บทที่ 4

การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย

ปัญหาตำแหน่งของที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยสำหรับระบบการจัดการมูลฝอยในพื้นที่ที่ทำการวิจัยจะถูกพิจารณาในรูปลักษณะปัญหาแบบ Multi-stage Decision Problem โดยจะต้องพิจารณาผลที่เกิดขึ้นในลักษณะ ต่างๆ กัน จากการที่นำสถานีขนถ่ายมูลฝอยเข้ามาในระบบ การพิจารณาผลวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นในแต่ลักษณะนั้นก็จะเป็นข้อมูลสนับสนุนทำให้เกิดความมั่นใจรวมทั้งความเชื่อถือในผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น

4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

การพิจารณาปัญหาแบบ Location-Allocation Problem สำหรับการวิจัยครั้งนี้จัดให้มี 4 ขั้นตอน ดังนี้คือ

1) การวิเคราะห์ระบบเก็บขนและขนส่งมูลฝอยในสภาพปัจจุบัน จากที่ได้มีการรวบรวมข้อมูล อันได้แก่ ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นต่อวันของแขวงแต่ละแขวง ระยะทาง จากแหล่งกำเนิดมูลฝอยไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอย ค่าใช้จ่ายในการเก็บและขนส่งมูลฝอย บาทต่อตันต่อกม. ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปแบบปัญหาการขนส่ง(Transportation Problem)ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบกับสถานะปัจจุบันที่ทางเขตดำเนินการอยู่ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าปริมาณมูลฝอยในแต่ละแขวงจะถูกส่งไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอยใดบ้างและมีปริมาณเท่าไร

2) การวิเคราะห์ระบบเก็บขนและขนส่งมูลฝอยเมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยเพิ่มเติมเข้ามาในระบบ โดยการสร้างแบบจำลองให้มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยเข้ามาในระบบ วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการจัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยในรูปแบบต่างๆ กัน ว่ารูปแบบใดเหมาะสมที่สุด โดยการใช้วิเคราะห์ปัญหาแบบ Transshipment Problem โดยมีขนาดของสถานีขนถ่ายและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมาเป็นตัวแปร ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรจะกระทำโดยการคำนวนในแบบจำลองซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยจะได้ผลลัพธ์อันได้แก่จำนวนและตำแหน่ง

ของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เป็นไปได้ ขนาดของสถานีขนถ่ายมูลฝอยต่าง ๆ กัน ผลลัพธ์เหล่านี้จะถูกนำมารวบรวมและสรุปเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความจุที่เหมาะสมของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ถูกคัดเลือก ในขั้นตอนนี้จะศึกษาผลที่เกิดขึ้นเมื่อสถานีขนถ่ายมูลฝอยถูกกำหนดให้มีขนาดค่าความจุที่จำกัด โดยการใช้วิเคราะห์ปัญหาแบบ Capacitated Plant Location Problem ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือจำนวนและตำแหน่งที่ดีที่สุดในการจัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ขนาดความจุต่าง ๆ กัน ขณะเดียวกันจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ทั้งหมดความจุและจำนวนของของสถานีขนถ่ายมูลฝอยรวมทั้งเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องก็จะถูกเลือก

4) การวิเคราะห์วางแผนการก่อสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ถูกคัดเลือกซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์กับช่วงเวลา ก็จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อ สนับสนุนผลการวิเคราะห์ ซึ่งกระทำโดยการใช้ข้อมูลของปริมาณมูลฝอยโดยช่วงเวลาที่ต่างๆ กัน มาทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งสถานีขนถ่ายสำหรับช่วงเวลานั้น ๆ เพิ่มเติม ตำแหน่งและขนาดความจุของสถานีกำจัดมูลฝอยในแต่ละช่วงเวลาก็จะถูกนำมาสรุปเพื่อที่จะเปิดดำเนินการหรือก่อสร้างในอนาคตต่อไป

ความจำเป็นในการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมตัวแปรต่าง ๆ เช่นปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์หาคำตอบซ้ำแล้วซ้ำอีกเพื่อที่จะนำมาพิจารณาในขั้นตอน ที่ 3 ต้องกระทำจนกระทั่งได้รับแผนการลงทุนที่เหมาะสม ซึ่งผลลัพธ์ในขั้นตอนสุดท้ายนี้คือ ช่วงเวลาที่เหมาะสม ความจุของสถานีขนถ่าย และเทคโนโลยีของสถานีขนถ่ายที่จะสร้างขึ้น ณ ตำแหน่งนั้น ขั้นตอนในการวิเคราะห์ทั้งหมดได้สรุปตามแผนภูมิในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เหมาะสม

4.2 การประยุกต์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในแบบจำลอง

1) รายละเอียดเรื่องค่าใช้จ่าย

- รถเก็บขน มีการทำงานหลายหน้าที่ เติมน้ำมันในอัตราเหมา ไม่มีการจดบันทึกที่ละเอียด เพียงพอ บันทึกเฉพาะใบเที่ยวซึ่งเกี่ยวกับเวลาเข้า เวลาออก และปริมาณเก็บขนเท่านั้นดังนั้นอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องใช้อัตราเฉลี่ยซึ่งเป็นสถิติที่ได้จากกองช่างกลโรงงาน

- ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับบุคลากร ไม่สามารถแยกประเภทเป็นเฉพาะรถได้ ต้องใช้อัตราเฉลี่ย ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อรถเก็บขนมูลฝอยไม่มีบันทึกเก็บในหน่วยรักษาความสะอาดอีกทั้งมีการโอนถ่ายรถระหว่างเขตในช่วงหลังการตรวจรับมอบแล้วจึงไม่สามารถนำค่าใช้จ่ายของตัวรถเก็บขนมาคิดในค่าใช้จ่ายคงที่ในแบบจำลองได้

- ค่าซ่อมรถเก็บขนมูลฝอยใช้เป็นค่าเฉลี่ยจากบันทึกค่าซ่อมตลอดทั้งปีจากกองช่างกลโรงงาน สำหรับค่าซ่อมที่พนักงานเก็บขนไปซ่อมเองไม่สามารถหาข้อมูลได้จึงไม่นำมาคิดทำให้ค่าซ่อมอาจต่ำกว่าความจริงบ้างแต่อย่างไรก็ตามก็ยังอยู่ในบรรทัดฐานเดียวกัน

- ปริมาณมูลฝอยทั้งหมดก่อนที่เข้าส่งสถานที่กำจัดได้ มีการคัดเลือกแยกประเภทมูลฝอยนำกลับมาใช้ใหม่ไปจำหน่ายแล้ว บางครั้งมีการชั่งน้ำหนัก ณ สถานีขนถ่ายปลายทางเนื่องจากรถขาดการปฏิบัติงานในวันนั้น ๆ ทำให้ วันและเวลาเก็บขนไม่ตรงความจริง ปริมาณมูลฝอยทั้งหมดในแต่ละเที่ยวแต่ละวันจึงยึดถือใบเที่ยวเป็นเกณฑ์

2) ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลในการลงทุนจัดตั้งสถานีขนถ่ายที่แท้จริงเนื่องจากอยู่ในระหว่างขั้นตอนการจัดซื้ออุปกรณ์เท่านั้นจึงไม่สามารถสรุปตัวเลขที่ชัดเจนได้ ในขั้นตอนนี้จึงมีวัตถุประสงค์ก็เพียงแต่ชี้ให้เห็นถึง ทางเลือกตำแหน่งของสถานีขนถ่ายมูลฝอยเท่านั้น

3) ในการวิเคราะห์จะไม่รวมถึงการแปรสภาพมูลฝอย เช่น การอัดก้อนมูลฝอย หรือการคัดแยกมูลฝอย เพราะว่าเป็นเทคโนโลยีที่ต้องลงทุนมากสามารถเพิ่มเติมได้ในภายหลัง การวิเคราะห์จะเน้นถึงความประหยัดทางด้านเศรษฐศาสตร์เฉพาะปริมาณและระยะทางเท่านั้น

4) ค่าใช้จ่ายของรถขนส่งมูลฝอย รถขนส่งมูลฝอยแต่ละประเภทจะมีค่าดำเนินการที่ ต่างกัน โดยการวิจัยนี้ยังไม่สามารถกำหนดประเภทของรถ กำลัง แรงม้า และยังไม่มีข้อมูลที่เกี่ยวกับค่าดำเนินการของรถขนส่งมูลฝอยเลย เนื่องจากยังไม่มีการจัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยและดำเนินการจริง จึงตั้งสมมุติฐาน โดยกำหนดให้

$$r = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนมูลฝอย (บาท/ตัน.กม.)}}{\text{ค่าใช้จ่ายของรถขนส่งมูลฝอย (บาท/ตัน.กม.)}}$$

ซึ่งค่าใช้จ่ายของรถทั้งสองประเภทจะเป็นค่าดำเนินการอันหมายถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับคนขับรถ คนประจำรถ ค่าน้ำมัน ค่าซ่อมบำรุง เท่านั้น หรืออีกนัยหนึ่ง ค่า r เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงอัตราส่วนของมูลค่าดำเนินการของรูปแบบการขนส่งมูลฝอยในรูปแบบที่ต่างกันในช่วงเวลานั้น ๆ

5) ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยและประเภทของสถานีขนถ่ายมูลฝอย จะใช้แบบจากโครงการนำร่องสถานีขนถ่ายมูลฝอย (ย่อย) ของ กทม.ที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 3.9 บทที่ 3 มาเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ การเพิ่มความจุของสถานีขนถายมูลฝอยก็สามารถกระทำได้โดยการเพิ่มจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ หรือการเพิ่มความถี่ในการขนส่ง เป็นต้น

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3.1 ข้อกำหนดและสมมุติฐานของแบบจำลอง

1) มูลฝอยจะถูกเก็บขนจากจุดศูนย์กลางของพื้นที่กำเนิดมูลฝอย(CENTROID) ของแหล่งกำเนิดซึ่งได้แก่แขวงต่าง ๆ ในพื้นที่ทำการวิจัยโดยถือว่าความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ยเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่

2) ราคาค่าขนส่งมูลฝอยเป็นสัดส่วนกับปริมาณและระยะทางในการขนส่ง

3) กลุ่มของพื้นที่และตำแหน่งของสถานีขนถ่ายมูลฝอยในขั้นตอนแรกจะถูกกำหนดขึ้นในรูปแบบของตารางและจะถูกสุ่มคัดเลือกจุดโดยคอมพิวเตอร์ในภายหลัง

4) ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ถูกสุ่มคัดเลือกในขั้นต้นจะนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงในสนามเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในขั้นต้นของสถานีขนถ่ายมูลฝอยนั้น ๆ

5) รูปแบบของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่จะนำเข้ามาในระบบจะเป็นชนิดสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยตามโครงการนำร่องของกรุงเทพมหานคร

6) กำหนดให้สถานีขนถ่ายมูลฝอยเดิม คือ สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช และสถานีขนถ่ายมูลฝอยท่าแร้งซึ่งได้ให้บริการในหลาย ๆ เขตของกรุงเทพมหานครเป็นสถานที่กำจัดมูลฝอยของการวิจัยครั้งนี้และมีความจุไม่จำกัด ฉนั้นมูลฝอยจะถูกขนส่งจากจุดเก็บขนไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอยที่ใกล้ที่สุดหรือขนส่งจากสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ใกล้สถานที่กำจัดมูลฝอยนั้น

7) รถเก็บขนมูลฝอยและรถขนส่งมูลฝอยของแต่ละพื้นที่ที่ทำการวิจัยและของสถานีขนถ่ายมูลฝอยจะต้องเป็นประเภทเดียวกันและมีคุณสมบัติสอดคล้องกับแต่ละพื้นที่ที่ทำการวิจัย โดยในการวิจัยนี้จะนำสมการของรถเก็บขนมูลฝอยในหัวข้อ 3.5 มาทำการวิเคราะห์

4.3.2 วัตถุประสงค์ของแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้ก็เพื่อต้องการที่จะคัดเลือกตำแหน่งและขนาดของสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบขนส่งมูลฝอยที่เหมาะสมอันจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยต่ำที่สุด ซึ่งสามารถแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

