆ มีทั้งหมด 80,410,961 กิโลกรัม และปริมาณการผลิตของโรงงานรีไซเคิลพลาสติกของจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณการผลิตทั้งหมด 13,159,210 กิโลกรัม

สำหรับสถานการณ์ K3 มีตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกจำนวน 60 แห่ง ซึ่งเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และไม่สามารถประมวลผลด้วย MINLP ได้ หรือใช้เวลานานเกินที่จะหาคำตอบด้วย MINLP ได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ความไว โดยทำการปรับค่าพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ จำนวนศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก และความจุของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก เพื่อหาผลเฉลยของตัวแบบภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด

ตารางที่ 15 สรุปการประมวลผลตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบ MINLP

สถานการณ์ (Scenario)	ความจุของศูนย์รวบรวม (ล้าน กก.)	จำนวนศูนย์รวบรวม	ต้นทุนโดยรวม (ล้านบาท)	จำนวนศูนย์รวบรวมที่เปิด	เวลาในการประมวลผล (วินาที)
K1	2.4	24	70.11	24	72
K2	2.4	33	39.01	33	141
K3	2.4	60	-	-	-
K4	2.4	40	19.20	40	197
K5	30	33	17.88	33	164
K6	3.0	40	-	-	-
K7	3.5	33	10.62	33	156
K8	3.5	40	-	-	-
K9	3.5	50	-	-	-

จากผลเฉลยที่ได้ จะเห็นว่า ภายใต้ขอบเขตปัญหาเดียวกันเกี่ยวกับปริมาณขยะพลาสติกของทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การกำหนดให้มีการเปิดศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกและมีความจุของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกมากกว่า ทำให้มีต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติกต่ำกว่า ส่วนกรณีที่มีการกำหนดจำนวนกลุ่มที่มากขึ้น จะมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถประมวลผลด้วยตัวแบบ MINLP ได้ หรือใช้เวลานานในการประมวลผล เนื่องจากเป็นปัญหาขนาดใหญ่

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก ทำให้มีการจัดการขยะพลาสติกแบบถูกต้อง โดยการคัดแยกประเภทของขยะพลาสติก ก่อนนำส่งไปยังศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก สามารถช่วยเรื่องการลดต้นทุนการดำเนินการของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกสอดคล้องกับงานของเสกสรร สุธรรมานนท์ [20]

การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก ด้วยการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มแบบขั้นตอน (Hierarchical Clustering) แล้วนำจำนวนกลุ่มที่ได้มาวิเคราะห์กลุ่มแบบเคมีน (K-means Clustering) โดยในขั้นตอนของ K-means Clustering ด้วยการกำหนดการหาระยะห่างด้วยวิธี Squared Euclidean Distance และการรวมกลุ่มแบบ Centroid จะช่วยในการหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับงานวิจัยของโรจนี หอมชาลี และวีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์ [22] ที่ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำหลักการ Clustering มากำหนดตำแหน่งทางเลือกของคลังกลางในการรวบรวมเอทานอล และนำไปเป็นตัวแปรตัดสินใจต่อไปของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับการตัดสินใจเปิดดำเนินการคลังกลาง รวมถึงการกระจายเอทานอลในเครือข่ายโซ่อุปทานเอทานอลของไทย

ทั้งนี้ในการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมไม่เชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Non-linear Programming: MINLP) มาวางแผนในการตัดสินใจเปิดดำเนินการของศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งทางเลือกได้อย่างเหมาะสม และต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด เป็นตัวแบบที่ตัวแปรตัดสินใจมีทั้งแบบที่ค่าต่อเนื่อง และค่าเป็นจำนวนเต็มแบบ Binary ซึ่งเป็นแนวทางการวางแผนที่ต้องตัดสินใจเปิดดำเนินการที่ตั้งหรือสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์ [31] ที่พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับการวางแผนการแปรรูปของโรงงานผลิตกระดาษ แต่เนื่องด้วยตัวแบบที่พัฒนาเป็นตัวแบบ MINLP ซึ่งมีข้อจำกัดในการประมวลผลสำหรับกรณีปัญหาขนาดใหญ่ ทำให้ใช้เวลานานในการประมวลผลหรือบางกรณีอาจไม่สามารถหาคำตอบได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

ควรมีการกำหนดศูนย์รวบรวมขยะพลาสติก เพื่อรวบรวมและคัดแยกขยะพลาสติกที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ และทำให้ประหยัดต้นทุนโดยรวมในการจัดการขยะพลาสติก สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ซึ่งมีพื้นที่มากและมีขยะพลาสติกปริมาณมากกระจายอยู่ในอำเภอต่างๆ