Minimize

$$\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{T} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^{M}\sum_{k=1}^{N} d_{ik} y_{ik} + \sum_{j=1}^{T}\sum_{k=1}^{N} e_{jk} z_{jk} + \sum_{j=1}^{T} F_j w_j \qquad (1)$$

และมีข้อจำกัดของสมการดังต่อไปนี้ คือ

Subject to

$$\sum_{j=1}^{T} x_{ij} + \sum_{k=1}^{N} y_{ik} = S_i \quad , \text{i} = 1,2,3,\ldots\ldots,\text{M} \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{M} x_{ij} - \sum_{k=1}^{N} z_{jk} = 0 \quad , \text{j} = 1,2,3,\ldots\ldots,\text{T} \qquad (3)$$

$$u_j w_j \geq \sum_{i=1}^{M} x_{ij} \quad , \text{j} = 1,2,3,\ldots\ldots,\text{T} \qquad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad (5)$$

$$y_{ik} \geq 0 \qquad (6)$$

$$z_{jk} \geq 0 \qquad (7)$$

$$w_j = \{0,1\} \qquad (8)$$

เมื่อ

M	คือ	จำนวนของแหล่งกำเนิดมูลฝอย
T	คือ	จำนวนของสถานีขนถ่ายมูลฝอย
N	คือ	จำนวนของแหล่งกำจัดมูลฝอย
S_i	คือ	ปริมาณมูลฝอยที่เก็บได้จากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ต่อวันมีหน่วย ตัน
x_{ij}	คือ	ปริมาณมูลฝอยที่ขนจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย j มีหน่วย ตัน
y_{ik}	คือ	ปริมาณมูลฝอยที่ขนจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k มีหน่วย ตัน
z_{jk}	คือ	ปริมาณมูลฝอยที่ขนจากสถานีขนถ่ายมูลฝอย j ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k มีหน่วย ตัน
c_{ij}	คือ	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย j มีหน่วย บาท ต่อ ตัน
d_{ik}	คือ	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k มีหน่วย บาท ต่อ ตัน
e_{jk}	คือ	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากสถานีขนถ่ายมูลฝอย j ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k มีหน่วย บาท ต่อ ตัน
Fj	คือ	ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) เช่น ค่าดำเนินการสำหรับมูลฝอย 1 ตัน ณ สถานีขนถ่ายมูลฝอย
w_j	คือ	ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) โดยที่ $w_j = 1$ เมื่อสถานีขนถ่ายมูลฝอย j ถูกกำหนดว่าสร้าง $w_j = 0$ กรณีเป็นอย่างอื่น
U_j	คือ	ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอย ตันต่อวัน

ความหมายของสมการและอสมการในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการที่ 1

เทอมที่ 1 ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด i ไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย j เมื่อ i = 1,2,3,....,M และ j = 1,2,3,...,T

เทอมที่ 2 ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด i ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k เมื่อ i = 1,2,3,....,M และ k = 1,2,3,...,N

เทอมที่3 ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากสถานีขนถ่ายมูลฝอย j ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k เมื่อ j = 1,2,3,....,T และ k = 1,2,3,...,N

เทอมที่4 ผลรวมของ Fixed cost ทั้งหมดของสถานีขนถ่ายมูลฝอย j เมื่อ j = 1,2,3,....,T

สมการที่ 2 ปริมาณมูลฝอยที่ขนส่งจากแหล่งกำเนิด i ไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย j และปริมาณมูลฝอยที่ขนส่งจากแหล่งกำเนิด i ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k เมื่อรวมกันแล้วจะเท่ากับปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น ณ แหล่งกำเนิด i

สมการที่ 3 ปริมาณมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ที่ส่งเข้ามายังสถานีขนถ่ายมูลฝอย j จะต้องเท่ากับปริมาณมูลฝอยที่ส่งออกจากสถานีขนถ่ายมูลฝอย j ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k คือไม่มีมูลฝอยตกค้างที่สถานีขนถ่ายมูลฝอย

สมการที่ 4 ปริมาณมูลฝอยที่ขนส่งจากแหล่งกำเนิด i ไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย j จะต้องไม่เกินความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอย j คือ U_j ที่จะรับได้

สมการที่ 5 ปริมาณมูลฝอยที่ส่งจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอย j ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการที่ 6 ปริมาณมูลฝอยที่ส่งจากแหล่งกำเนิดมูลฝอย i ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการที่ 7 ปริมาณมูลฝอยที่ส่งจากสถานีขนถ่ายมูลฝอย j ไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย k ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการที่ 8 w_j มีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

4.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการดำเนินการวิจัยได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในขั้นตอนหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลในแผนที่
2) ขั้นตอนในการจัดเตรียมข้อมูลในการวิเคราะห์ (input data file)
3) ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัญหาในแบบจำลอง
4) ขั้นตอนในการจัดเก็บและประมวลผลที่ได้จากการวิเคราะห์ (output file)

4.4.3 ขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลในแผนที่

จากภาพถ่ายทางอากาศของกรุงเทพมหานครซึ่งได้รับการแปลและปรับแก้ (Rectification) จะถูกนำมาคัดลอกกำหนดขอบเขตและบันทึกเป็นแผนที่อิเลคโทรนิค ในพื้นที่ทำการวิจัยจะทำการหาค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Centroid) ของแขวงแต่ละแขวงโดยการใช้โปรแกรม Autocad R.14 ตรวจสอบคุณสมบัติของแขวงแต่ละแขวงเมื่อแขวงนั้นถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็น Region function สำหรับค่าพิกัดของจุดอื่นก็จะตรวจสอบในสนามร่วมกับในแผนที่โดยเครื่องวัดระยะแล้วมากำหนดจุดลงในแผนที่อีเลคโทรนิคซึ่งจะทราบค่าพิกัดจากโปรแกรม Autocad R.14 เช่นกัน

4.4.3 ขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลในการวิเคราะห์ (Input data file)

การเตรียมข้อมูลที่จะส่งเข้าไปประมวลผลในโปรแกรมหลัก ข้อมูลดังกล่าวได้แก่ ระยะทางระหว่าง Centroid ต่าง ๆ ค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามประเภทของรถเก็บขนมูลฝอยแต่ละประเภทของแต่ละเขต ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของแขวงแต่ละแขวง เป็นต้นจะถูกเตรียม อยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลเพื่อให้โปรแกรมหลักอ่านได้โดยตรง โปรแกรมที่เหมาะสมส่วนใหญ่ก็จะเป็นโปรแกรมประเภท Spreadsheet การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Microsoft Excel

4.4.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัญหาในแบบจำลอง

การวิเคราะห์ปัญหาในแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นจะต้องคัดเลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถแก้ปัญหา Linear Programming และ Mixed Integer Programming ได้ โดยโปรแกรมที่คัดเลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรม LINGO Release 3.0

โปรแกรม LINGO เป็นโปรแกรมภาษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งแตกต่างจากภาษาเบสิค(Basic) หรือภาษาซี (C)โดยมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ภาษาเฉพาะ (Specification Language) ของตัวโปรแกรมเองได้ซึ่งทำให้การกำหนดรูปแบบของปัญหาทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์รวมทั้งกลุ่มของปัจจัยควบคุม (Constraints)ต่าง ๆที่เกี่ยวข้องสามารถเขียนเป็นประโยคทางคณิตศาสตร์ได้โดยตรง โปรแกรม LINGO จะเปลี่ยนสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหาให้อยู่ในรูปแบบของ Optimizer เพื่อทำการแก้ปัญหาในขั้นตอนต่อไป

ลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่โปรแกรม LINGO สามารถทำการแก้ไขได้มีดังนี้

1) Direct models สมการของแบบจำลองชนิดนี้ค่าของตัวแปรจะถูกกำหนดขึ้นและมีความสัมพันธ์กันทำให้สามารถหาคำตอบได้โดยตรง

2) Simultaneous models สมการของแบบจำลองชนิดนี้จะประกอบด้วย Independent equation ซึ่งไม่สามารถแก้ไขโดยวิธีการแทนค่าโดยตรง อันได้แก่ Linear programming และ Non-Linear programming

3) Optimization models จะเป็นสมการจากข้อ 2 ซึ่งต้องการผลลัพธ์ของคำตอบสูงสุดหรือต่ำสุด โดยการกำหนดตัวแปรหรือสมการในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต้องการให้ Maximize หรือ Minimize

โปรแกรม LINGO จะประกอบด้วย Solver จำนวน 4 ประเภทด้วยกันคือ

(1) Direct solver

(2) A Simultaneous Linear solver/Optimizer

(3) A Simultaneous Non-Linear solver/Optimizer

(4) A Branch and Bound manager for model with integer restriction

การทำงานของโปรแกรมสามารถสรุปได้โดยย่อดังนี้ เมื่อเริ่มต้นทำการแก้ไขปัญหาของแบบจำลอง Direct solver จะทำการคำนวนหาค่าของตัวแปรทั้งหมดออกมาจนครบหาก Direct solver พบว่าค่าของตัวแปรไม่สามารถหาได้ครบหรือค่าของตัวแปรที่หามาได้ไม่สอดคล้องกับปัจจัยควบคุมตัว Direct solver จะหยุดการทำงาน ตัวโปรแกรม ก็จะทำการตรวจสอบสมการของแบบจำลองว่าเป็น Linear programming หรือ Non-Linear programming และจะทำการเลือกใช้ solver ที่เหมาะสมคือถ้าหากพบว่าสมการแบบจำลองเป็น Linear programming ก็จะใช้ A Simultaneous Linear solver/Optimizer มาทำการแก้ปัญหาและเช่นเดียวกันหากพบว่าเป็น Non-Linear programming ก็จะใช้ A Simultaneous Non-Linear solver/Optimizer มาทำการแก้ปัญหา ในกรณีที่แบบจำลองของปัญหาเป็น Integer programming ก็จะใช้ A Branch and Bound manager มาช่วยแก้ปัญหาด้วย

ในการวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับสมการของแบบจำลองที่เป็น Linear programming กับ Integer programming โดยโปรแกรม LINGO จะนำ Linear solver ซึ่งใช้วิธี Simplex Method และ Integer programming ซึ่งใช้วิธี Branch and Bound Method มาทำการแก้ปัญหาตามลำดับ

โปรแกรม LINGO ที่นำมาใช้วิเคราะห์เป็นรุ่น Extended Version มีความสามารถในการแก้ไขปัญหาขนาด 32,000 x 100,000 (Row x Column) หน่วยความจำที่ต้องการ 16Mb

1.4.3 ขั้นตอนในการจัดเก็บและประมวลผลที่ได้จากวิเคราะห์ (Output)

เมื่อข้อมูลได้ประมวลผลในโปรแกรมหลักแล้ว ผลลัพธ์และคำตอบของปัญหาอันได้แก่ Optimal Objective function , ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่านสถานีขนถ่ายมูลฝอยแต่ละสถานี แต่ละช่วงเวลาของการวิเคราะห์แต่ละรูปแบบ เป็นต้น จะมีค่อนข้างมาก ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งจากโปรแกรมหลักมาบันทึกอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลได้ในภายหลัง โปรแกรมที่เหมาะสมก็ใช้เป็นโปรแกรมประเภท Word processing การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Microsoft Word

4.5 ระบบเก็บขนมูลฝอยและขนส่งมูลฝอยของพื้นที่ทำการวิจัยในปัจจุบัน

ระบบการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยของพื้นที่ทำการวิจัย ซึ่งได้แก่เขตลาดพร้าว เขตบางกะปิและเขตบึงกุ่มจะถูกวิเคราะห์ในรูปแบบปัญหา Transportation Problem โดยการวิเคราะห์นี้จะถือว่าค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนมูลฝอยและรถขนส่งมูลฝอยมีค่าใช้จ่ายที่เท่ากัน นั่นก็คือการกำหนดให้ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายระหว่างรถทั้งสองประเภท(r) เท่ากับ i นั่นเอง หรืออีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ก็คือโดยทำการกำหนดค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดมูลฝอยไปยังสถานีขนถ่าย มูลฝอย และค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยจากสถานีขนถ่ายมูลฝอยไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอย เป็นจำนวนเต็มบวกที่มีค่ามาก ๆ(Large Positive Number) ซึ่งก็จะเปรียบเสมือนว่าสถานีขนถ่ายมูลฝอยยังไม่ได้ถูกสร้างขึ้นมาเลยเช่นกัน ในคำตอบที่ Optimal พบว่าแต่ละแขวงก็จะทำการขนส่งมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอยที่ใกล้ที่สุด โดยไม่คำนึงถึงความจุของสถานที่กำจัดมูลฝอยว่าความจุจำกัดหรือไม่

เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการทำงานในทางปฏิบัติของทั้ง 3 เขตในพื้นที่วิจัย แล้วจะพบว่าสัดส่วนของการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 4. 1

ตารางที่ 4. 1 เปรียบเทียบปริมาณมูลฝอยที่จัดส่งไปยังสถานที่กำจัดของพื้นที่ทำการวิจัย

เขต	อ่อนนุช (ร้อยละ)	ท่าแร้ง (ร้อยละ)
ลาดพร้าว	9.4 (0)	90.6 (100)
บางกะปิ	99.9 (100)	0.1 (0)
บึงกุ่ม	99.3 (20.91)	0.7 (79.09)

ที่มา ฝ่ายวางแผนงานโครงการและข้อมูล สำนักรักษาความสะอาด
หมายเหตุ (..) ร้อยละของการขนส่งมูลฝอยได้จากการวิเคราะห์ในแบบจำลอง

จากข้อมูลดังกล่าวเห็นว่าเขตลาดพร้าวและเขตบางกะปิขนส่งมูลฝอยสอดคล้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ส่วนเขตบึงกุ่มจำเป็นต้องมีการปรับปรุงปริมาณการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยให้มีประสิทธิภาพขึ้น

4.6 ระบบเก็บขนและขนส่งมูลฝอยของพื้นที่ทำการวิจัยเมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยเข้ามาในระบบ

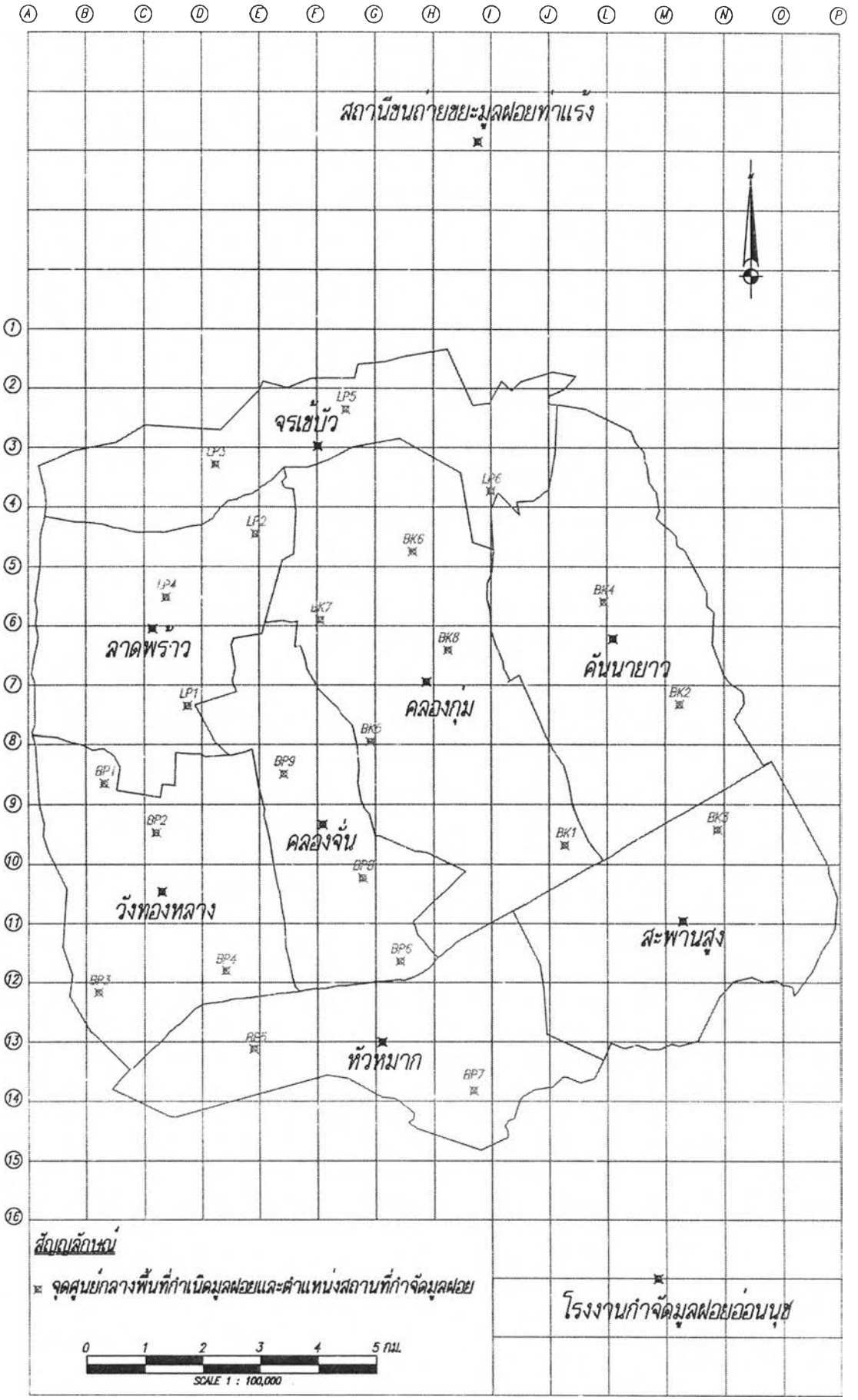
4.6.1 ศักยภาพของพื้นที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย

ในการกำหนดตำแหน่งสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบจำเป็นต้องพิจารณาถึงพื้นที่ที่มีศักยภาพ พื้นที่เหล่านี้จะมีอยู่ในแต่ละแขวง การวิเคราะห์หาพื้นที่หรือตำแหน่งเหล่านี้กระทำโดยการแบ่งพื้นที่ทำการวิจัยออกเป็นตารางโดยแต่ละจุดตัดของตารางเหล่านี้จะมีระยะห่างตามมาตราส่วนเท่ากับ 1 กิโลเมตรดังรูปที่ 4. 2 ซึ่งประกอบด้วยจุด 137 จุดในพื้นที่

จากการนำข้อมูลปริมาณมูลฝอยในปี พ.ศ. 2540 และ ปี พ.ศ. 2560 มาทำการวิเคราะห์ในแบบจำลองก็สามารถสรุปจุดหรือพื้นที่ที่มีศักยภาพในการจัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย

เขต	แขวง	ตำแหน่ง
ลาดพร้าว	ลาดพร้าว	C5 , C6 , D5 , D6
	จระเข้บัว	F2 , F3
บางกะปิ	คลองจั่น	F9 , F10 , G10
	วังทองหลาง	C10 , C11 , D10 , D11 , D12
	หัวหมาก	G13,H13,H14
บึงกุ่ม	คลองกุ่ม	G3 , G6 , G7 , G8 , H6 , H7 , H8 , I6 , I7
	สะพานสูง	M11 , M12 , N11
	คันนายาว	L5 , L6 , M6



รูปที่ 4.2 พื้นที่ทำการวิจัยและจุดศูนย์กลางของพื้นที่กำเนิดมูลฝอยและสถานที่กำจัดมูลฝอย

4.6.2 ตำแหน่งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เป็นไปได้ในพื้นที่ทำการวิจัย

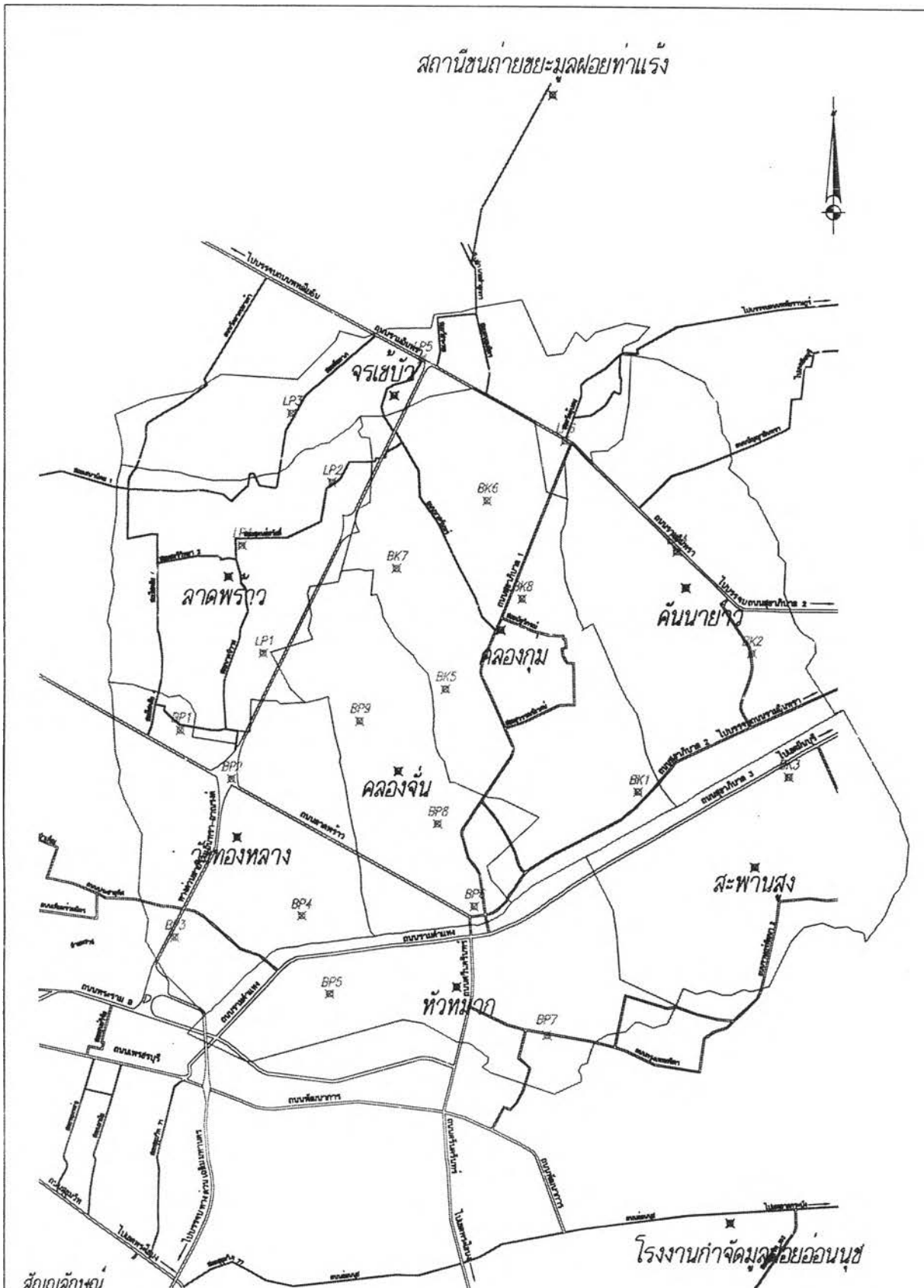
จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.6.1 เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลในการพิจารณาหาสถานที่จัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยของ ฝ่ายสถานีขนถ่ายและฝังกลบมูลฝอย กองโรงงานกำจัดมูลฝอย เห็นว่าสามารถกำหนดจุดที่มีความเป็นไปได้จำนวน 23 จุดซึ่งมีรายละเอียดในตารางที่ 4.3 ซึ่งจุดเหล่านี้จะมีความใกล้เคียงกับจุดและพื้นที่ที่ได้คัดเลือกมากที่สุด