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถพิจารณาถึงช่วงปลายน้ำของโซ่อุปทานเกี่ยวกับการจำหน่ายเม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้งในและต่างประเทศ

2. ในส่วนของขอบเขตงานวิจัย สามารถขยายขอบเขตงานวิจัย จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นทั่วประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกในภาพรวมของทั้งประเทศ

3. กรณีที่แหล่งก่อขยะพลาสติก(อำเภอ) อยู่ใกล้กับโรงงานรีไซเคิลพลาสติก สามารถกำหนดให้มีการตัดสินใจขนส่งตรงไปยังโรงงานรีไซเคิลพลาสติก โดยไม่ต้องผ่านศูนย์รวบรวมขยะพลาสติกได้

4. กรณีปัญหามีขนาดใหญ่ สามารถประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกแทนการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ในการแก้ไขปัญหาได้ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) วิธีวิวัฒนาการผลต่าง (Differential Evolution)

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

[1] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). รายงานตัวชี้วัด "ปริมาณขยะมูลฝอย (*2553-2564)*". Available: www.http://env_data.onep.go.th/reports/subject/view/117

[2] Nation TV. (2562). ไทยติดกลุ่มผู้นำเข้าขยะพลาสติกสูงสุดในโลก. Available: https://www.nationtv.tv/main/content/378745153/?ago=

[3] ศิริชัย สมศรี. การออกแบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการรีไซเคิลพลาสติกในประเทศไทย: กรณีศึกษา. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553.

[4] สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แผนยุทธศาสตร์ การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. *2560-2564*. 2559.

[5] บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมทำเม็ดพลาสติกจากเศษพลาสติกเก่าที่ใช้งานแล้ว. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2009.

[6] OKnation. (2556). ความรู้เกี่ยวกับเม็ดพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป (*Commodity plastic)*. Available: http://oknation.nationtv.tv/blog/packaging/2013/04/18/entry-1

[7] กัลยา วานิชย์บัญชา. การใช้ *SPSS for windows* ในการวิเคราะห์ข้อมูล (ฉบับปรับปรุง). ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์ และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2017.

[8] สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์. เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2540.

[9] กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[10] ยงยุทธ ชัยรัตนาวรรณ. วิวัฒนาการของการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน. *Sripatum Review of Humanities Social Sciences*. vol. 14, no. 2, pp. 129-138, 2014.

[11] โรจนี หอมชาลี. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการจัดการโลจิสติกส์. มหาสารคาม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2561.

[12] ฐาปนา บุญหล้า และ นงลักษณ์ นิมิตภูวดล. การจัดการโลจิสติกส์: มิติซัพพลายเชน ภาคทฤษฎีและปฏิบัติ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2555.

[13] ประจวบ กล่อมจิตร. โลจิสติกส์ - โซ่อุปทาน การออกแบบและจัดการเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2556.

[14] T. Assavapokee, W. J. C. Wongthatsanekorn, and I. Engineering. "Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of Texas," *Computers & Industrial Engineering,* vol. 62, no. 1, pp. 129-140, 2012.

[15] S. K. Samir. "Network design for reverse logistics," *Omega,* vol. 36, no. 4, pp. 535-548, 2008.

[16] Kim Kibum, Song Iksoo, Kim Juyong, and Jeong Bongju. "Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment," *Computers Industrial Engineering,* vol. 51, no. 2, pp. 279-287, 2006.

[17] ยืน ภู่วรวรรณ. (2551). การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. Available: https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge_math/cr_model_math.htm

[18] ศฤงคาร คลายแขก และคณะ. ปัจจัยที่มีผลตอการจัดการในการดำเนินงานโครงขายโลจิสติกสยอนกลับ ซากผลิตภัณฑเครื่องใชไฟฟาและอิเล็กทรอนิกสในประเทศไทย. วารสารดุษฎีบัณฑิตทางสังคมศาสตร์, vol. 11, no. 1, pp. 175-186, 2564.

[19] ไอลดา คำปากูล ชัยยศ สัมฤทธิ์สกุล อรุณี ยศบุตร และ ศฐา วรุณกูล. "การวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์กิจการเซรามิกในจังหวัดลำปาง," วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, vol. 2, no. 9, pp. 148-159, 2563.

[20] เสกสรร สุธรรมานนท์. "การศึกษาระบบการขนส่งในโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะคอมพิวเตอร์ ในจังหวัดสงขลา," *KKU Research Journal,* 2556.

[21] อำพล นววงศ์เสถียร และคณะ, "การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโลจิสติกส์ย้อนรอย," *Southeast Bangkok Journal,* vol. 3, no. 1, pp. 117-135, 2017.

[22] โรจนี หอมชาลี และ วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์. "การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งคลังกลางสำหรับโซ่อุปทานเอทานอลของไทย," *KKU Research Journal,* vol. 19(1), pp. 60-74, 2014.

[23] Schultmann Frank, Engels Bernd, and O. Rentz. "Closed-loop supply chains for spent batteries," *Interfaces,* vol. 33, no. 6, pp. 57-71, 2003.

[24] Jayaraman Vaidyanathan, Guide Jr V Daniel R, and S. Rajesh. "A closed-loop logistics model for remanufacturing," *The Journal of the Operational Research Society,* vol. 50, no. 5, pp. 497-508, 1999.

[25] Kara Sami, Rugrungruang Fatida, and H. Kaebernick. "Simulation modelling of reverse logistics networks," *International journal of production economics,* vol. 106, no. 1, pp. 61-69, 2007.

[26] สิทธิชัย นครวิลัย. (2557). ผลวิจัย อัตราการรีไซเคิลขยะ. Available: https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/598826

[27] ธารา บัวคำศรี. (2563). ความท้าทายและวิกฤตมลพิษพลาสติกของประเทศไทย. Available: https://www.greenpeace.org/thailand/story/18232/plastic-challenge-to-combat-plastic-pollution-in-thailand/

[28] มหาวิทยาลัยขอนแก่น. "โครงการเพิ่มประสิทธิภาพและผลิตภาพด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมระบบอัจฉริยะเฝ้าติดตามและตรวจสอบดูแลการทำงานของเครื่องจักร (Machine Monitoring System) ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 5 ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561," ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ *5* กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2562.

[29] ศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมพลาสติก. (2561). ทำเนียบผู้ประกอบการพลาสติก. Available: http://plastic.oie.go.th/Directory.aspx

[30] บริษัท จิซทิกซ์ จำกัด. (2558). อัตราค่าบริการขนส่ง. Available: https://giztix.com/pricing

[31] สุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์. (2554). วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเศษตัดริมในโรงงานกระดาษ. Available: https://www.car.chula.ac.th/display7.php?bib=b1971254

ภาคผนวก

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
กาฬสินธุ์	เมืองกาฬสินธุ์	146,361	7.25	1,061,117.25
กาฬสินธุ์	นามน	36,635	7.25	265,603.75
กาฬสินธุ์	กมลาไสย	69,168	7.25	501,468.00
กาฬสินธุ์	ร่องคำ	16,537	7.25	119,893.25
กาฬสินธุ์	กุฉินารายณ์	101,481	7.25	735,737.25
กาฬสินธุ์	เขาวง	34,246	7.25	248,283.50
กาฬสินธุ์	ยางตลาด	128,676	7.25	932,901.00
กาฬสินธุ์	ห้วยเม็ก	51,317	7.25	372,048.25
กาฬสินธุ์	สหัสขันธ์	42,865	7.25	310,771.25
กาฬสินธุ์	คำม่วง	49,024	7.25	355,424.00
กาฬสินธุ์	ท่าคันโท	38,025	7.25	275,681.25
กาฬสินธุ์	หนองกุงศรี	66,789	7.25	484,220.25
กาฬสินธุ์	สมเด็จ	62,166	7.25	450,703.50
กาฬสินธุ์	ห้วยผึ้ง	30,267	7.25	219,435.75
กาฬสินธุ์	สามชัย	25,728	7.25	186,528.00
กาฬสินธุ์	นาคู	31,236	7.25	226,461.00
กาฬสินธุ์	ดอนจาน	26,005	7.25	188,536.25
กาฬสินธุ์	ฆ้องชัย	26,842	7.25	194,604.50
ขอนแก่น	เมืองขอนแก่น	416,285	7.25	3,018,066.25
ขอนแก่น	บ้านฝาง	55,135	7.25	399,728.75
ขอนแก่น	พระยืน	34,806	7.25	252,343.50
ขอนแก่น	หนองเรือ	93,574	7.25	678,411.50
ขอนแก่น	ชุมแพ	124,079	7.25	899,572.75
ขอนแก่น	สีชมพู	78,148	7.25	566,573.00
ขอนแก่น	น้ำพอง	114,017	7.25	826,623.25
ขอนแก่น	อุบลรัตน์	44,803	7.25	324,821.75