จุดดังกล่าวทั้งหมดถูกกำหนดตำแหน่งลงในแผนที่แสดงพื้นที่ทำการวิจัยดังปรากฏในรูปที่ 4.3 และจุดทั้งหมดซึ่งได้แก่จุดกำเนิดมูลฝอย ตำแหน่งที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เป็นไปได้รวมทั้งตำแหน่งสถานที่กำจัดมูลฝอยจะนำมาคำนวนหาระยะทางที่มีความสัมพันธ์กันกล่าวคือเป็นระยะทางขจัดจากแหล่งกำเนิดมูลฝอยไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอยและแหล่งกำจัดมูลฝอยรวมทั้งระยะทางขจัดจากสถานีขนถ่ายมูลฝอยไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอย ระยะทางเหล่านี้ได้แสดงไว้ตารางที่ 4.4

เมื่อนำสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่กำหนดขึ้นเพิ่มเข้ามาในระบบปัจจุบันพร้อมกำหนดให้สถานีขนถ่ายมูลฝอยทั้งหมดเปิดทำการในแบบจำลอง และใช้ Transportation Problem ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยการปรับเปลี่ยนค่า r ระหว่าง 2-4 ผลที่เกิดขึ้นคือสถานีขนถ่ายมูลฝอยหลายสถานีก็จะถูกเลือกและถูกกำหนดว่าเปิดดำเนินงาน และสามารถสังเกตุได้ว่าเมื่อ r มีค่าเพิ่มมากขึ้นขึ้นปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่านสถานีขนถ่ายมูลฝอยก็จะมีมากขึ้น ซึ่งก็จะหมายถึงว่าการขนส่งมูลฝอยโดยตรงไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอยจะแพงมากขึ้นนั่นเอง ในขั้นตอนนี้มีการทดสอบผลกระทบของระยะทางที่มีต่อคำตอบของปัญหา ซึ่งกระทำโดยการสุ่มตัวอย่างข้อมูลและปรับระยะทางเพิ่มขึ้นอีก 15% จากระยะทางเดิมแล้วมาทำการวิเคราะห์ในแบบจำลองเดิมพบว่าผลที่ได้ก็ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงนัยยสำคัญมากนักคือ Objective value เพิ่มขึ้นหรือลดลงเล็กน้อยหรือบางครั้งก็ไม่เปลี่ยแปลงแต่ผลการเลือกตำแหน่งสถานีขนถ่ายก็จะสลับกันบ้างในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันซึ่งก็สนับสนุนเหตุผลในการเลือกใช้ระยะขจัดตามวิธีทางเรขาคณิต และโดยทำนองเดียวกันก็อาจตีความได้ว่า ตำแหน่งที่แท้จริงของสถานีขนถ่ายมูลฝอยสามารถกำหนดห่างจากจุดที่คัดเลือกในแบบจำลองได้ในรัศมีถึง 2 กิโลเมตร

ตารางที่ 4.3 ตำแหน่งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เป็นไปได้ในพื้นที่ทำการวิจัย

เขต	สถานีขนถ่ายมูลฝอย	รายละเอียด
ลาดพร้าว	LP1	บริเวณศูนย์เก็บรถเก็บมูลฝอยเขตลาดพร้าว
	LP2	บริเวณซอยศุคนธ์สวัสดิ์
	LP3	บริเวณซอยมัยลาภ
	LP4	บริเวณซอยสตรีวิทยา 2 ข้างพื้นที่สร้างแฟลตข้าราชการ กทม.
	LP5	บริเวณทางต่างระดับวัชรพล ทางด่วนรามอินทราอาจณรงค์
	LP6	บริเวณซอยวัดคู้บอน
บางกะปิ	BP1	บริเวณซอยสังคมสงเคราะห์เหนือต่อซอยลาดพร้าว 71
	BP2	บริเวณซอยลาดพร้าว 73 ใต้ทางต่างระดับลาดพร้าว
	BP3	บริเวณช่วงจุดตัดซอยรามคำแหง 21 กับถนนคู่ขนานทางด่วนถึงบ่อบำบัดชุมชนพระราม 9
	BP4	บริเวณซอยรามคำแหง 53
	BP5	บริเวณซอยรามคำแหง 24 หลังการกีฬาแห่งประเทศไทย
	BP6	บริเวณศูนย์เก็บรถเก็บมูลฝอยเขตบางกะปิ
	BP7	บริเวณถนนกรุงเทพกรีฑา
	BP8	บริเวณถนนแฮปปี้แลนด์
	BP9	บริเวณซอยวัดบึงทองหลาง ลาดพร้าว 101
บึงกุ่ม	BK1	บริเวณศูนย์เก็บรถเก็บมูลฝอยเขตบึงกุ่ม
	BK2	บริเวณถนนสวนสยาม
	BK3	บริเวณถนนสุขาภิบาล 3
	BK4	บริเวณถนนรามอินทรา
	BK5	บริเวณซอยไพรีแก้วถนนสุขาภิบาล 1
	BK6	บริเวณซอยผู้ใหญ่สุนทรถนนนวลจันทร์
	BK7	บริเวณซอยสุขาช่วงถนนเกษตรสุขาภิบาลตัดใหม่
	BK8	บริเวณซอยสำนักสงฆ์ถนนสุขาภิบาล 1



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เป็นไปได้ในพื้นที่ทำการวิจัย

ตารางที่ 4.4 ระยะทางระหว่างจุดกำเนิด จุดชนถ่ายและจุดกำจัดมูลฝอย

สถานี		พิกัด		แขวง								สถานที่กำจัด	
				ลาดพร้าว	จระเข้บัว	คลองจั่น	วังทองหลาง	หัวหมาก	คลองกุ่ม	สะพานสูง	คันนายาว	อ่อนนุช	ท่าแร้ง
			N	674144	677018	677097	674302	678113	678877	683296	682107	682860	679780
		N	E	1527951	1531025	1524665	1523537	1520992	1527053	1523038	1527779	1516990	1536150
1	LP1	674750	1526650	1435	4927	3074	3145	6582	4147	9278	7443	12613	10749
2	LP2	675940	1529550	2404	1826	5020	6232	8829	3855	9824	6416	14340	7636
3	LP3	675240	1530720	2978	1804	6333	7244	10143	5164	11132	7470	15703	7078
4	LP4	674380	1528480	579	3665	4683	4943	8367	4718	10446	7758	14280	9380
5	LP5	677500	1531650	4994	790	6996	8720	10675	4798	10381	6017	15609	5045
6	LP6	680000	1530270	6298	3076	6312	8820	9467	3407	7948	3262	13584	5884
7	BP1	673320	1525350	2729	6773	3838	2061	6478	5812	10240	9116	12685	12585
8	BP2	674200	1524530	3422	7080	2900	998	5275	5314	9217	8548	11482	12890
9	BP3	673220	1521830	6190	9948	4803	2021	4965	7700	10148	10694	10787	15751
10	BP4	675420	1522200	5891	8968	2982	1743	2952	5959	7920	8709	9083	14615
11	BP5	675900	1520880	7286	10206	3970	3101	2216	6854	7704	9280	7973	15755
12	BP6	678420	1522360	7039	8777	2658	4283	1402	4716	4923	6554	6968	13857
13	BP7	679680	1520180	9541	11167	5176	6340	1765	6920	4609	7977	4504	15970
14	BP8	677780	1523770	5541	7295	1126	3486	2798	3462	5564	5899	8472	12541
15	BP9	676420	1525510	3337	5547	1082	2894	4825	2902	7307	6123	10680	11158
16	BK1	681270	1524320	7998	7939	4187	7012	4587	3633	2398	3559	7500	11923
17	BK2	683240	1526670	9185	7595	6462	9471	7650	4380	363?	1586	9687	10092
18	BK3	683880	1524580	10303	9414	6784	9635	6792	5581	1649	3658	7658	12275
19	BK4	681950	1528400	7819	5587	6124	9063	8342	3355	5529	640	11446	8048
20	BK5	677920	1526050	4227	5056	1611	4405	5061	1387	6162	4530	10319	10270
21	BK6	678640	1529250	4680	2405	4837	7173	8274	2209	7763	3766	12966	6954
22	BK7	677060	1528100	2920	2925	3435	5331	7185	2097	8032	5057	12533	8497
23	BK8	679250	1527590	5118	4096	3632	6396	6695	653	6090	2863	11198	8576
24	อ่อนนุช	682860	1516990	14002	15201	9597	10774	6207	10822	6062	10815	0	0
25	ท่าแร้ง	679780	1536150	9944	5817	11789	13745	15244	9137	13572	8685	0	0

หมายเหตุ หน่วยเป็นเมตร

จากจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยทั้งหมด 23 สถานีที่กำหนดขึ้นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่า r และขนาดความจุของสถานีขนถ่ายที่ปริมาณมูลฝอยในแต่ละปีที่ต่าง ๆ กันมีหลายคำตอบ ดังนั้นเพื่อที่จะลดจำนวนรูปแบบของคำตอบของที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย และทำให้ปัญหามีความชัดเจนขึ้น โดยสมมุติฐานในการวางแผนในระยะเวลา 20 ปีจึงได้นำรูปแบบแผนการวิเคราะห์มาประยุกต์ใช้ดังนี้

1) แผนการวิเคราะห์ที่ 1 กำหนดใช้สถานีขนถ่ายมูลฝอยมีความจุไม่จำกัด และใช้ข้อมูลปริมาณมูลฝอยของปี พ.ศ. 2540 มาทำการวิเคราะห์

2) แผนการวิเคราะห์ที่ 2 กำหนดให้สถานีขนถ่ายมูลฝอยมีความจุไม่จำกัดเช่นกัน และใช้ข้อมูลปริมาณมูลฝอยปี พ.ศ. 2560 มาทำการวิเคราะห์

แผนการวิเคราะห์ทั้งสองแบบนี้ทำการวิเคราะห์ที่ r ต่างๆ กันโดยค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง 2-4 ที่จำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เปิดดำเนินการที่ต่างๆ กันด้วย

คำตอบของแผนการวิเคราะห์แบบที่ 1 และคำตอบของแผนการวิเคราะห์แบบที่ 2 ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.5,4.6 และ ตารางที่ 4.7,4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5ตำหน่งที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่คัดลือกและปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่าน(ตันต่อวัน),2540

จำนวนสถานีขนถ่ายที่เปิดทำการ	r					
	2		3		4	
	สถานีที่เปิดทำการ	ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่า	สถานีที่เปิดทำการ	ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่าน	สถานีที่เปิดทำการ	ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่าน
1	22	611.475	23	684.573	20	684.573
2	12	351.786	14	351.786	14	351.786
	23	419.947	23	419.947	23	419.947
3	4	120.77	4	120.77	2	204.773
	12	351.786	14	351.786	14	351.786
	23	299.177	23	299.177	23	299.177
4	4	120.77	4	120.77	4	120.77
	10	145.804	5	84.003	5	84.003
	12	205.982	14	351.786	14	351.786
	23	299.177	23	299.177	23	299.177
5	4	120.77	4	120.77	4	120.77
	5	84.003	5	84.003	5	84.003
	10	145.804	10	145.804	8	145.804
	12	205.982	12	205.982	12	205.982
	23	299.177	23	299.177	23	299.177
6	4	120.77	4	120.77	4	120.77
	5	84.003	5	84.003	5	84.003
	10	145.804	10	145.804	8	145.804
	12	205.982	12	205.982	12	205.982
	19	73.098	19	73.098	18	79.071
	23	226.079	23	226.079	23	299.177
7	4	120.77	4	120.77	4	120.77
	5	84.003	5	84.003	5	84.003
	10	145.804	10	145.804	8	145.804
	13	87.16	13	87.16	12	205.982
	14	118.822	14	118.822	18	79.071
	19	73.098	19	73.098	19	73.098
	23	226.079	23	226.079	23	226.079
8	4	120.77	4	120.77	4	120.77
	5	84.003	5	84.003	5	84.003
	10	145.804	10	145.804	8	145.804
	13	87.16	13	87.16	13	87.16
	14	118.822	14	118.822	14	118.822
	18	79.701	18	79.701	18	79.701
	19	73.098	19	73.098	19	73.098
	23	226.079	23	226.079	23	226.079

ตารางที่ 4.6 Objective Value ของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่คัดลือกและปริมาณค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลง,2540