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
ขอนแก่น	กระนวน	78,863	7.25	571,756.75
ขอนแก่น	บ้านไผ่	100,443	7.25	728,211.75
ขอนแก่น	เปือยน้อย	20,144	7.25	146,044.00
ขอนแก่น	พล	86,572	7.25	627,647.00
ขอนแก่น	แวงใหญ่	29,562	7.25	214,324.50
ขอนแก่น	แวงน้อย	41,921	7.25	303,927.25
ขอนแก่น	หนองสองห้อง	78,307	7.25	567,725.75
ขอนแก่น	ภูเวียง	72,701	7.25	527,082.25
ขอนแก่น	มัญจาคีรี	71,258	7.25	516,620.50
ขอนแก่น	ชนบท	48,205	7.25	349,486.25
ขอนแก่น	เขาสวนกวาง	38,335	7.25	277,928.75
ขอนแก่น	ภูผาม่าน	23,195	7.25	168,163.75
ขอนแก่น	ซำสูง	23,651	7.25	171,469.75
ขอนแก่น	โคกโพธิ์ไชย	25,430	7.25	184,367.50
ขอนแก่น	หนองนาคำ	23,844	7.25	172,869.00
ขอนแก่น	บ้านแฮด	32,937	7.25	238,793.25
ขอนแก่น	โนนศิลา	26,707	7.25	193,625.75
ขอนแก่น	เวียงเก่า	19,950	7.25	144,637.50
ชัยภูมิ	เมืองชัยภูมิ	183,259	7.25	1,328,627.75
ชัยภูมิ	บ้านเขว้า	50,683	7.25	367,451.75
ชัยภูมิ	คอนสวรรค์	53,391	7.25	387,084.75
ชัยภูมิ	เกษตรสมบูรณ์	112,379	7.25	814,747.75
ชัยภูมิ	หนองบัวแดง	102,064	7.25	739,964.00
ชัยภูมิ	จัตุรัส	74,877	7.25	542,858.25
ชัยภูมิ	บำเหน็จณรงค์	53,635	7.25	388,853.75
ชัยภูมิ	หนองบัวระเหว	38,695	7.25	280,538.75
ชัยภูมิ	เทพสถิต	70,497	7.25	511,103.25

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
ชัยภูมิ	ภูเขียว	124,239	7.25	900,732.75
ชัยภูมิ	บ้านแท่น	45,401	7.25	329,157.25
ชัยภูมิ	แก้งคร้อ	93,576	7.25	678,426.00
ชัยภูมิ	คอนสาร	61,927	7.25	448,970.75
ชัยภูมิ	ภักดีชุมพล	31,181	7.25	226,062.25
ชัยภูมิ	เนินสง่า	26,076	7.25	189,051.00
ชัยภูมิ	ซับใหญ่	15,477	7.25	112,208.25
นครพนม	เมืองนครพนม	144,219	7.25	1,045,587.75
นครพนม	ปลาปาก	54,182	7.25	392,819.50
นครพนม	ท่าอุเทน	59,674	7.25	432,636.50
นครพนม	บ้านแพง	35,555	7.25	257,773.75
นครพนม	ธาตุพนม	83,273	7.25	603,729.25
นครพนม	เรณูนคร	46,274	7.25	335,486.50
นครพนม	นาแก	76,942	7.25	557,829.50
นครพนม	ศรีสงคราม	69,741	7.25	505,622.25
นครพนม	นาหว้า	51,713	7.25	374,919.25
นครพนม	โพนสวรรค์	57,688	7.25	418,238.00
นครพนม	นาทม	23,335	7.25	169,178.75
นครพนม	วังยาง	15,432	7.25	111,882.00
นครราชสีมา	เมืองนครราชสีมา	466,848	7.25	3,384,648.00
นครราชสีมา	ครบุรี	96,643	7.25	700,661.75
นครราชสีมา	เสิงสาง	70,615	7.25	511,958.75
นครราชสีมา	คง	81,144	7.25	588,294.00
นครราชสีมา	บ้านเหลื่อม	21,103	7.25	152,996.75
นครราชสีมา	จักราช	71,821	7.25	520,702.25
นครราชสีมา	โชคชัย	83,119	7.25	602,612.75
นครราชสีมา	ด่านขุนทด	129,028	7.25	935,453.00

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
นครราชสีมา	โนนไทย	71,726	7.25	520,013.50
นครราชสีมา	โนนสูง	127,184	7.25	922,084.00
นครราชสีมา	ขามสะแกแสง	43,281	7.25	313,787.25
นครราชสีมา	บัวใหญ่	82,686	7.25	599,473.50
นครราชสีมา	ประทาย	77,634	7.25	562,846.50
นครราชสีมา	ปักธงชัย	117,464	7.25	851,614.00
นครราชสีมา	พิมาย	130,043	7.25	942,811.75
นครราชสีมา	ห้วยแถลง	76,290	7.25	553,102.50
นครราชสีมา	ชุมพวง	83,227	7.25	603,395.75
นครราชสีมา	สูงเนิน	84,669	7.25	613,850.25
นครราชสีมา	ขามทะเลสอ	30,017	7.25	217,623.25
นครราชสีมา	สีคิ้ว	126,145	7.25	914,551.25
นครราชสีมา	ปากช่อง	196,888	7.25	1,427,438.00
นครราชสีมา	หนองบุญมาก	60,976	7.25	442,076.00
นครราชสีมา	แก้งสนามนาง	37,186	7.25	269,598.50
นครราชสีมา	โนนแดง	25,458	7.25	184,570.50
นครราชสีมา	วังน้ำเขียว	45,205	7.25	327,736.25
นครราชสีมา	เทพารักษ์	25,222	7.25	182,859.50
นครราชสีมา	เมืองยาง	27,963	7.25	202,731.75
นครราชสีมา	พระทองคำ	41,828	7.25	303,253.00
นครราชสีมา	ลำทะเมนชัย	32,755	7.25	237,473.75
นครราชสีมา	บัวลาย	24,532	7.25	177,857.00
นครราชสีมา	สีดา	24,179	7.25	175,297.75
นครราชสีมา	เฉลิมพระเกียรติ	36,048	7.25	261,348.00
บึงกาฬ	เมืองบึงกาฬ	92,609	7.25	671,415.25
บึงกาฬ	พรเจริญ	44,229	7.25	320,660.25
บึงกาฬ	โซ่พิสัย	72,463	7.25	525,356.75

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
บึงกาฬ	เซกา	86,675	7.25	628,393.75
บึงกาฬ	ปากคาด	35,373	7.25	256,454.25
บึงกาฬ	บึงโขงหลง	37,572	7.25	272,397.00
บึงกาฬ	ศรีวิไล	40,084	7.25	290,609.00
บึงกาฬ	บุ่งคล้า	14,027	7.25	101,695.75
บุรีรัมย์	เมืองบุรีรัมย์	222,145	7.25	1,610,551.25
บุรีรัมย์	คูเมือง	68,061	7.25	493,442.25
บุรีรัมย์	กระสัง	105,874	7.25	767,586.50
บุรีรัมย์	นางรอง	113,930	7.25	825,992.50
บุรีรัมย์	หนองกี่	70,629	7.25	512,060.25
บุรีรัมย์	ละหานทราย	74,145	7.25	537,551.25
บุรีรัมย์	ประโคนชัย	137,571	7.25	997,389.75
บุรีรัมย์	บ้านกรวด	77,411	7.25	561,229.75
บุรีรัมย์	พุทไธสง	46,291	7.25	335,609.75
บุรีรัมย์	ลำปลายมาศ	134,315	7.25	973,783.75
บุรีรัมย์	สตึก	112,659	7.25	816,777.75
บุรีรัมย์	ปะคำ	45,671	7.25	331,114.75
บุรีรัมย์	นาโพธิ์	32,671	7.25	236,864.75
บุรีรัมย์	หนองหงส์	50,323	7.25	364,841.75
บุรีรัมย์	พลับพลาชัย	45,279	7.25	328,272.75
บุรีรัมย์	ห้วยราช	37,653	7.25	272,984.25
บุรีรัมย์	โนนสุวรรณ	25,305	7.25	183,461.25
บุรีรัมย์	ชำนิ	35,448	7.25	256,998.00
บุรีรัมย์	บ้านใหม่ไชยพจน์	26,941	7.25	195,322.25
บุรีรัมย์	โนนดินแดง	28,325	7.25	205,356.25
บุรีรัมย์	บ้านด่าน	31,446	7.25	227,983.50
บุรีรัมย์	แคนดง	33,149	7.25	240,330.25

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
บุรีรัมย์	เฉลิมพระเกียรติ	40,505	7.25	293,661.25
มหาสารคาม	เมืองมหาสารคาม	158,821	7.25	1,151,452.25
มหาสารคาม	แกดำ	29,822	7.25	216,209.50
มหาสารคาม	โกสุมพิสัย	119,841	7.25	868,847.25
มหาสารคาม	กันทรวิชัย	86,654	7.25	628,241.50
มหาสารคาม	เชียงยืน	61,063	7.25	442,706.75
มหาสารคาม	บรบือ	108,777	7.25	788,633.25
มหาสารคาม	นาเชือก	61,073	7.25	442,779.25
มหาสารคาม	พยัคฆภูมิพิสัย	87,675	7.25	635,643.75
มหาสารคาม	วาปีปทุม	114,209	7.25	828,015.25
มหาสารคาม	นาดูน	37,488	7.25	271,788.00
มหาสารคาม	ยางสีสุราช	35,191	7.25	255,134.75
มหาสารคาม	กุดรัง	37,156	7.25	269,381.00
มหาสารคาม	ชื่นชม	24,895	7.25	180,488.75
มุกดาหาร	เมืองมุกดาหาร	137,173	7.25	994,504.25
มุกดาหาร	นิคมคำสร้อย	44,463	7.25	322,356.75
มุกดาหาร	ดอนตาล	44,540	7.25	322,915.00
มุกดาหาร	ดงหลวง	39,088	7.25	283,388.00
มุกดาหาร	คำชะอี	47,359	7.25	343,352.75
มุกดาหาร	หว้านใหญ่	19,762	7.25	143,274.50
มุกดาหาร	หนองสูง	20,789	7.25	150,720.25
ยโสธร	เมืองยโสธร	128,971	7.25	935,039.75
ยโสธร	ทรายมูล	30,926	7.25	224,213.50
ยโสธร	กุดชุม	66,419	7.25	481,537.75
ยโสธร	คำเขื่อนแก้ว	66,244	7.25	480,269.00
ยโสธร	ป่าติ้ว	35,220	7.25	255,345.00
ยโสธร	มหาชนะชัย	56,742	7.25	411,379.50