จำนวนสถานีขนถ่ายที่เปิดทำการ	r					
	2		3		4	
	Objective Value	ร้อยละ	Objective Value	ร้อยละ	Objective Value	ร้อยละ
0	8121480	0	8121480	0	8121480	0
1	6753850	16.84	5805290	28.52	5525542	31.96
2	6032050	25.73	5023040	38.15	4474550	44.90
3	5532370	31.88	4507180	44.50	3943520	51.44
4	5316250	34.54	4226150	47.96	3634250	55.25
5	5105840	37.13	3958830	51.25	3364110	58.58
6	4924050	39.37	3783480	53.41	3116550	61.63
7	4755680	41.44	3621110	55.41	2994410	63.13
8	4709510	42.01	3474020	57.22	2835050	65.09

หมายเหตุ ร้อยละ หมายถึงร้อยละของค่าใช้จ่ายที่จะลดลงเมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบ

ตารางที่ 4.7 ตำหน่งที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่คัดลือกและปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่าน(ตันต่อวัน),2560

จำนวนสถานีขนถ่ายที่เปิดทำการ	r					
	2		3		4	
	สถานีที่เปิดทำการ	ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่า	สถานีที่เปิดทำการ	ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่าน	สถานีที่เปิดทำการ	ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่าน
1	23	2863.802	23	2863.802	23	2863.802
2	4	748.449	1	748.449	1	983.536
	23	2115.353	23	2115.353	23	1880.266
3	4	362.931	4	362.931	2	613.362
	12	861.43	12	861.43	10	861.43
	23	1880.266	23	1880.266	23	1880.266
4	4	362.931	4	362.931	2	613.362
	12	861.43	12	^61.43	10	861.43
	19	436.209	19	436.209	18	557.058
	23	1444.057	23	1444.057	23	1880.266
5	4	362.931	4	362.931	2	613.362
	5	250.431	12	861.43	10	861.43
	12	861.43	18	557.058	18	557.058
	19	436.209	19	436.209	19	436.209
	23	1444.057	23	1444.057	23	1444.057
6	4	362.931	4	362.931	4	362.931
	5	250.431	5	250.431	5	250.431
	10	385.518	12	861.43	10	861.43
	12	475.912	18	557.058	18	557.058
	19	436.209	19	436.209	19	436.209
	23	1444.057	23	1444.057	23	1444.057
7	4	362.931	4	362.931	4	362.931
	5	250.431	5	250.431	5	250.431
	10	385.518	10	385.518	8	385.518
	13	240.825	12	475.912	12	475.912
	14	235.087	18	557.058	18	557.058
	19	436.209	19	436.209	19	436.209
	23	1444.057	23	1444.057	23	1444.057
8	4	362.931	4	362.931	4	362.931
	5	250.431	5	250.431	5	250.431
	10	385.518	10	385.518	8	385.518
	13	240.825	13	240.825	13	240.825
	14	235.087	14	235.087	14	235.087
	18	557.058	18	557.058	18	557.058
	19	436.209	19	436.209	19	436.209
	23	1444.057	23	1444.057	23	1444.057

ตารางที่ 4.8 Objective Value ของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่คัดลือกและปริมาณค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลง,2560

จำนวนสถานีขนถ่ายที่เปิดทำการ	r					
	2		3		4	
	Objective Value	ร้อยละ	Objective Value	ร้อยละ	Objective Value	ร้อยละ
0	33329200	0	33329200	0	33329200	0
1	25978800	22.05	21885300	34.34	19838500	40.48
2	24072100	27.77	19837300	40.48	17651500	47.04
3	22616400	32.14	18360900	44.91	16141800	51.57
4	21531500	35.40	17314500	48.05	14750000	55.74
5	20904300	37.28	16278200	51.16	13722800	58.83
6	20332800	38.99	15440400	53.67	12796800	61.60
7	19940300	40.17	14733000	55.80	12039700	63.88
8	19615000	41.15	14380500	56.85	11707100	64.87

หมายเหตุ ร้อยละ หมายถึงร้อยละของค่าใช้จ่ายที่จะลดลงเมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบ

จากรูปแบบแผนการวิเคราะห์ 1 และแบบแผนการวิเคราะห์ 2 สามารถสรุปในขั้นต้นได้ดังนี้

1) เมื่อ r เพิ่มขึ้นค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยจะลดลงซึ่งหมายถึงจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้น

2) เมื่อจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยสร้างหรือเปิดดำเนินการมากขึ้นค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งจะลดลง ดังนั้นการที่จะลดค่าใช้จ่ายให้ Minimizing ได้ดีก็จะต้องมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยมากพอควร

3) เมื่อเปิดสถานีขนถ่ายมูลฝอยจำนวน 8 สถานี ในปี พ.ศ. 2560 จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย ในการขนส่งมูลฝอยได้ถึง 56.8 % เมื่อ r = 3

4) จากจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่กำหนดขึ้นจำนวน 23 สถานี พบว่ามีเพียง 14 สถานีที่มีผลต่อผลลัพธ์ของค่าใช้จ่าย ซึ่งสังเกตุได้ว่าสถานีขนถ่ายมูลฝอยเหล่านี้ตั้งอยู่ใกล้ศูนย์กลางของแหล่งกำเนิดมูลฝอย ส่วนสถานีอื่นๆ ไม่มีศักยภาพพอจึงไม่มีปรากฏอยู่ในผลลัพธ์

5) ตำแหน่งของสถานีขนถ่ายมูลฝอยไม่ได้เปลี่ยนแปลงนัยยสำคัญเช่นเดียวกับอัตราส่วนของค่าใช้จ่ายระหว่างรถเก็บขนและรถขนส่ง (r) อย่างไรก็ตามก็สามารถสังเกตุได้ว่าปริมาณขนถ่ายมูลฝอยจะเพิ่มขึ้นหากค่าใช้จ่ายระหว่างรถเก็บขยะมูลฝอยและรถขนส่งมูลฝอยเพิ่มขึ้น

จากผลลัพธ์ที่ได้ข้างต้นจำนวนทางเลือกในการตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยจึงถูกจำกัดจาก 23 ทางเลือกให้เหลือเพียง 14 ทางเลือก ซึ่งได้แก่สถานีขนถ่ายมูลฝอย LP1 , LP2 , LP4 , LP5 , BP2 . BP4 , BP6 , BP7 , BP8 , BK3 , BK4 , BK5 , BK7 และ BK8 ซึ่งจะถูกเลือกให้ทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป และจะใช้ค่า r = 3 ซึ่งการเลือกใช้ค่านี้ก็ถือว่าเป็นการประมาณการขั้นต้นที่จะให้ผลที่คาดการเป็นไปในแนวทางที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยมากที่สุดในกลุ่มค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.7 ความจุที่เหมาะสมของสถานีขนถ่ายมูลฝอยในพื้นที่ทำการวิจัย

การพิจารณาที่ตั้งและจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยมีความจำเป็นที่จะต้องนำความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยเข้ามาพิจารณาประกอบการตัดสินใจด้วย ซึ่งความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ความจุค่าหนึ่งก็จะให้ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายของปัญหาค่าหนึ่ง ค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นข้อมูลที่นำมาพิจารณาใช้ในการคัดเลือกความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เหมาะสมและจำนวนสถานีขนถ่ายที่เหมาะสมกับความจุนั้น

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้วางแผนการวิจัยให้ครอบคลุมถึง ปี พ.ศ. 2560 ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลปริมาณมูลฝอยของปี พ.ศ. 2560 ในพื้นที่ทำการวิจัยมาใช้ทำการวิเคราะห์ร่วมกับตำแหน่งของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่มีศักยภาพในแบบจำลอง ผลของการวิเคราะห์นี้สามารถสังเกตุค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงของระบบที่ทำการวิจัยทั้งหมดที่ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยต่าง ๆ กัน ผลการวิเคราะห์สรุปไว้ในตารางที่ 4.9

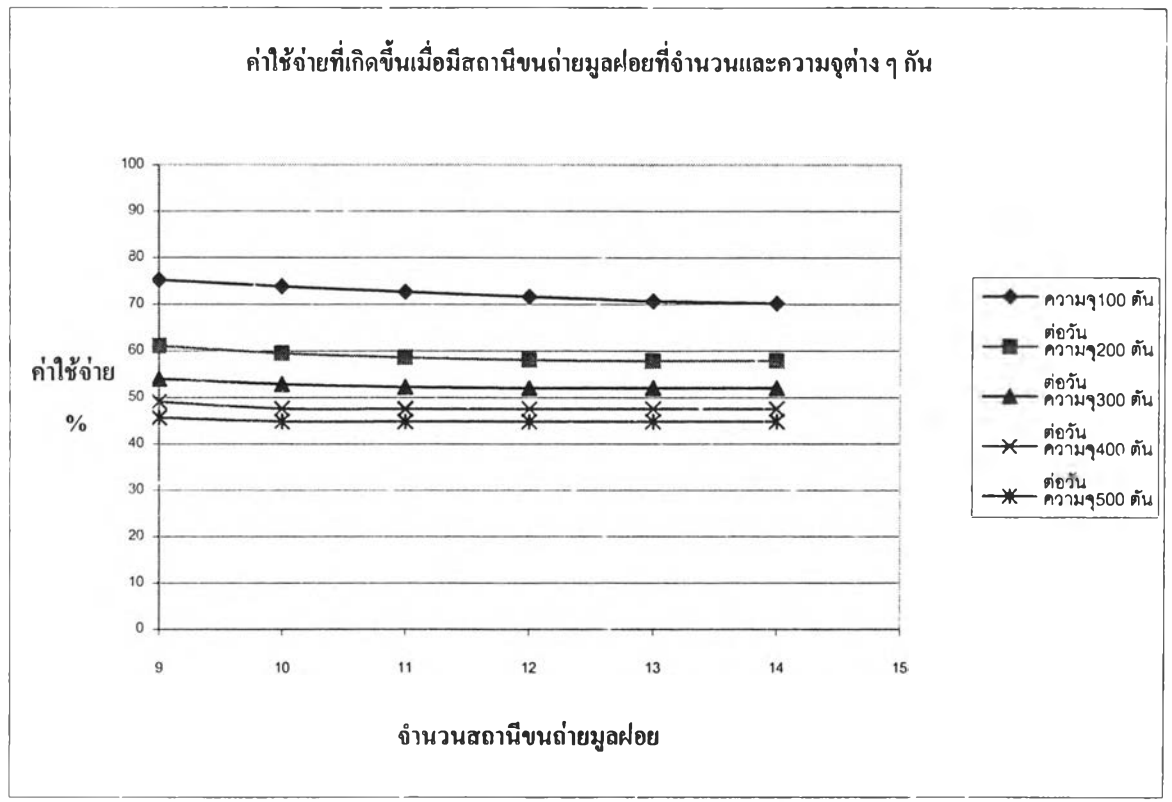
จากผลลัพธ์ที่ได้เห็นว่าเมื่อไม่กำหนดจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่จะเปิดทำการและทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยโดยเริ่มจาก 100 ตันต่อวัน พบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด(Objective value) เท่ากับ 330037 ณ ที่ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยเท่ากับ 1450 ตันต่อวันโดยสามารถลดค่าใช้จ่ายทั้งหมดได้ถึงร้อยละ 58

ในทำนองเดียวกันหากกำหนดให้ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยคงที่และจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยเป็นตัวแปร จากกราฟรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า ณ ที่ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยเท่ากับ 100 ตันต่อวัน การเปิดสถานีขนถ่ายมูลฝอยจำนวน 14 สถานีก็จะลดค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งได้สูงสุดเพียงร้อยละ 30 และที่ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยเท่ากับ 500 ตันต่อวัน การเปิดสถานีขนถ่ายมูลฝอยจำนวน 10 สถานีก็จะลดค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งได้สูงสุดถึงร้อยละ 55

ในการพิจารณาเลือกความจุที่เหมาะสมของสถานีขนถ่ายที่จะนำมาใช้ในพื้นที่ทำการวิจัยนั้น สิ่งหนึ่งที่ควรจะนำมาพิจารณาเป็นปัจจัยก็คือ ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยที่ทางกรุงเทพมหานครจะนำมาใช้ประกอบการพิจารณาด้วย สถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยพื้นฐาน 1 สถานีจะมีตู้คอนเทนเนอร์สำหรับบรรจุมูลฝอยเท่ากับ 5 ตู้คอนเทนเนอร์ซึ่งบรรจุมูลฝอยได้รวม 55-60 ตันดังนั้นการเพิ่มความสามารถหรือความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยนี้ก็จะสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนตู้ หรือเพิ่มความถี่ในการลากจูงตู้คอนเทนเนอร์ไปยังสถานที่กำจัด

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อสถานีขนถ่ายมูลฝอยมีความจุต่างๆกัน

จำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่เปิดทำการ	ความจุสถานีขนถ่ายมูลฝอย ตันต่อวัน											
	100	200	300	400	500	1000	1100	1200	1300	1400	1450	1500
<=14 สถานี	552576	455113	409098	374107	352860	338643	336705	334767	332829	330891	330037	330037
9	592265	480989	425070	385948	359373	338653	336715	334777	332839	330901	330047	330047
10	580956	468358	415503	374513	352860	338663	336725	334787	332849	330911	330057	330057
11	571946	460978	410661	374107	352870	338670	336735	334797	332859	330921	330067	330067
12	563948	456723	409098	374117	352880	338683	336745	334807	332869	330931	330077	330077
13	556261	455113	409108	374127	352890	338693	336755	334817	332879	330941	330087	330087
14	552570	455123	409118	374137	352900	338700	336765	334827	332889	330951	330097	330097



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายและจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ความจุต่าง ๆ กัน

การเพิ่มตู้คอนเทนเนอร์ขึ้นอีกจำนวน 2 ตู้และการจัดการเพิ่มความถี่ในการลากจูงตู้คอนเทนเนอร์เป็น 3 เที่ยวต่อวันอันหมายถึงการปฏิบัติงาน 3 กะต่อวันสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยนี้ก็จะมีความจุไม่น้อยกว่า 200 ตันต่อวัน การเพิ่มจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ การจัดลำดับในการขนส่งมูลฝอยสิ่งเหล่านี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยโดยเฉพาะความจุของสถานีโดยมีผลกระทบต่อขนาดของพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยน้อยที่สุด

จากเหตุผลดังกล่าวความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยขนาด 100 ตันต่อวันและ 200 ตันต่อวันจึงนำมาพิจารณาในขั้นตอนต่อไป ค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยที่เกิดขึ้นจาก แบบจำลองทีใช้สถานีขนถ่ายมูลฝอยขนาดความจุ 100 ตันต่อวัน และ 200 ตันต่อวัน สรุปไว้ในตารางที่ 4.10และตารางที่ 4.11ตามลำดับ

ณ ที่ ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอย รวมทั้งระบบที่เท่ากัน ผลต่างระหว่างค่าใช้จ่ายที่ลดลงของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ความจุต่างกันได้ถือเป็นนัยสำคัญ ตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายที่ลดลงและจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ขนาดความจุ 100 ตันต่อวันและ 200 ตันต่อวัน กรณีที่ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยทั้งระบบรวมเท่ากับ 1200 ตันต่อวัน ก็อาจสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยขนาด 100 ตันต่อวัน จำนวน 12 สถานี หรือขนาด 200 ตันต่อวัน จำนวน 6 สถานี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วจะเห็นว่า การสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยขนาด 200 ตันต่อวันจำนวน 6 สถานีสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นได้อีกประมาณ ร้อยละ 4 ดีกว่าการมีจำนวนสถานีถึง 12 สถานี จึงเห็นได้ว่าความจุของสถานีขนถ่ายขนาด 200 ตันต่อวันมีจะประสิทธิภาพที่ลดต้นทุนด้านค่าดำเนินการได้ดีกว่า

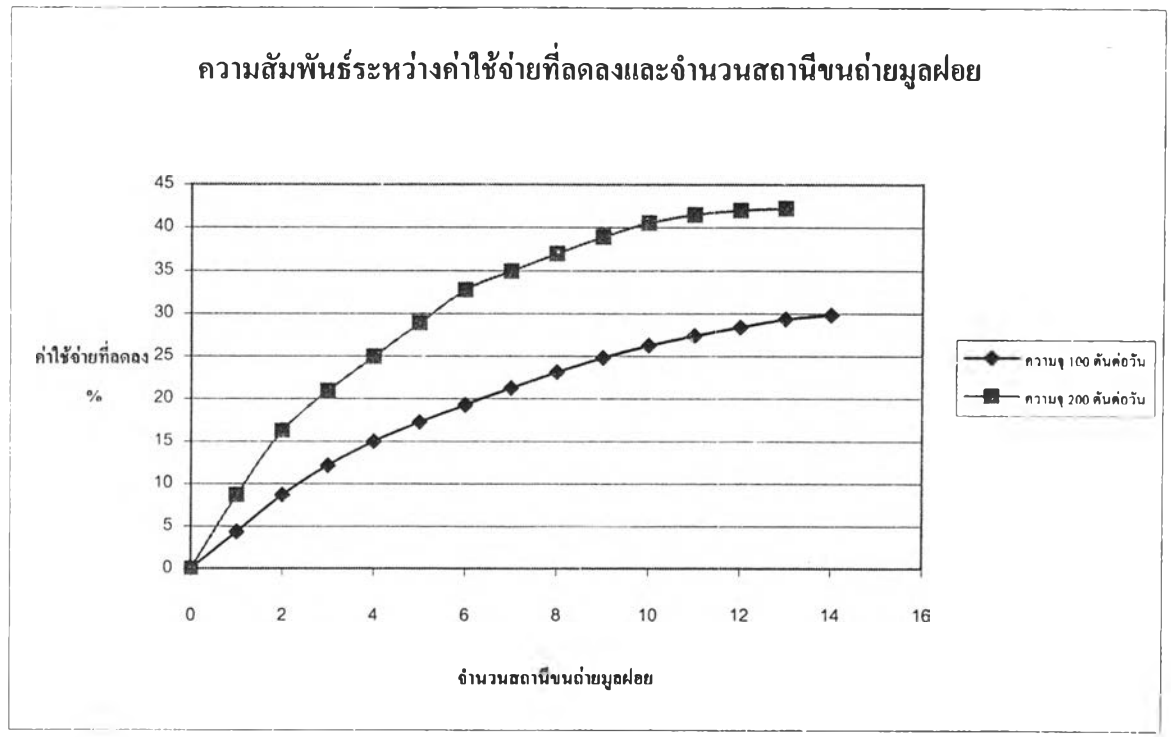
เมื่อพิจารณาถึงสถานีขนถ่ายมูลฝอยขนาดความจุ 200 ตันต่อวันจากตารางที่ 4.11 เห็นว่าเมื่อสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยมากกว่า 9 สถานีแล้วการเพิ่มจำนวนสถานีอีกหนึ่งสถานีร้อยละของค่าใช้จ่ายที่ลดลงจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อยกล่าวคือเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 1.60 และหากว่าก่อสร้างครบทั้ง 13 สถานีแล้ว ร้อยละของค่าใช้จ่ายที่ลดลงจะเพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 1.0 ต่อจำนวนสถานีที่ต้องสร้างเพิ่ม ดังนั้นจำนวนสถานีที่เหมาะสมที่ควรจะสร้างจึงเท่ากับ 9 สถานี

ตารางที่ 4.10 ค่าขนส่งมูลฝอยต่ำสุดและตำแหน่งของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ถูกคัดเลือก
เมื่อความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอย 100 ตันต่อวันและอัตราส่วน r เท่ากับ 3

จำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ดำเนินการ	Objective Function Value	ร้อยละ		สถานีขนถ่ายที่เปิดดำเนินการ
		ค่าขนส่งที่ลดลงร้อยละ	ร้อยละที่เพิ่มขึ้น	
0	787370	0		
1	753278	4.33	4.33	13
2	719246	8.65	4.32	3,13
3	692003	12.11	3.46	2,3,13
4	669747	14.94	2.83	2,3,12,13
5	651494	17.26	2.32	2-4,12,13
6	635799	19.25	1.99	2-4,6,12,13
7	620242	21.23	1.98	2-6,12,13
8	605472	23.10	1.88	2-6,9,12,13
9	592265	24.78	1.68	1-6,9,12,13
10	580956	26.22	1.44	1-7,9,12,13
11	571946	27.36	1.14	1-7,9,12-14
12	563948	28.38	1.02	1-7,9,11-14
13	556261	29.35	0.98	1-9,11-14
14	552570	29.82	0.47	1-14

ตารางที่4.11 ค่าขนส่งมูลฝอยต่ำสุดและตำแหน่งของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ถูกคัดเลือก เมื่อความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอย 200 ตันต่อวันและอัตราส่วน r เท่ากับ 3

จำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ดำเนินการ	Objective Function Value	ร้อยละ		สถานีขนถ่ายที่เปิดดำเนินการ
		ค่าขนส่งที่ลดลงร้อยละ	ร้อยละที่เพิ่มขึ้น	
0	787370	0		
1	719175	8.66	8.66	13
2	659334	16.26	7.60	3,13
3	622828	20.90	4.64	3,4,13
4	591272	24.91	4.01	3,4,12,13
5	559863	28.89	3.99	3,4,6,12,13
6	529704	32.72	3.83	3-6,12,13
7	512379	34.93	2.20	3-6,12-14
8	496373	36.96	2.03	3-6,11-14
9	480989	38.91	1.95	3-6,8,11-14
10	468358	40.52	1.60	3-6,8,9,11-14
11	460978	41.45	0.94	3-6,8-14
12	456723	41.99	0.54	3-14
13	455113	42.20	0.20	2-14
14				



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายที่ลดลงและจำนวนสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ความจุ 100 และ 200 ตัน

4.8 การวางแผนการก่อสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ถูกคัดเลือก

ขั้นตอนนี้เพื่อพิจารณาวางแผนการลงทุนสำหรับสถานีขนถ่ายมูลฝอยทั้ง 9 ที่ถูกคัดเลือกมา ถ้าทุกๆ สถานีขนถ่ายมูลฝอยถูกสร้างขึ้นมาพร้อมๆ กัน ผลต่างระหว่างค่าใช้จ่ายที่ลดลงที่จะได้รับก็จะน้อยซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายแปรผันของสถานีขนถ่ายมูลฝอยเหล่านี้ ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนการก่อสร้างหรือเพิ่มประสิทธิภาพสถานีขนถ่ายมูลฝอยให้เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลานั้น ๆ แผนการวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้จึงกำหนดได้ดังนี้

ในแผนการวิเคราะห์นี้มีทางเลือกสำหรับการก่อสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยเท่ากับ 9 ทางเลือกซึ่งเป็นผลมาจากขั้นตอนที่แล้วในหัวข้อ 4.7 แต่ละสถานีขนถ่ายมูลฝอยจะมีความจุ 200 ตัน/วัน ในแผนการวิเคราะห์นี้จะนำข้อมูลปริมาณมูลฝอยของ พ.ศ. 2540 มาทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ก็คือจำนวนและความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ต้องการในช่วงแรก หลังจากนั้นก็จะนำข้อมูลปริมาณมูลฝอยในปี พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2550 พ.ศ. 2555 พ.ศ. 2560 มาทำการวิคราะห์เช่นเดียวกันก็จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทั้งตามรูปแบบที่กล่าวมาข้างต้นได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แผนการก่อสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยขนาดความจุ 200 ตันต่อวันและปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่านสถานี ในช่วง พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2560

ลำดับขั้นตอนก่อสร้าง	สถานีขนถ่าย	ปริมาณมูลฝอยที่ส่งผ่าน (ตันต่อวัน)				
		2540	2545	2550	2555	2560
1	BK8	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
2	BP4	145.80	194.31	200.00	200.00	200.00
3	BK5	144.89	200.00	200.00	200.00	200.00
4	BK7	120.77	200.00	200.00	200.00	200.00
5	BP7	87.16	117.45	152.62	193.52	200.00
6	LP5	84.00	115.36	152.79	197.45	200.00
7	BK4	73.10	119.41	200.00	200.00	200.00
8	LP4		89.10	200.00	200.00	200.00
9	BP2			49.75	118.57	200.00