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
ยโสธร	ค้อวัง	25,321	7.25	183,577.25
ยโสธร	เลิงนกทา	96,909	7.25	702,590.25
ยโสธร	ไทยเจริญ	30,547	7.25	221,465.75
ร้อยเอ็ด	เมืองร้อยเอ็ด	158,941	7.25	1,152,322.25
ร้อยเอ็ด	เกษตรวิสัย	98,073	7.25	711,029.25
ร้อยเอ็ด	ปทุมรัตต์	53,880	7.25	390,630.00
ร้อยเอ็ด	จตุรพักตรพิมาน	80,160	7.25	581,160.00
ร้อยเอ็ด	ธวัชบุรี	67,869	7.25	492,050.25
ร้อยเอ็ด	พนมไพร	72,622	7.25	526,509.50
ร้อยเอ็ด	โพนทอง	108,404	7.25	785,929.00
ร้อยเอ็ด	โพธิ์ชัย	58,255	7.25	422,348.75
ร้อยเอ็ด	หนองพอก	66,944	7.25	485,344.00
ร้อยเอ็ด	เสลภูมิ	119,240	7.25	864,490.00
ร้อยเอ็ด	สุวรรณภูมิ	116,015	7.25	841,108.75
ร้อยเอ็ด	เมืองสรวง	23,200	7.25	168,200.00
ร้อยเอ็ด	โพนทราย	28,063	7.25	203,456.75
ร้อยเอ็ด	อาจสามารถ	74,151	7.25	537,594.75
ร้อยเอ็ด	เมยวดี	23,173	7.25	168,004.25
ร้อยเอ็ด	ศรีสมเด็จ	36,198	7.25	262,435.50
ร้อยเอ็ด	จังหาร	45,669	7.25	331,100.25
ร้อยเอ็ด	เชียงขวัญ	27,571	7.25	199,889.75
ร้อยเอ็ด	หนองฮี	24,421	7.25	177,052.25
ร้อยเอ็ด	ทุ่งเขาหลวง	23,362	7.25	169,374.50
เลย	เมืองเลย	123,785	7.25	897,441.25
เลย	นาด้วง	26,555	7.25	192,523.75
เลย	เชียงคาน	61,133	7.25	443,214.25
เลย	ปากชม	42,274	7.25	306,486.50

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
เลย	ด่านซ้าย	52,259	7.25	378,877.75
เลย	นาแห้ว	11,684	7.25	84,709.00
เลย	ภูเรือ	22,553	7.25	163,509.25
เลย	ท่าลี่	28,347	7.25	205,515.75
เลย	วังสะพุง	112,176	7.25	813,276.00
เลย	ภูกระดึง	34,726	7.25	251,763.50
เลย	ภูหลวง	25,045	7.25	181,576.25
เลย	ผาขาว	42,272	7.25	306,472.00
เลย	เอราวัณ	34,895	7.25	252,988.75
เลย	หนองหิน	25,246	7.25	183,033.50
ศรีสะเกษ	เมืองศรีสะเกษ	139,985	7.25	1,014,891.25
ศรีสะเกษ	ยางชุมน้อย	36,491	7.25	264,559.75
ศรีสะเกษ	กันทรารมย์	99,978	7.25	724,840.50
ศรีสะเกษ	กันทรลักษ์	202,668	7.25	1,469,343.00
ศรีสะเกษ	ขุขันธ์	151,845	7.25	1,100,876.25
ศรีสะเกษ	ไพรบึง	48,256	7.25	349,856.00
ศรีสะเกษ	ปรางค์กู่	67,678	7.25	490,665.50
ศรีสะเกษ	ขุนหาญ	108,135	7.25	783,978.75
ศรีสะเกษ	ราษีไศล	80,328	7.25	582,378.00
ศรีสะเกษ	อุทุมพรพิสัย	106,785	7.25	774,191.25
ศรีสะเกษ	บึงบูรพ์	10,584	7.25	76,734.00
ศรีสะเกษ	ห้วยทับทัน	42,550	7.25	308,487.50
ศรีสะเกษ	โนนคูณ	39,522	7.25	286,534.50
ศรีสะเกษ	ศรีรัตนะ	53,465	7.25	387,621.25
ศรีสะเกษ	น้ำเกลี้ยง	44,541	7.25	322,922.25
ศรีสะเกษ	วังหิน	50,278	7.25	364,515.50
ศรีสะเกษ	ภูสิงห์	54,650	7.25	396,212.50