4.9 ผลของชนิดของรถเก็บขนมูลฝอยต่อระบบขนส่งมูลฝอยที่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอย

จากผลการวิเคราะห์หาตำแหน่งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่คัดเลือกมาแล้วในหัวข้อที่ 4.8 ซึ่งในส่วนของค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งได้นำค่าใช้จ่ายของรถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรของทั้ง 3 เขตของพื้นที่ทำการวิจัยซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.5 มาทำการวิเคราะห์

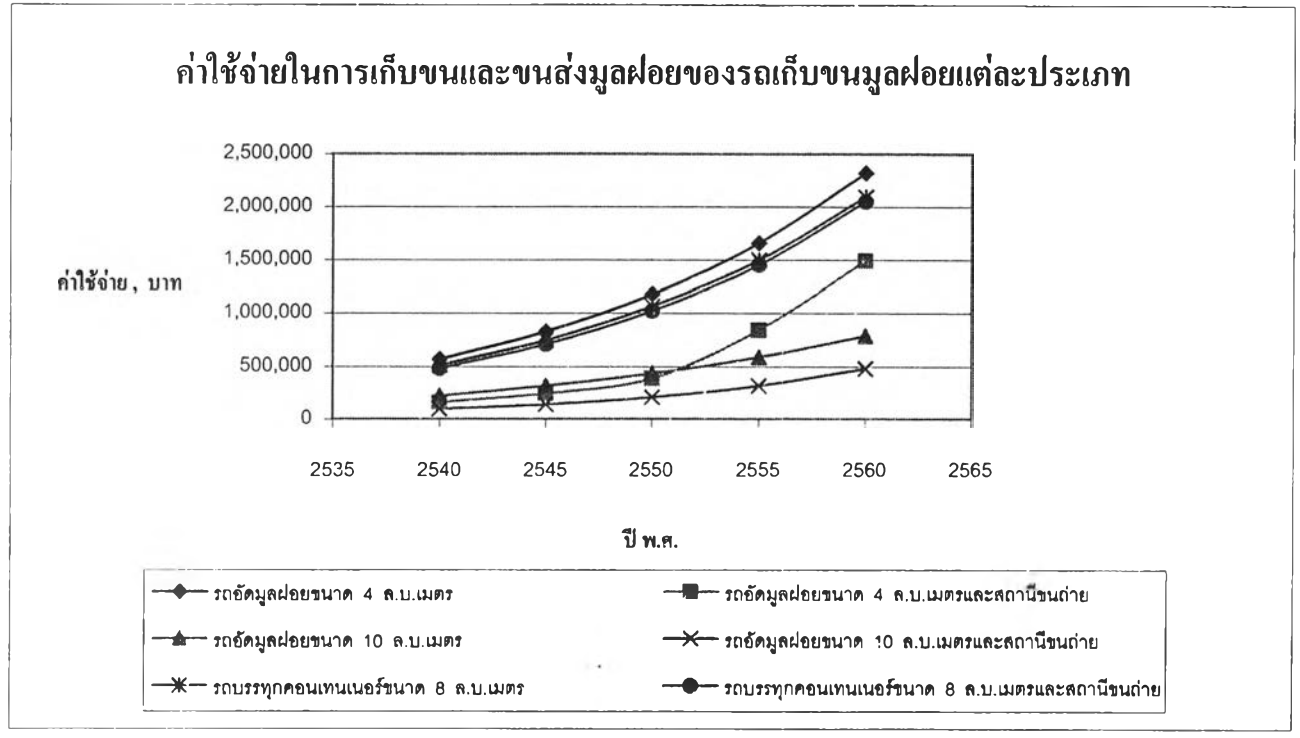
ในขั้นตอนนี้จึงได้นำค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนอีกสองประเภทอันได้แก่ รถอัดมูลฝอยขนาด 4 ลูกบาศก์เมตรและรถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรมาวิเคราะห์กับตำแหน่งและขนาดของสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ได้คัดเลือกไว้แล้วข้างต้นในช่วงเวลาทุก ๆ 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ถึงปี พ.ศ. 2560 ซึ่งค่าใช้จ่ายในแต่ละช่วงเวลาซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายต่อวันของรถเก็บขนมูลฝอยทั้ง 3 ประเภทอันได้แก่รถอัดมูลฝอยขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรและรถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.13 และในกราฟรูปที่ 4.6

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อไม่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบ การเลือกใช้รถอัดมูลฝอยขนาด4 ลูกบาศก์เมตรมาทำการเก็บขนมูลฝอยจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายต่อวันสูงสุด รองลงมาก็คือรถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรและรถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 และตารางที่ 4.15 ได้แสดงร้อยละของค่าใช้จ่ายที่ประหยัดลงได้ในช่วงระยะเวลาทุก ๆ 5 ปี และร้อยละของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของรถเก็บขนมูลฝอยแต่ละประเภทเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของระบบที่ไม่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยในช่วงระยะเวลาทุก ๆ 5 ปี เช่นกันตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาเขียนกราฟรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 เห็นได้ว่ารถอัดมูลฝอยขนาด 4 ลูกบาศก์เมตรเมื่อนำมาใช้ในระบบที่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ค่อนข้างดีมากคือในปี พ.ศ. 2540 ลดได้ประมาณ ร้อยละ 70 ในขณะที่รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรสามารถลดค่าใช้จ่ายได้เพียง ร้อยละ 57 อย่างไรก็ดีค่าใช้จ่ายของรถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรในระบบที่ไม่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยต่ำกว่าค่าใช้จ่ายของรถอัดมูลฝอยขนาด 4 ลูกบาศก์เมตรในระบบที่ไม่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยมาก เมื่อปริมาณมูลฝอยเพิ่มมากขึ้น ในช่วง 5 ปีสุดท้ายประสิทธิภาพในการลดค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนประเภทรถอัดมูลฝอยขนาด 4 ลูกบาศก์เมตรจะลดลงมาก ซึ่งอาจหมายถึงว่าเลือกใช้รถเก็บขนที่มีขนาดเล็กในขณะที่มูลฝอยมีปริมาณมาก

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนแต่ละประเภทที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบ

ประเภทรถเก็บขน		ปี พ.ศ.				
		2540	2545	2550	2555	2560
1	รถอัดมูลฝอยขนาด 4 ล.บ.เมตร	565,483	824,732	1,176,850	1,656,530	2,320,650
	รถอัดมูลฝอยขนาด 4 ล.บ.เมตรและสถานีขนถ่าย	160,999	244,542	387,914	840,577	1,491,060
2	รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ล.บ.เมตร	224,803	316,597	434,662	586,955	787,371
	รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ล.บ.เมตรและสถานีขนถ่าย	95,640	138,684	207,637	317,718	480,989
3	รถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ล.บ.เมตร	510,711	744,851	1,062,870	1,496,080	2,095,890
	รถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ล.บ.เมตรและสถานีขนถ่าย	479,251	707,377	1,018,140	1,450,110	2,049,900



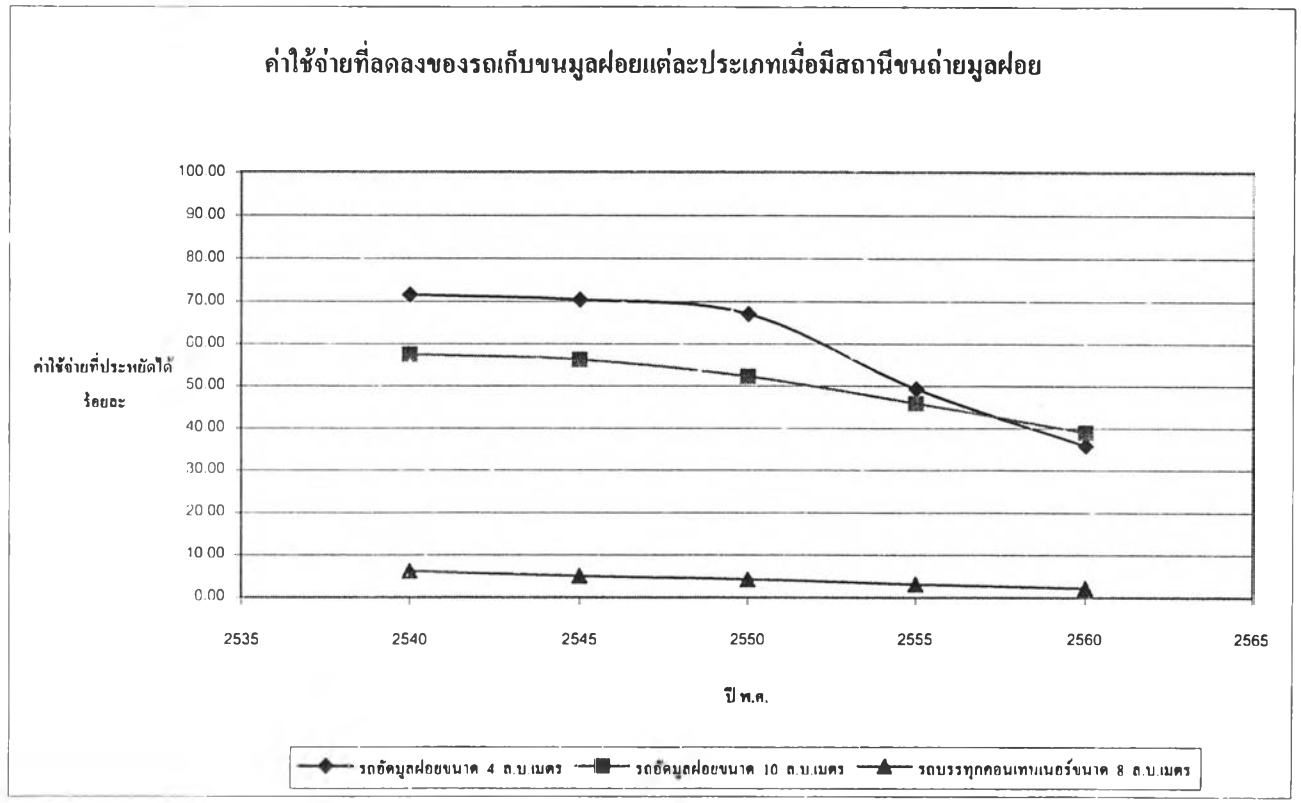
รูปที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยของรถเก็บขนมูลฝอยแต่ละประเภท

ตารางที่4.14 ค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนแต่ละประเภทเป็นร้อยละที่สามารถประหยัดลงได้เมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบ

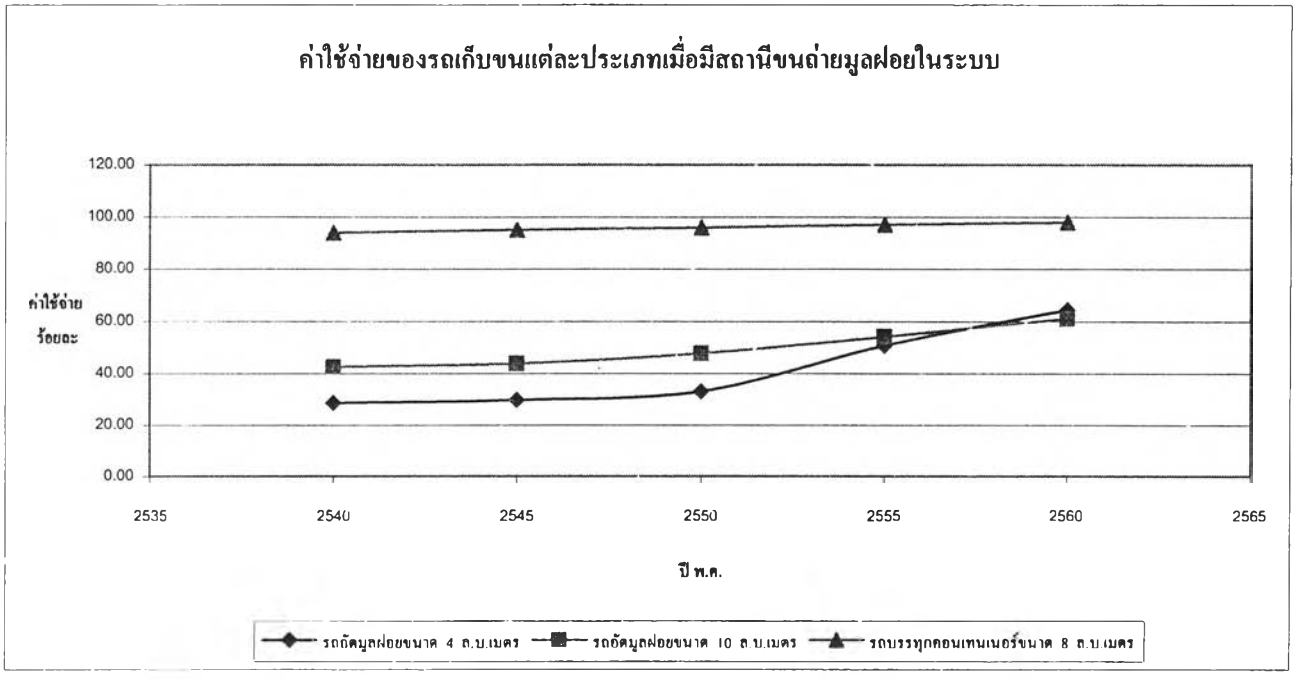
ประเภทรถเก็บขน	ปี พ.ศ.				
	2540	2545	2550	2555	2560
รถอัดมูลฝอยขนาด 4 ล.บ.เมตร	71.53	70.35	67.04	49.26	35.75
รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ล.บ.เมตร	57.46	56.20	52.23	45.87	38.91
รถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ล.บ.เมตร	6.16	5.03	4.21	3.07	2.19

ตารางที่4.15 ค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนแต่ละประเภทคิดเป็นร้อยละเทียบกับระบบที่ไม่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอย

ประเภทรถเก็บขน	ปี พ.ศ.				
	2540	2545	2550	2555	2560
รถอัดมูลฝอยขนาด 4 ล.บ.เมตร	28.47	29.65	32.96	50.74	64.25
รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ล.บ.เมตร	42.54	43.80	47.77	54.13	61.09
รถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ล.บ.เมตร	93.84	94.97	95.79	96.93	97.81



รูปที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายที่ลดลงของรถเก็บขนมูลฝอยแต่ละประเภทเมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอย



รูปที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายของรถเก็บขนมูลฝอยแต่ละประเภทเมื่อมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระบบ

สำหรับค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อนำรถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรมาใช้ในระบบที่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยตลอดในช่วง 20 ปีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าหากนำรถบรรทุกคอนเทนเนอร์ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรมาใช้ในระบบเก็บขนมูลฝอยที่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยประสิทธภาพในการลดค่าใช้จ่ายของระบบเมื่อนำรถประเภทนี้มาใช้นั้นมีน้อยมาก หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ รถประเภทนี้ทำหน้าที่เหมือนรถขนส่งอยู่แล้วหากกำหนดจุดในการทิ้งมูลฝอยได้ การสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอยก็เป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น

จากข้อมูลทั้งหมดจะเห็นว่าในกรณีที่ใช้รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรทำการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อระบบไม่มีสถานีขนถ่ายมูลฝอยหรือระบบมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยจะน้อยกว่าการเลือกใช้รถประเภทอื่น ผลการวิเคราะห์ในแบบจำลองนี้จึงเห็นว่าการนำรถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตรมาใช้เป็นส่วนใหญ่ในระบบเก็บขนและขนส่งมูลฝอยของกรุงเทพมหานครนั้นสอดคล้องกับโครงการนำร่องในการติดตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยย่อยในอนาคต

ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยของรถเก็บขนและขนส่งมูลฝอยทุกขนาด คือ น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งราคาน้ำมันเชื้อเพลิงอาจมีราคาคงที่อยู่ช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น ส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่เสมอตามราคาตลาดโลก การวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยของพื้นที่ทำการวิจัยเมื่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงซึ่งดำเนินการโดยปรับราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นและต่ำลงประมาณ 10 - 25 เปอร์เซ็นต์ในระหว่างการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยน้ำหนักของมูลฝอย จากนั้นนำไปเขียนกราฟเพื่อหาสมการของเส้นแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับระยะทางของรถแต่ละกลุ่มที่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ กัน ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.16

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับระยะทางในตารางที่ 4.16 พบว่าสัมประสิทธิ์ความชันของสมการเส้นตรงเพิ่มขึ้นและค่าคงที่ลดลงเมื่ออัตราค่าน้ำมันเปลี่ยนแปลงในทางที่เพิ่มขึ้นซึ่งก็สอดคล้องกับความจริงที่ว่าเมื่อราคาค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นค่าใช้จ่ายต่อระยะทางก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

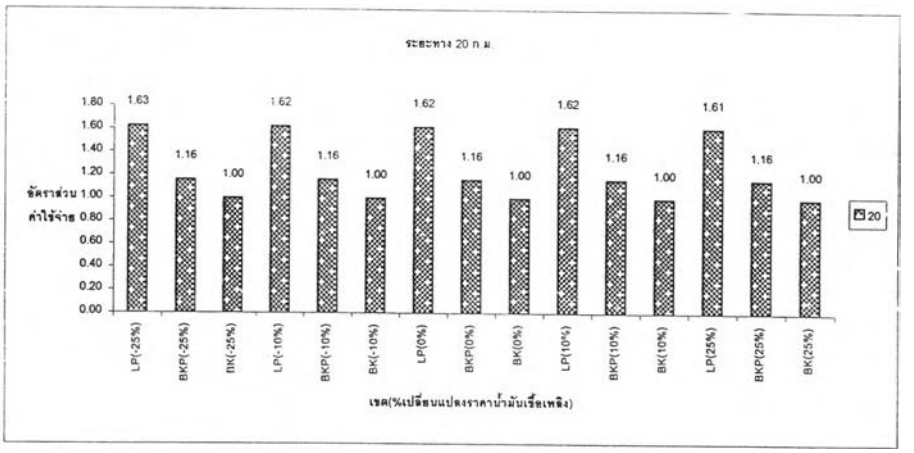
ตารางที่ 4.16 สรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับระยะทางของรถอัดมูลฝอยขนาด 10 ล บ.ม. เมื่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลง

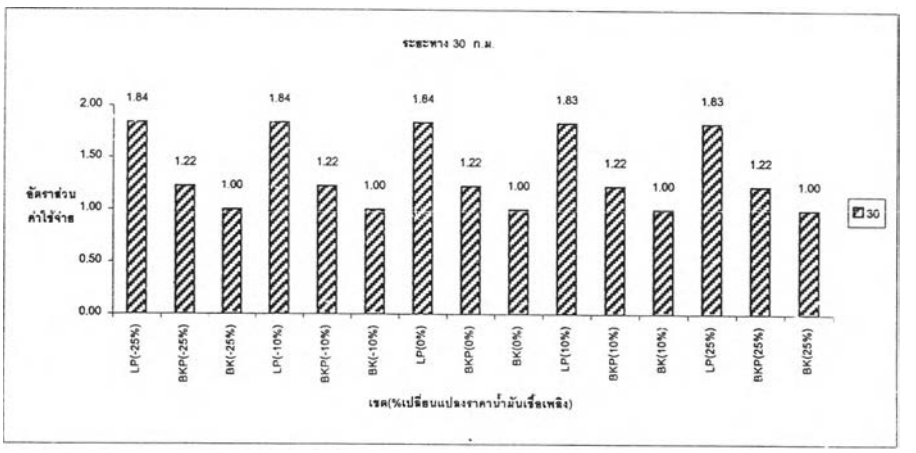
ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง บาทต่อลิตร	เขตลาดพร้าว	เขตบางกะปิ	เขตบึงกุ่ม
9.375(+25%)	5.752X+90.365 (R^2=0.1042)	2.7637X+92.845 (R^2=0.1315)	1.6298X+94.651 (R^2=0.0442)
8.25(+10%)	5.5753X+93.178 (R^2=0.1009)	2.6757X+93.575 (R^2=0.1262)	1.548X+95.582 (R^2=0.0409)
7.50(0%)	5.4574X+95.053 (R^2=0.0986)	2.617X+94.061 (R^2=0.1226)	1.4935X+96.203 (R^2=0.0387)
6.75(-10%)	5.3396X+96.929 (R^2=0.0963)	2.5583X+94.548 (R^2=0.1189)	1.439X+96.824 (R^2=0.0365)
5.625(-25%)	5.1629X+99.742 (R^2=0.0928)	2.4703X+95.278 (R^2=0.1135)	1.3573X+97.755 (R^2=0.0333)

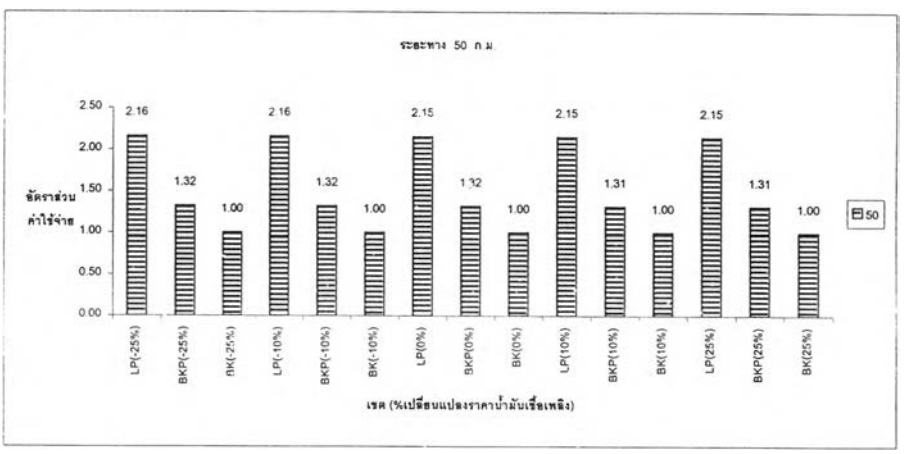
หมายเหตุ ( ) อัตราการเปลี่ยนแปลงราคาค่าน้ำมันเชื้อเพลิง , %

\+ เพิ่ม , - ลด

เมื่อนำสมการทั้งหมดมาทำการหาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ระยะทางใด ๆ โดยเทียบหาอัตราส่วนค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงตามราคาค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของรถเก็บขนมูลฝอยของทั้ง 3 เขตที่ทำการวิจัยโดยนำค่าใช้จ่ายของเขตที่ต่ำที่สุด(เขตบึงกุ่ม)มาเป็นบรรทัดฐานพบว่าที่ระยะทาง 20 , 30 และ 50 กิโลเมตร อัตราส่วนค่าใช้จ่ายต่อระยะทางของเขตลาดพร้าว เขตบางกะปิ ต่อ เขตบึงกุ่ม ในสภาวะที่ราคาค่าน้ำมันเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในทางบวกและในทางลบซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 มีค่าคงที่เท่ากับ 1.62 : 1.16 : 1 และ 1.84 : 1.22 : 1 และ 2.16 : 1.32 : 1 ตามลำดับโดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเลย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของราคาค่าน้ำมันเชื้อเพลิงไม่มีผลต่อการพิจารณาเลือกใช้รถในการเก็บขนและขนส่งมูลฝอยไปยังสถานีขนถ่ายมูลฝอยในระยะทางที่เท่ากันของระบบขนส่งมูลฝอย







หมายเหตุ LP = ลาดพร้าว , BKP = บางกะปิ , BK = บึงกุ่ม

( ) อัตราการเปลี่ยนแปลงราคาค่าน้ำมันเชื้อเพลิง , %

รถอัดมูลฝอยขนาด 10 ลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 4. 9 อัตราส่วนของค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยของแต่ละเขตเทียบกับเขตบึงกุ่ม เมื่อราคาน้ำมันเปลี่ยนแปลงที่ระยะทาง 20 , 30 และ 50 ก.ม.