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
ศรีสะเกษ	เมืองจันทร์	17,999	7.25	130,492.75
ศรีสะเกษ	เบญจลักษ์	37,237	7.25	269,968.25
ศรีสะเกษ	พยุห์	36,001	7.25	261,007.25
ศรีสะเกษ	โพธิ์ศรีสุวรรณ	23,815	7.25	172,658.75
ศรีสะเกษ	ศิลาลาด	20,068	7.25	145,493.00
สกลนคร	เมืองสกลนคร	196,948	7.25	1,427,873.00
สกลนคร	กุสุมาลย์	47,941	7.25	347,572.25
สกลนคร	กุดบาก	33,094	7.25	239,931.50
สกลนคร	พรรณานิคม	80,735	7.25	585,328.75
สกลนคร	พังโคน	53,055	7.25	384,648.75
สกลนคร	วาริชภูมิ	52,887	7.25	383,430.75
สกลนคร	นิคมน้ำอูน	14,833	7.25	107,539.25
สกลนคร	วานรนิวาส	126,289	7.25	915,595.25
สกลนคร	คำตากล้า	40,078	7.25	290,565.50
สกลนคร	บ้านม่วง	71,089	7.25	515,395.25
สกลนคร	อากาศอำนวย	71,913	7.25	521,369.25
สกลนคร	สว่างแดนดิน	151,605	7.25	1,099,136.25
สกลนคร	ส่องดาว	34,861	7.25	252,742.25
สกลนคร	เต่างอย	24,329	7.25	176,385.25
สกลนคร	โคกศรีสุพรรณ	34,511	7.25	250,204.75
สกลนคร	เจริญศิลป์	45,255	7.25	328,098.75
สกลนคร	โพนนาแก้ว	36,884	7.25	267,409.00
สกลนคร	ภูพาน	39,083	7.25	283,351.75
สุรินทร์	เมืองสุรินทร์	263,375	7.25	1,909,468.75
สุรินทร์	ชุมพลบุรี	71,448	7.25	517,998.00
สุรินทร์	ท่าตูม	96,681	7.25	700,937.25
สุรินทร์	จอมพระ	60,146	7.25	436,058.50

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
สุรินทร์	ปราสาท	157,859	7.25	1,144,477.75
สุรินทร์	กาบเชิง	61,383	7.25	445,026.75
สุรินทร์	รัตนบุรี	93,672	7.25	679,122.00
สุรินทร์	สนม	44,196	7.25	320,421.00
สุรินทร์	ศีขรภูมิ	135,633	7.25	983,339.25
สุรินทร์	สังขะ	131,460	7.25	953,085.00
สุรินทร์	ลำดวน	31,371	7.25	227,439.75
สุรินทร์	สำโรงทาบ	52,942	7.25	383,829.50
สุรินทร์	บัวเชด	41,409	7.25	300,215.25
สุรินทร์	พนมดงรัก	38,149	7.25	276,580.25
สุรินทร์	ศรีณรงค์	46,844	7.25	339,619.00
สุรินทร์	เขวาสินรินทร์	34,960	7.25	253,460.00
สุรินทร์	โนนนารายณ์	35,303	7.25	255,946.75
หนองคาย	เมืองหนองคาย	150,780	7.25	1,093,155.00
หนองคาย	ท่าบ่อ	82,910	7.25	601,097.50
หนองคาย	โพนพิสัย	98,984	7.25	717,634.00
หนองคาย	ศรีเชียงใหม่	30,860	7.25	223,735.00
หนองคาย	สังคม	25,506	7.25	184,918.50
หนองคาย	สระใคร	26,920	7.25	195,170.00
หนองคาย	เฝ้าไร่	52,256	7.25	378,856.00
หนองคาย	รัตนวาปี	38,779	7.25	281,147.75
หนองคาย	โพธิ์ตาก	15,316	7.25	111,041.00
หนองบัวลำภู	เมืองหนองบัวลำภู	136,945	7.25	992,851.25
หนองบัวลำภู	นากลาง	92,719	7.25	672,212.75
หนองบัวลำภู	โนนสัง	65,403	7.25	474,171.75
หนองบัวลำภู	ศรีบุญเรือง	111,438	7.25	807,925.50
หนองบัวลำภู	สุวรรณคูหา	68,843	7.25	499,111.75

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
หนองบัวลำภู	นาวัง	37,432	7.25	271,382.00
อำนาจเจริญ	เมืองอำนาจเจริญ	131,818	7.25	955,680.50
อำนาจเจริญ	ชานุมาน	41,465	7.25	300,621.25
อำนาจเจริญ	ปทุมราชวงศา	48,753	7.25	353,459.25
อำนาจเจริญ	พนา	28,205	7.25	204,486.25
อำนาจเจริญ	เสนางคนิคม	41,133	7.25	298,214.25
อำนาจเจริญ	หัวตะพาน	49,865	7.25	361,521.25
อำนาจเจริญ	ลืออำนาจ	36,868	7.25	267,293.00
อุดรธานี	เมืองอุดรธานี	414,060	7.25	3,001,935.00
อุดรธานี	กุดจับ	65,831	7.25	477,274.75
อุดรธานี	หนองวัวซอ	63,520	7.25	460,520.00
อุดรธานี	กุมภวาปี	123,795	7.25	897,513.75
อุดรธานี	โนนสะอาด	50,157	7.25	363,638.25
อุดรธานี	หนองหาน	117,618	7.25	852,730.50
อุดรธานี	ทุ่งฝน	32,220	7.25	233,595.00
อุดรธานี	ไชยวาน	39,562	7.25	286,824.50
อุดรธานี	ศรีธาตุ	48,968	7.25	355,018.00
อุดรธานี	วังสามหมอ	58,995	7.25	427,713.75
อุดรธานี	บ้านดุง	127,197	7.25	922,178.25
อุดรธานี	บ้านผือ	110,461	7.25	800,842.25
อุดรธานี	น้ำโสม	59,806	7.25	433,593.50
อุดรธานี	เพ็ญ	116,190	7.25	842,377.50
อุดรธานี	สร้างคอม	29,276	7.25	212,251.00
อุดรธานี	หนองแสง	27,388	7.25	198,563.00
อุดรธานี	นายูง	28,823	7.25	208,966.75
อุดรธานี	พิบูลย์รักษ์	24,951	7.25	180,894.75
อุดรธานี	กู่แก้ว	22,207	7.25	161,000.75

ตารางที่ 16 จำนวนประชากรและปริมาณขยะพลาสติก จำแนกตามอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนประชากร	อัตราการก่อขยะพลาสติก	ปริมาณขยะพลาสติก
อุดรธานี	ประจักษ์ศิลปาคม	25,621	7.25	185,752.25
อุบลราชธานี	เมืองอุบลราชธานี	224,687	7.25	1,628,980.75
อุบลราชธานี	ศรีเมืองใหม่	70,969	7.25	514,525.25
อุบลราชธานี	โขงเจียม	38,426	7.25	278,588.50
อุบลราชธานี	เขื่องใน	107,993	7.25	782,949.25
อุบลราชธานี	เขมราฐ	81,933	7.25	594,014.25
อุบลราชธานี	เดชอุดม	178,268	7.25	1,292,443.00
อุบลราชธานี	นาจะหลวย	58,909	7.25	427,090.25
อุบลราชธานี	น้ำยืน	71,855	7.25	520,948.75
อุบลราชธานี	บุณฑริก	95,316	7.25	691,041.00
อุบลราชธานี	ตระการพืชผล	122,709	7.25	889,640.25
อุบลราชธานี	กุดข้าวปุ้น	41,387	7.25	300,055.75
อุบลราชธานี	ม่วงสามสิบ	85,005	7.25	616,286.25
อุบลราชธานี	วารินชำราบ	163,003	7.25	1,181,771.75
อุบลราชธานี	พิบูลมังสาหาร	132,887	7.25	963,430.75
อุบลราชธานี	ตาลสุม	33,182	7.25	240,569.50
อุบลราชธานี	โพธิ์ไทร	47,207	7.25	342,250.75
อุบลราชธานี	สำโรง	54,511	7.25	395,204.75
อุบลราชธานี	ดอนมดแดง	27,362	7.25	198,374.50
อุบลราชธานี	สิรินธร	55,347	7.25	401,265.75
อุบลราชธานี	ทุ่งศรีอุดม	29,199	7.25	211,692.75
อุบลราชธานี	นาเยีย	27,406	7.25	198,693.50
อุบลราชธานี	นาตาล	38,498	7.25	279,110.50
อุบลราชธานี	เหล่าเสือโก้ก	27,957	7.25	202,688.25
อุบลราชธานี	สว่างวีระวงศ์	31,298	7.25	226,910.50
อุบลราชธานี	น้ำขุ่น	33,437	7.25	242,418.25

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย จตุฤทธิ์ พรมศาลา
วันเกิด	7 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	19 หมู่ 4 ถ.อุดรธานี-หนองบัวลำภู ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2560 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี พ.ศ. 2566 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิทยาการจัดการสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว