บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน จังหวัดอุบลราชธานีมีจำนวนประชากรมากเป็นอันดับสามของประเทศ จากข้อมูลของสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 จังหวัดอุบลราชธานี มีประชากรรวมทั้งสิ้น 1,803,754 คน ส่วนในเขตอำเภอเมืองอุบลราชธานีนั้น มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 216,683 คน ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2547 ที่มีประชากร 117,479 คน จำนวนประชากรในเขตอำเภอเมืองอุบลราชธานีที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้ ส่งผลให้ปริมาณขยะที่เกิดจากการอุปโภคและการบริโภคของครัวเรือนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จังหวัดอุบลราชธานีจึงเป็นอันดับหนึ่งที่มีขยะมากที่สุดในเขตสหอีสานใต้

เทศบาลนครอุบลราชธานี ตั้งอยู่ในอำเภอเมืองอุบลราชธานี ริมฝั่งแม่น้ำมูล มีเนื้อที่ทั้งสิ้น 29.04 ตารางกิโลเมตร มีประชากรจำนวนทั้งสิ้น 85,374 คน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552) หน่วยงานที่รับผิดชอบการกำจัดขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี คือ กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม โดยมีงานรักษาความสะอาด ฝ่ายบริการสิ่งแวดล้อม ทำหน้าที่ดูแลรักษาความสะอาด จัดเก็บรวบรวมและขนส่งขยะมูลฝอย ไม่ว่าจะเป็นมูลฝอยติดเชื้ออันตรายจากสถานพยาบาลหรือคลินิกต่างๆ ภายในเขตเทศบาลฯ และมูลฝอยทั่วไปจากครัวเรือนและสถานประกอบการต่างๆ ไปกำจัดตามหลักสุขาภิบาล การเก็บรวบรวมขยะจากแหล่งต่างๆในเขตเทศบาลฯ จะใช้รถบรรทุกขยะมูลฝอยที่มีขนาดต่างกัน รับผิดชอบพื้นที่เขตการเก็บขยะ 16 เขต สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ตั้งอยู่ที่บ้านเค็ง หมู่ 5 ตำบลกระโสบ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ห่างจากเทศบาลนครอุบลราชธานี ประมาณ 24 กิโลเมตร การกำจัดขยะมูลฝอยใช้วิธีฝังกลบแบบธรรมดา ซึ่งเทศบาลนครอุบลราชธานี ไม่มีบ่อกำจัดขยะมูลฝอย จากข้อมูลของงานรักษาความสะอาด ฝ่ายบริการสิ่งแวดล้อม กองสาธารณสุขและวิ่งแวดล้อม จำนวนรถบรรทุกขยะมูลฝอยที่มีอยู่ แยกตามประเภทแสดงดังตารางที่ 1

ในแต่ละวัน ขยะในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานีมีปริมาณเฉลี่ยมากถึง 90 ตัน ไม่นับรวมขยะติดเชื้อ กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมส่งรถบรรทุกขยะออกเก็บขยะตั้งแต่เวลา 04.00 – 16.00 น

โดยมีรอบการเก็บรวบรวมขยะสามรอบต่อวัน ระยะทางที่รถบรรทุกขยะเก็บขยะไปทิ้งในแต่ละเที่ยวไป-กลับ ประมาณ 42 กิโลเมตร ซึ่งใช้งบประมาณในการจ่ายค่าน้ำมัน เดือนละ สองแสนเจ็ดหมื่นบาท จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายด้านค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนเงินที่สูงมาก ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัญหาเบื้องต้น เพื่อที่จะลดค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุกขยะโดยการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะใหม่ ให้มีระยะทางที่สั้นลง

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลรถบรรทุกขยะมูลฝอยของเทศบาลนครอุบลราชธานี

ลำดับที่	ประเภท	ขนาด (ลบ.ม.)	จำนวน (คัน)
1	รถเก็บขนขยะชนิดอัดท้าย	10	10
2	รถเก็บขนขยะชนิดเปิดข้างเททำย	10	11
3	รถคอนเทนเนอร์	5	6
4	รถปิคอัพ	5	4
5	รถขยะติดเชื้อ	5	1

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของเทศบาลนครอุบลราชธานี ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาเลือก เขตพื้นที่รับผิดชอบเขต 8 มาทำการศึกษาและจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะใหม่ เนื่องจากเขตดังกล่าวมีปริมาณขยะต่อวันที่มาก เพราะเป็นแหล่งชุมชนและสถานที่ข้าราชการต่างๆมากมาย อีกทั้งยังมีเส้นทางที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่สูญเปล่า เหมาะที่จะนำมาศึกษา สำหรับเขตพื้นที่รับผิดชอบเขต 8 จะใช้รถบรรทุก 6 ล้อ แบบอัดท้ายในการเก็บรวบรวมขยะตามจุดต่างๆ ซึ่งรถสามารถบรรจุขยะได้ทั้งหมด 6 ตัน จากผลการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะใหม่ด้วยวิธี Clark-Wright Saving Heuristic โดยพิจารณาเฉพาะเส้นทางที่มีจุดรวบรวมขยะ สามารถลดระยะทางการเดินทางของรถบรรทุกขยะจากเดิม 11.367 กิโลเมตร เหลือ 8.409 กิโลเมตร หรือลดลงได้ 2.959 กิโลเมตร คิดเป็น 26.03% ดังนั้นถ้ารถบรรทุกขยะเดินทางเก็บรวบรวมขยะโดยใช้เส้นทางใหม่ที่ผู้วิจัยเสนอแนะ จะสามารถช่วยลดค่าน้ำมันเชื้อเพลิงได้

ผลการศึกษาเบื้องต้นดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าหากมีการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะตามจุดต่างๆทุกพื้นที่เขตการเก็บขยะ 16 เขต ในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานีอย่างเหมาะสมแล้ว จะสามารถ

ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านค่าน้ำมันเชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมากและยังเป็นการลดการใช้พลังงานซึ่งช่วยลดปัญหาโลกร้อนได้อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถบรรทุกขยะในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานีเพื่อหาเส้นทางใหม่สำหรับการเก็บรวบรวมขยะที่ทำให้ระยะทางรวมของการเก็บรวบรวมขยะสั้นลง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถบรรทุกขยะในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานีและพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ในการกำหนดจุดรับผิดชอบเก็บขยะของรถบรรทุกขยะพร้อมทั้งจัดเส้นทางสำหรับการเก็บรวบรวมขยะของรถบรรทุกขยะที่ทำให้ระยะทางรวมของการเก็บรวบรวมขยะสั้นลง

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

สำหรับขอบเขตงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะเลือกพื้นที่เขตการเก็บขยะ 4 เขต โดยจะทำการศึกษาในเบื้องต้นเกี่ยวกับปริมาณขยะในแต่ละจุดเก็บขยะและระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะแต่ละจุดเพื่อเลือกพื้นที่เขตการเก็บขยะที่สามารถปรับปรุงเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะได้มากที่สุด จากนั้นผู้วิจัยจะพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ที่สามารถมอบหมายจุดเก็บขยะให้อยู่ในความรับผิดชอบของรถบบรทุกขยะแต่ละคัน และประยุกต์ใช้วิธีการจัดเส้นทางการขนส่งในการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถบรรทุกขยะแต่ละคัน ผู้วิจัยจะทดสอบประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบระยะทางรวมในการเก็บรวบรวมขยะของเส้นทางปัจจุบันกับระยะทางรวมในการเก็บรวบรวมขยะที่ได้จากวิธีฮิวริสติกส์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเตรียมการ ระยะดำเนินการ และระยะหลังดำเนินการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะเตรียมการ

1. รวบรวมข้อมูลปริมาณขยะ ณ จุดต่างๆ ในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี

2. รวบรวมข้อมูลของเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถบรรทุกขยะในพื้นที่เขตการเก็บขยะ ทั้ง 16 เขต
3. คำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดเก็บขยะทุกจุดโดยสร้างตารางเมทตริกส์ระยะทาง
4. พิจารณาเลือกพื้นที่เขตการเก็บขยะที่จะปรับปรุงเส้นทางการเดินทางเก็บขยะของรถบรรทุกขยะ

ระยะที่ 2 ระยะดำเนินการออกแบบอัลกอริทึม

5. สร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของพื้นที่เขตการเก็บขยะที่เลือกปรับปรุง
6. พัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาของโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น
7. ทดสอบวิธีฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นโดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ
8. สร้างเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถบรรทุกขยะของพื้นที่เขตการเก็บขยะที่เลือกปรับปรุง

ระยะที่ 3 ระยะหลังการดำเนินการ

9. เขียนบทความรายงานผลการวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ
10. นำเสนอผลการวิจัยในการประชุมวิชาการที่จัดขึ้นในประเทศ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้รับจากการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการแก้ปัญหาและการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้ดังนี้

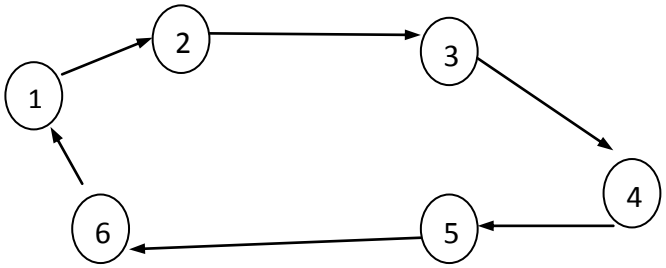
1. ได้เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถบรรทุกขยะในพื้นที่เขตการเก็บขยะที่เลือกศึกษา โดยมีระยะทางรวมทั้งหมดสั้นลงกว่าระยะทางรวมในปัจจุบัน
2. ได้วิธีฮิวริสติกส์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ
3. บทความเกี่ยวกับฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) และปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ(Vehicle Routing Problem: VRP) รวมถึงวิธีการหาคำตอบของปัญหาดังกล่าว ซึ่งจะแบ่งออกเป็นการหาคำตอบเริ่มต้นและการปรับปรุงคำตอบ ในส่วนของเนื้อหาที่เหลืออยู่นั้นจะเป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะซึ่งสามารถพิจารณาว่าเป็นปัญหาประเภทหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ รายละเอียดของเนื้อหาต่างๆมีดังต่อไปนี้

2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP)

ลักษณะของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) สามารถอธิบายได้ดังนี้ พนักงานขายต้องการเดินทางไปขายสินค้ายังเมืองต่างๆจำนวน n เมือง โดยเริ่มเดินทางจากจุดเริ่มต้นหรือเมืองที่พนักงานขายประจำอยู่ ไปยังเมืองอื่นๆที่เหลืออยู่ให้ครบทุกเมืองโดยแวะแต่ละเมืองเพียงครั้งเดียว แล้วเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น สำหรับคำตอบของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายนั้น คือ เส้นทางของการเดินทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้เสียเวลาในการเดินทางน้อยที่สุดหรือเสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด โดยอาจมีข้อจำกัดด้านต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องก็ได้ เช่น ช่วงเวลาที่พนักงานขายสามารถแวะเมืองต่างๆได้ เป็นต้น ปัญหาTSPที่มีจำนวนเมือง n เมืองและมีระยะทางไปกลับระหว่างเมืองสองเมืองที่เท่ากัน จะมีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้เท่ากับ (n-1)!/2 คำตอบ จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนเมืองเพิ่มขึ้น จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้การหาค่าคำตอบที่ดีสุดหรือการหาเส้นทางการเดินทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด จะมีความยากเพิ่มขึ้นและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเพิ่มขึ้นตามจำนวนเมืองที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ปัญหา TSP จึงเป็นปัญหาประเภท Nondeterministic Polynomial-Time Hard (NP-hard) โดยจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโปเนลเชียลตามจำนวนเมืองที่เพิ่มมากขึ้น รูปที่ 2.1แสดงลักษณะของปัญหา TSP ที่มีจำนวนเมือง 6 เมือง



รูปที่ 2.1 ลักษณะปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ในปีค.ศ. 1930 ได้มีการศึกษารูปแบบทั่วไปของปัญหาTSPเป็นครั้งแรก โดย Karl Menger ปัญหา TSP สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i ลำดับของเมืองที่ i โดยที่ $i = 1,2,\dots,N$

j ลำดับของเมืองที่ j โดยที่ $j = 1,2,\dots,N$

V เซตของเมืองทั้งหมดที่พิจารณา โดยที่ $V = \{1,2,\dots,N\}$

S สับเซตใดๆ ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเซต V: $S \subset V$ โดยที่ $S \neq \emptyset, S \neq V$

$|S|$ จำนวนสมาชิกของเซต S

พารามิเตอร์ (Parameters)

C_{ij} ระยะทางระหว่างเมืองที่ i ไปยังเมืองที่ j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$X_{ij} =$ 1, ถ้ามีการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j

0, กรณีอื่นๆ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Min = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} C_{ij}X_{ij} \qquad (2.1.1)$$

ข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \forall_{j=1,2,..,N} \qquad (2.1.2)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \forall_{i=(1,2,...,N)} \qquad (2.1.3)$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{j\in S} X_{ij} \leq |S| - 1 \qquad \forall_{S\subset V} \qquad (2.1.4)$$

$$X_{ij}\epsilon\{0,1\} \qquad \forall_{i=(1,2,...,N),j=(1,2,..,N)} \qquad (2.1.5)$$

สมการ 2.1.1 เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาเส้นทางการเดินทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด ข้อจำกัดที่ 2.1.2 และ 2.1.3 เป็นการกำหนดให้พนักงานขายต้องเดินทางไปแวะให้ครบทุกเมือง ซึ่งพนักงานขายสามารถเดินทางไปแวะเมืองแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นและเมื่อพนักงานขายเดินทางเข้าไปเมืองใดแล้วก็ต้องเดินทางออกจากเมืองนั้น ข้อจำกัดที่ 2.1.4 เป็นข้อจำกัดที่ป้องกันการเกิดการเดินทางที่มีเส้นทางย่อย (Subtour elimination constraint) และข้อจำกัดที่ 2.1.5 กำหนดให้ตัวแปร X_{ij} เป็นตัวแปรแบบไบนารี่ มีค่าได้สองค่าเท่านั้น คือ 0 และ 1

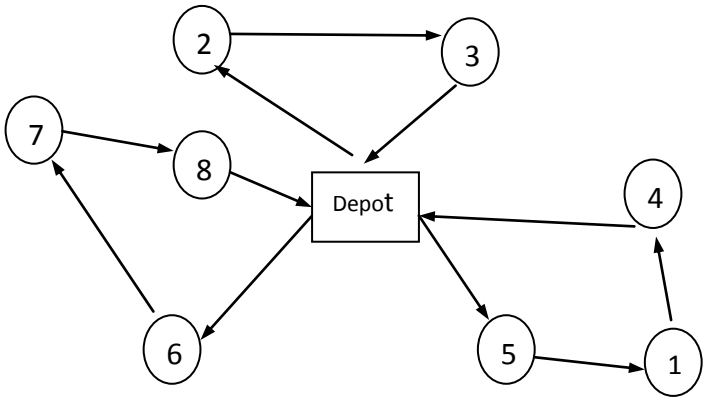
2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะมีลักษณะคล้ายกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ข้อแตกต่างที่สำคัญ คือ ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะจะมีข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ยานพาหนะไม่สามารถเดินทางไปแวะส่งหรือรับสินค้าได้ภายในรอบเดียว ต้องเดินทางหลายๆรอบ หรืออีกความหมายหนึ่งคือต้องมียานพาหนะขนส่งหลายคัน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่เป็นประเภทเดียวกันกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายนั้น จะไม่มีข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ทำให้ยานพาหนะสามารถเดินทางไปแวะทุกจุดได้ภายในรอบเดียว ปัญหา VRP อาจเกี่ยวกับระบบการกระจายสินค้า (Distribution System) หรือระบบการเก็บรวบรวมสินค้า (Collection System) ก็ได้ สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเก็บรวบรวม

ขยะนั้นจะเป็นปัญหา VRP ที่เกี่ยวกับระบบการเก็บรวบรวมสินค้า ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทต่อไป

ลักษณะของปัญหา VRP แบบทั่วไปนั้น จะเป็นการขนส่งสินค้าระหว่างจุดกระจายสินค้า (Depot) ไปยังจุดต่างๆหรือลูกค้ารายต่างๆโดยใช้ยานพาหนะในการขนส่ง เช่น การขนส่งน้ำดื่ม การขนส่งแก๊ส และการเดินทางเก็บขยะ เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดหรือมีระยะทางการขนส่งรวมสั้นที่สุดหรือใช้เวลาในการขนส่งน้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ เช่น ข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ เวลาในการทำงานของพนักงาน และ/หรือเวลาในการส่งสินค้า เป็นต้น โดยลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากยานพาหนะเพียงหนึ่งคัน แต่ถ้าเป็นปัญหาที่ซับซ้อน ลูกค้าแต่ละรายสามารถรับบริการจากยานพาหนะหลายคันได้ ปัญหา VRP สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นระบบการกระจายสินค้าที่มีลูกค้าแปดราย มีศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งและมีเส้นทางการขนส่งสามเส้นทาง

ปัญหา VRP เป็นปัญหาประเภท NP-hard เช่นเดียวกับปัญหา TSP ซึ่งเป็นปัญหาที่มีการศึกษามากันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน Dantzig และ Ramser (1959) เป็นนักวิจัยกลุ่มแรกๆที่ศึกษาปัญหา VRP และนักวิจัยรุ่นต่อๆมาได้พัฒนาปัญหาและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาVRPและการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาสามารถอ่านได้จาก Golden et al. (1977) Christofides et al. (1979) Laporte et al. (2000) Toth and Vigo (2002) และ Kytojoki et al. (2007) ปัญหา VRP สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ

ดัชนี (Indices)

i ลำดับของลูกค้าที่ i โดยที่ $i = 1,2,\dots,N$ โดยที่ 1 หมายถึงศูนย์กระจายสินค้า

j ลำดับของลูกค้าที่ j โดยที่ $j = 1,2,\dots,N$ โดยที่ 1 หมายถึงศูนย์กระจายสินค้า

k ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่ k โดยที่ $k = 1,2,\dots,K$

พารามิเตอร์ (Parameters)

D_i ความต้องการสินค้าของลูกค้าที่ i โดยกำหนดให้ $D_1 = 0$

C_{ij} ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ i ไปยังลูกค้าที่ j

Q_k ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่งที่ k

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$X_{ij}^{k} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ารถคันที่ k มีการเดินทางจากลูกค้า } i \text{ ไปลูกค้า } j \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$U_i =$ ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Min = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} C_{ij}X_{ij}^{k} \qquad (2.2.1)$$

ข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall_{j=(2,\dots,N)} \qquad (2.2.2)$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall_{i=(2,\ldots,N)} \qquad (2.2.3)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=1}^{N} X_{pj}^{k} = 0 \qquad \forall_{k=(1,2,\ldots,K),p=(1,2,\ldots,N)} \qquad (2.2.4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} D_i \left(\sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{k} \right) \leq Q_k \qquad \forall_{k=(1,2,\ldots,K)} \qquad (2.2.5)$$

$$\sum_{j=2}^{N} X_{1j}^{k} \leq 1 \qquad \forall_{k=(1,2,\ldots,K)} \qquad (2.2.6)$$

$$\sum_{i=2}^{N} X_{i1}^{k} \leq 1 \qquad \forall_{k=(1,2,\ldots,K)} \qquad (2.2.7)$$

$$U_i - U_j + N \sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} \leq N - 1 \qquad \forall_{i,j=(2,\ldots,N) \text{ and } i \neq j} \qquad (2.2.8)$$

$$X_{ij}^{k} \epsilon \{0,1\} \qquad \forall_{i,j=(1,2,\ldots,N),k=(1,2,\ldots,K)} \qquad (2.2.9)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 2.2.1 ต้องการหาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะทุกคันที่ให้ค่าระยะทางรวมต่ำที่สุด ข้อจำกัดที่ 2.2.2 2.2.3 และ 2.2.4 กำหนดให้ลูกค้าแต่ละรายจะต้องได้รับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียวเท่านั้นและเมื่อยานพาหนะแวะให้บริการที่ลูกค้ารายใดแล้วก็ต้องเดินทางออกจากลูกค้ารายนั้น ข้อจำกัดที่ 2.2.5 บังคับให้ความต้องการรวมของลูกค้าในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ ข้อจำกัดที่ 2.2.6 และ 2.2.7 ยืนยันว่ามียานพาหนะใช้ได้เท่าที่กำหนดและเมื่อยานพาหนะถูกใช้งาน จะต้องเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้าและต้องกลับสู่ศูนย์กระจายสินค้า ข้อกำหนดที่ 2.2.8 เป็นการป้องกันการเกิดเส้นทางย่อยสำหรับยานพาหนะแต่ละคัน ข้อกำหนดที่2.2.9 กำหนดให้ตัวแปร X_{ij} เป็นตัวแปรแบบไบนารี่ ที่มีค่าได้สองค่าเท่านั้น คือ 0 และ 1 ในสถานการณ์จริงของการขนส่งของยานพาหนะนั้น ปัญหา VRP มีอยู่หลากหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละรูปแบบแตกต่างกันไปด้วย Bodin และ Golden

(1981) ได้นำเสนอลักษณะเฉพาะที่ทำให้ปัญหา VRP มีความแตกต่างกัน ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะเฉพาะต่างๆของปัญหา VRP

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของการจัดการเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือก
1. จำนวนของยานพาหนะ	- จำนวน 1 คัน - จำนวนหลายคัน
2. ประเภทของยานพาหนะ (Vehicle type)	- ประเภทเดียวกันหมด - หลายประเภท
3. ศูนย์กระจายสินค้า (Depot) หรือคลังสินค้า (Warehouse)	- จำนวน 1 แห่ง - จำนวนหลายๆ แห่ง
4. ความต้องการสินค้าในการขนส่ง (Transport demand)	- ความต้องการที่แน่นอน (Deterministic) - ความต้องการที่ไม่แน่นอน (Stochastic)
5. จุดกำเนิดความต้องการ (Demand location)	- ที่ตำแหน่ง (Node หรือ Point) - ที่เส้นทาง (Are หรือ Route) - ที่ตำแหน่งและเส้นทาง (Mix)
6. ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ (Vehicle Capacity)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
7. เวลาในการขนส่งที่ยอมให้มากที่สุด (Maximum route time)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
8. ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการขนส่ง (Time windows)	- แบบด้านเดียว (Single –sided) - แบบสองด้าน (Double –sided)

2.3 วิธีการหาคำตอบปัญหา VRP (Solution Approach)

จากที่ได้กล่าวมาก่อนแล้วว่า ปัญหาการเดินทางของของพนักงานขายและปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะเป็นปัญหาแบบ NP-Hard ซึ่งคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมหาศาล สำหรับการแก้ปัญหาแบบ NP-Hard ที่มีขนาดเล็ก สามารถใช้วิธีที่เรียกว่า exact method เช่น วิธี Branch-and-Bound เป็นต้น ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) ได้ แต่หากปัญหามีขนาดใหญ่ วิธี exact method จะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดนานมาก ซึ่งบางครั้งอาจเป็นไปไม่ได้เลยที่จะได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจำนวนจุดหรือจำนวนลูกค้าที่ยานพาหนะต้องแวะ มีจำนวนเป็นพันราย วิธี exact method จึงไม่เป็นที่นิยมสำหรับปัญหาที่มีจำนวนจุดหรือลูกค้าเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่สุด (Near Optimal Solution) เช่น วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) แบบต่างๆ จึงเป็นที่นิยมมากกว่า ตัวอย่างวิธีฮิวริสติกส์ที่ใช้

แก้ปัญหา TSP และ VRP เช่น Savings Heuristic Sweep Heuristic Nearest Neighbor Heuristic และ Arbitrary Insertion Heuristic เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้วิธีเหล่านี้ในการหาคำตอบที่ดีได้ภายในเวลาอันรวดเร็วและอาจนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการปรับปรุงคำตอบแบบต่างๆ (Improvement Algorithms) ได้อีกด้วย ตัวอย่างวิธีการปรับปรุงคำตอบที่นิยมใช้ คือ วิธี 2-opt Heuristic และ Exchange Heuristic เป็นต้น วิธีหาคำตอบที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะเป็นวิธีที่เน้นประยุกต์ใช้กับปัญหา VRP ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 วิธีการหาคำตอบเริ่มต้น (Tour Construction Heuristics)

การหาคำตอบเริ่มต้นของปัญหา VRP เป็นการสร้างเส้นทางการขนส่งเริ่มต้นของยานพาหนะแต่ละคัน ซึ่งมีวิธการอยู่หลากหลายวิธี วิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่นิยามใช้กัน คือ Savings Heuristic Nearest Neighbor Heuristic และ Arbitrary Insertion Heuristic รายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังนี้

2.3.1.1 Savings Heuristic เป็นวิธีที่ Clarke และ Wright (1964) ได้พัฒนาขึ้น จึงเรียกชื่อเต็มของวิธีนี้ว่า Clarke-Wright Savings Heuristic การหาคำตอบของวิธีนี้ ใช้แนวคิดที่ว่า หากสามารถรวมจุดสองจุดหรือลูกค้าสองรายที่ปัจจุบันอยู่ในเส้นทางการขนส่งที่ต่างกัน ไว้ในเส้นทางการขนส่งเดียวกันได้และทำให้ระยะทางรวมลดลง ก็จะทำการจัดเส้นทางให้จุดทั้งสองนั้นอยู่ในเส้นทางเดียวกัน ระยะทางที่ลดลงได้นี้ก็คือค่า Savings หรือค่าประหยัดของจุดสองจุดนั้น ขั้นตอนของวิธี Savings Heuristic มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาค่า Savings ของทุกคู่จุดที่เป็นไปได้ (ไม่ละเมิดข้อกำหนดต่างๆ)

ขั้นตอนที่ 2 เรียงลำดับคู่จุดที่มีค่า Savings สูงสุดไปต่ำสุด

ขั้นตอนที่ 3 เลือกคู่จุดที่มีค่า Savings สูงสุดและจัดให้คู่จุดนั้นอยู่ในเส้นทางเดียวกันโดยการเชื่อมจุดทั้งสองต่อกัน ทั้งนี้ให้พิจารณาข้อกำหนดต่างๆด้วย หากมีการละเมิดข้อกำหนดข้อใดข้อหนึ่ง ก็ให้พิจารณาคู่จุดที่มีค่า Savings ที่ประหยัดรองลงมาแทน ถ้าคู่จุดคู่ใดถูกเลือกแล้ว ให้ตัดคู่จุดนั้นออกไปจากการพิจารณา

ขั้นตอนที่ 4 ทำตามขั้นตอนที่ 3 ไปจนครบทุกคู่จุดก็จะได้เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ

2.3.1.2 Nearest Neighbor Heuristic เป็นวิธีการจัดเส้นทางที่ง่ายที่สุด โดยใช้หลักที่ว่ายานพาหนะจะเดินทางจากจุดที่อยู่ ณ ปัจจุบันไปยังจุดที่อยู่ใกล้ที่สุด ซึ่งการเดินทางไปยังจุดต่อไปจะต้องพิจารณาข้อกำหนดต่างๆร่วมด้วย เช่น ข้อกำหนดด้านความจุของยานพาหนะ เป็นต้น หากจะมีการละเมิดข้อกำหนด ให้ปิดเส้นทางนั้น แล้วเริ่มต้นเส้นทางใหม่ โดยยานพาหนะจะเริ่มเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้า ดำเนินการเช่นเดิมไปเรื่อยๆจนกว่าจุดทุกจุดจะถูกรวมเข้าไปอยู่ในเส้นทางการ

ขนส่ง ทั้งนี้จุดที่อยู่ใกล้ที่สุด อาจพิจารณาจากระยะทางหรือระยะเวลาในการเดินทางได้ตามความเหมาะสม

2.3.1.3 Arbitrary Insertion Heuristic เป็นวิธีที่ Rosenkratz Stearns และ Lewis (1977) พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้แก้ปัญหา TSP ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหา VRP ได้ มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่1 สร้างเส้นทางเริ่มต้นที่มีจำนวนจุด k จุด โดยที่ k ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่2 สุ่มเลือกจุดมาหนึ่งจุด ที่ไม่ได้อยู่ในเส้นทางนั้นและไม่ละเมิดข้อกำหนด หากละเมิดข้อกำหนด ให้ปิดเส้นทางการขนส่งนั้น และกลับไปที่ขั้นตอนที่ 1

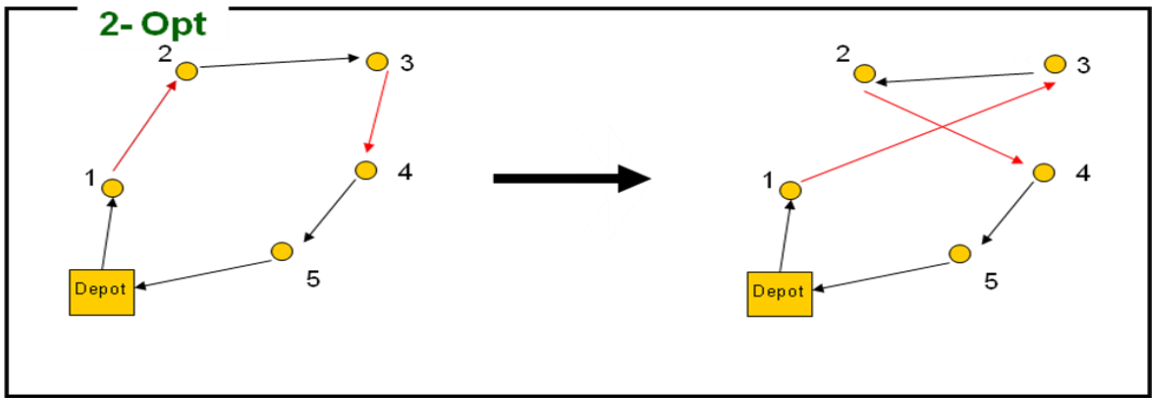
ขั้นตอนที่3 แทรกจุดที่เลือกลงในด้านของเส้นทางที่ทำให้ระยะทางรวมเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่4 กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งจุดทุกจุดถูกจัดอยู่ในเส้นทางการขนส่ง

2.3.2 วิธีการปรับปรุงคำตอบ (Improvement Algorithms)

โดยทั่วไปแล้ว คำตอบหรือเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่ได้จากวิธีหาคำตอบเริ่มต้นนั้น จะสามารถปรับปรุงให้มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดมากยิ่งขึ้นได้อีก วิธีการปรับปรุงคำตอบของปัญหา VRP มีหลากหลายวิธี วิธีการปรับปรุงคำตอบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มีอยู่ 4 วิธี คือ 1. Two-opt Exchange Heuristic 2. Exchange Heuristic 3. One Move Heuristic และ 4. Very Large Scale Neighborhood (VLSN) Search Algorithm รายละเอียดของทั้งสี่วิธี มีดังนี้

2.3.2.1 Two-opt Exchange Heuristic เป็นวิธีการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งภายในเส้นทางเดียว โดยการสลับด้านสองด้านที่อยู่ในคำตอบปัจจุบันกับสองด้านที่ไม่ได้อยู่ในคำตอบ เพื่อให้ระยะทางของเส้นทางที่พิจารณามีค่าลดลง ดังแสดงในรูป 2.3 ซึ่งปรับปรุงเส้นทางโดยการย้ายด้าน 1-2 และ 3-4 ออกจากคำตอบ และเพิ่มด้าน 1-3 และ 2-4 เข้าไปอยู่ในคำตอบ



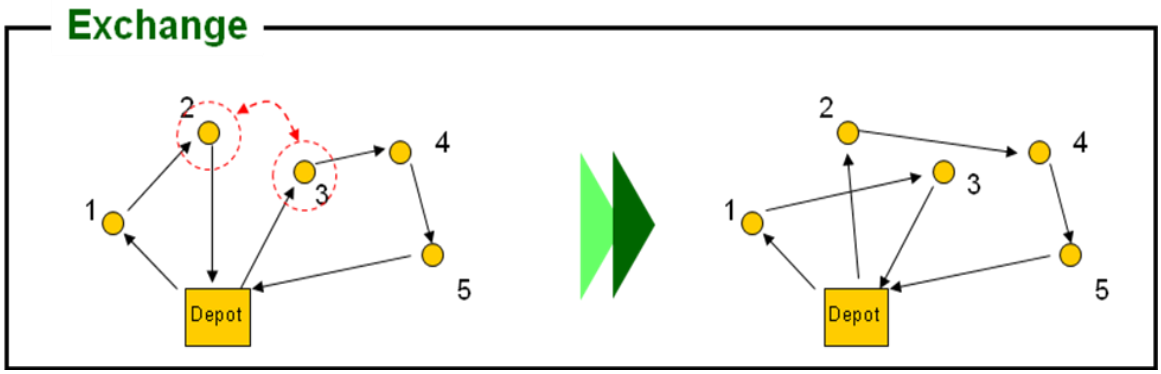
รูปที่ 2.3 วิธีการปรับปรุงคำตอบ Two-opt Exchange Heuristic

จากรูปที่2.3 ก่อนการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Two-opt Exchange Heuristic ลำดับการเดินทาง คือ

Depot – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – Depot

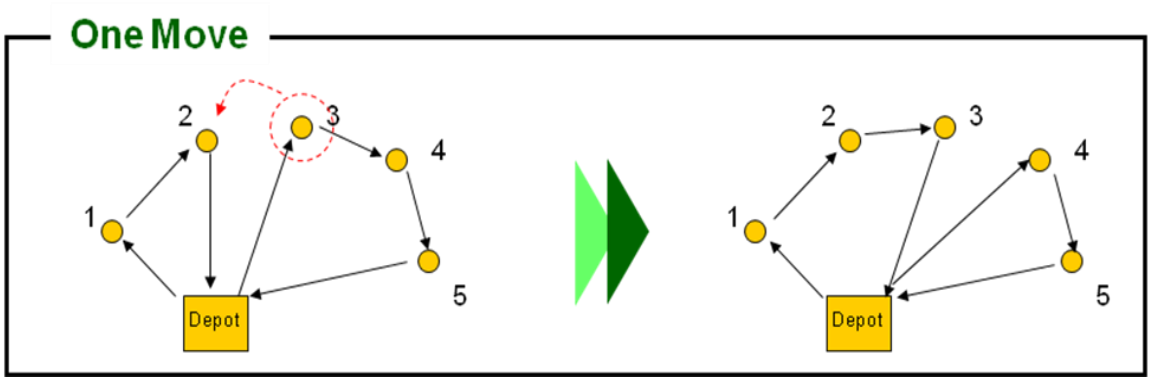
หลังการปรับปรุงคำตอบ ได้ลำดับการเดินทางใหม่ คือ Depot – 1 – 3 – 2 – 4 – 5 – Depot

2.3.2.2 Exchange Heuristic เป็นวิธีการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งโดยการแลกเปลี่ยนจุดหรือลูกค้าระหว่างสองเส้นทาง เพื่อให้ระยะทางรวมลดลง แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.4 เป็นการย้ายจุดที่ 2 จากเส้นทางหนึ่งไปอยู่อีกเส้นทางหนึ่ง ในขณะเดียวกันก็ย้ายจุดที่ 3 จากอีกเส้นทางหนึ่งแลกกลับไป ซึ่งจะวิธีInsertion Heuristic ในการหาตำแหน่งที่จุดที่ถูกย้าย จะแทรกลงไปในเส้นทางใหม่ โดยตำแหน่งที่แทรกจุดนั้น จะเป็นตำแหน่งที่ทำให้ระยะทางของเส้นทางนั้นเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด



รูปที่ 2.4 วิธีการปรับปรุงคำตอบ Exchange Heuristic

2.3.2.3 One Move Heuristic เป็นวิธีปรับปรุงคำตอบที่คล้ายกับวิธี Exchange Heuristic การปรับปรุงเส้นทางการขนส่งจะทำโดยการย้ายจุดหนึ่งจุดจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง เพื่อให้ระยะทางรวมลดลง โดยไม่มีการย้ายจุดจากอีกเส้นทางหนึ่งกลับมา ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เป็นการย้ายจุดที่ 3 จากเส้นทางหนึ่งไปอยู่อีกเส้นทางหนึ่ง โดยใช้วิธีInsertion Heuristic ในการหาตำแหน่งที่จุดที่ถูกย้าย จะแทรกลงไปในเส้นทางใหม่ โดยตำแหน่งที่แทรกจุดนั้น จะเป็นตำแหน่งที่ทำให้ระยะทางของเส้นทางนั้นเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด



รูปที่ 2.5 วิธีการปรับปรุงคำตอบ One Move Heuristic

2.3.2.4 Very Large Scale Neighborhood (VLSN) Search Algorithm วิธีการปรับปรุงคำตอบโดยทั่วไปแล้วเป็นการค้นหาคำตอบจากพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้หรือใน neighborhood การค้นหาคำตอบในกรณีที่ neighborhood มีขนาดใหญ่ ตามหลักการแล้ว จะได้คำตอบที่ดีกว่าการค้นหาคำตอบใน neighborhood ที่มีขนาดเล็ก วิธี VLSN เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบที่ neighborhood มีขนาดใหญ่มากและมีขนาดใหญ่กว่า neighborhood ของวิธี Exchange Heuristic และ One Move Heuristic ดังนั้น คำตอบที่ได้จากวิธี VLSN จะดีกว่าคำตอบที่ได้จากทั้งสองวิธีดังกล่าว ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้วิธี VLSN ในการปรับปรุงคำตอบของงานวิจัยนี้ รายละเอียดของวิธี VLSN จะกล่าวถึงต่อไปในบทที่ 3

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเป็นปัญหาที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย Clarke และ Wright (1964) ได้ศึกษาปัญหา VRP ที่รถขนส่งมีความจุแตกต่างกันและได้พัฒนาวิธีการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพ คือวิธี Clark-Wright Savings Heuristic วิธีนี้เริ่มต้นจะพิจารณาว่ารถหนึ่งคันไปส่งสินค้าให้ลูกค้าเพียงรายเดียว จากนั้นจะคำนวณหาค่า savings เพื่อพิจารณารวมลูกค้าสองรายให้อยู่ในเส้นทางเดียวกันซึ่งจะช่วยลดจำนวนรถขนส่งที่ใช้งาน การรวมลูกค้าเข้าไปอยู่ในเส้นทางเดียวกันจะเกิดขึ้นจนกว่าไม่สามารถรวมลูกค้าได้อีกแล้วเนื่องจากข้อจำกัดด้านความจุของรถหรือข้อจำกัดอื่นๆ ในเวลาต่อมา นักวิจัยหลายท่านได้ประยุกต์ใช้วิธีนี้อย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น Paessens (2003) ได้ประยุกต์ใช้วิธี Clark-Wright Savings Heuristic ในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการจัดส่งสินค้า ผลของการจัดเส้นทางพบว่า วิธี Savings ของ Clarke-Wright นั้นให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และลดเวลาในการจัดส่งสินค้าได้

Golen et al (1977) ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะ โดยมีขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าหลายราย ซึ่งลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าแตกต่างกัน โดยมีข้อจำกัดในด้านความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและระยะเวลาสูงสุดในการขนส่ง 1 รอบของเส้นทางการขนส่ง

Sindhuchao et al. (2004) ได้มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา Inventory Routing Problem (IRP) โดยการผสมผสานการตัดสินใจในด้านพัสดุคงคลังและด้านการขนส่งเข้าด้วยกัน โดยนำเสนอวิธีฮิวริสติก GRASP เพื่อแก้ปัญหาระบบการเก็บรวบรวมสินค้าเข้าสู่คลังสินค้า เครือข่ายประกอบด้วย โกดังเก็บสินค้า 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้าตั้งกระจัดกระจายห่างกันและผลิตสินค้าที่ไม่เหมือนกัน สินค้าจะถูกรวบรวมจากผู้ผลิตมาเก็บไว้ที่โกดังเก็บสินค้าส่วนกลาง ใช้นโยบายปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) ในการจัดการด้านสินค้าคงคลัง คลังสินค้าส่วนกลางจะทำการเติมเต็มสินค้า โดยการส่งกลุ่มรถบรรทุกออกไปเก็บรวบรวมสินค้าตามกลุ่มผู้ผลิต โดยที่รถบรรทุกแต่ละคันจะมีขีดจำกัดในการบรรทุกที่เท่ากัน และไม่สามารถเดินทางที่จะออกไปเก็บสินค้าได้เกินจำนวนครั้งสูงสุดที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีGRASP จากงานวิจัยของ Sindhuchao et al. สำหรับการแก้ปัญหา VRP โดยการประยุกต์ใช้วิธี VLSN ในระยะที่สองเพื่อปรับปรุงคำตอบ

งานวิจัยที่น่าสนใจงานหนึ่ง เป็นของ Roberto et al. (2004) ซึ่งได้ศึกษาปัญหาการเก็บรวบรวมขยะที่ระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะเป็นแบบลักษณะ Asymmetric คือระยะทางไปกลับระหว่างสองจุดมีค่าไม่เท่ากัน Roberto et al.ได้พัฒนาวิธีการจัดเส้นทางการจัดเก็บขยะและจุดกำจัดของเสีย โดยงานวิจัยนี้แตกต่างจากนักวิจัยท่านอื่นคือเส้นทางที่สร้างขึ้นจะต้องรวมจุดที่ทำการกำจัดของเสียด้วยวิธี Recycle ไว้ด้วย

Byung-In et al. (2005) ได้ประยุกต์ใช้วิธี Insertion Algorithm และ Clustering-based ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะมูลฝอยที่มีเงื่อนไขของกรอบเวลา ซึ่งพิจารณาถึงช่วงเวลาการพักของพนักงานและขนาดบรรทุกของยานพาหนะแต่ละคัน ผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถจัดเส้นทางของรถเก็บขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้

Riska et al. (2012) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะเพื่อหาจำนวนรถเก็บขยะที่เหมาะสมที่สุดและจัดสรรจำนวนพนักงานเก็บขยะอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดที่จะทำให้เวลารวมในการเก็บรวบรวมขยะมีค่าน้อยที่สุด โดยประยุกต์วิธีเมตาฮิวริสติกส์Genetic Algorithm ในการหาคำตอบสองกรณีคือ การจัดสรรจำนวนพนักงานเก็บขยะให้กับรถเก็บขยะแต่ละคันไม่เท่ากันและการจัดสรรจำนวนพนักงานเก็บขยะให้กับรถเก็บขยะแต่ละคันเท่ากัน

ผลเปรียบเทียบคำตอบพบว่าการจัดสรรจำนวนพนักงานเก็บขยะให้กับรถเก็บขยะแต่ละคันไม่เท่ากัน ให้ค่าเวลารวมในการเก็บขยะต่ำกว่า

สำหรับปัญหาการขนส่งที่มีความต้องการสินค้าไม่แน่นอนนั้น มีนักวิจัยหลายท่านที่นำเสนอไว้ เช่น Laporte และ Louveaux (1997) นำเสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบไม่แน่นอนด้วยวิธี Integer L-Shaped Method เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยศึกษาจากปัญหา 4 ประเภท ได้แก่ ปัญหาที่ 1 เวลาไม่แน่นอน, จำนวนยานพาหนะ m คัน ปัญหาที่ 2 จำนวนลูกค้าไม่แน่นอน, ยานพาหนะ 1 คัน ปัญหาที่ 3 จำนวนลูกค้าและความต้องการไม่แน่นอน, ยานพาหนะ m คัน และปัญหาที่ 4 ความต้องการไม่แน่นอน, ยานพาหนะ 1 คัน

ต่อมา Bianchi et al.(2004) ได้นำเสนอวิธีเมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน โดยจัดลำดับลูกค้าในเส้นทาง เพื่อลดระยะทางการขนส่งต่ำสุด

Karahan et al. (2006) ศึกษาเปรียบเทียบปัญหาการขนส่งประกอบด้วยปัญหา 2 ประเภทคือ ประเภทแรกเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย โดยมีเงื่อนไขเรื่องเวลาไม่แน่นอน (Stochastic timers) และจำนวนลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic customers) ประเภทที่สองเป็นปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ โดยมีเงื่อนไขจำนวนลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic customers) และความต้องการของลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic demands) โดยพิจารณาถึงระดับของปัญหาจากงานวิจัยท่านอื่น

งานวิจัยของไทยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งนั้นมีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วงระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมา งานวิจัยของไทยที่น่าสนมีดังนี้

นลินี อุดมสมบัติมีชัย (2548) ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows : VRPTW) สำหรับปัญหานี้ ผู้ส่งมอบสินค้าต้องจัดการการบริหารการส่งสินค้าให้กับลูกค้าเอง จึงต้องมีการจัดเส้นทางการขนส่งให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ในขณะที่ต้องสอดคล้องกับเวลาของลูกค้าด้วย เป็นปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่ง โดยมีการขนส่งแบบเริ่มต้นจากคลังสินค้าเสมอ และรถจะจบเที่ยวการขนส่งที่คลังสินค้าเช่นกัน โดยข้อกำจัดของเวลาไม่มีความยืดหยุ่น และได้นำเสนอวิธีแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์อิงกรอบเวลา ความจุของรถ และเวลารอคอยเป็นหลัก ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถของบริษัทได้ประมาณ 25% และลดค่าเช่ารถเพิ่มได้ถึง 1.6 ล้านบาทต่อปี

นวลพรรณ พจนานนท์ (2550) ได้ศึกษาการจัดเส้นทางการหยิบสินค้าในศูนย์กระจายสินค้าที่ช่องทางเดินตามขวาง (Cross Aisles) สำหรับกรณีมีผู้หยิบสินค้าหลายคน และได้พัฒนาหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหาเส้นทางที่เหมาะสม โดยเขียนโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับจัดเส้นทางการหยิบสินค้า เพื่อลดเวลาในการหยิบสินค้าในเส้นทางให้เหลือน้อยที่สุด เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาขนาดใหญ่ จึงได้ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ขึ้นมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรม

อุบลรัตน์ เธียรธนาคม (2551) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการจัดเส้นทางเริ่มต้นสามวิธีคือ Arbitrary Nearest Neighbor Algorithm Saving Algorithm และ Arbitrary Insertion ร่วมกับ Genetic Algorithm ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง ผลจากการคำนวณแสดงให้เห็นถึงการลดลงของระยะทางรวมของระบบ

นิรันดร์ สมมุติ และ สมบัติ สินธุเชาวน์ (2551) ได้เสนอวิธีเมตาฮิวริสติกส์ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) สำหรับจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มให้กับกลุ่มลูกค้าที่มีความต้องการไม่แน่นอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งที่ขึ้นอยู่กับระยะทาง ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนสินค้าเกินความต้องการของลูกค้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนสินค้าต่ำกว่าความต้องการของลูกค้า ภายใต้เงื่อนไขความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัด กระบวนการทำงานของ GRASP แบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกเป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข และระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ (Local Search Phase) โดยวิธี 2 – opt , Swap operator and Move exchanges ผลการทดสอบพบว่า วิธีฮิวริสติกส์ที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี สามารถลดระยะทางขนส่งจากเดิม 154.8 กิโลเมตรต่อวัน เหลือ 120.5 กิโลเมตรต่อวัน หรือลดลงคิดเป็น 19.25%

พอเจตน์ จิตพิพัฒน์พงศ์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล (2552) ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมเอ็กเซลโซลเวอร์ (Excel Solver) เพื่อปรับปรุงเส้นทางการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าของกรณีศึกษาตัวอย่างไปยังร้านค้าสาขาต่างๆ ในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑลจำนวน 17 สาขาเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำกว่าวิธีการจัดเส้นทางในปัจจุบัน โดยที่ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าเท่ากับผลคูณของอัตราค่าบริการเหมาเที่ยวกับจำนวนรถขนส่งสินค้าที่ใช้ การค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาดังกล่าวกระทำได้โดยการสร้างแบบจำลองในรูปแบบของสเปรดชีท (Spreadsheet Model) ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) และใช้โซลเวอร์ (Solver) ซึ่งเป็นฟังก์ชันเสริมในโปรแกรม

ไมโครซอฟท์เอ็กเซล มาทำการประมวลผลหาผลลัพธ์และทำการเปรียบเทียบผลกับรูปแบบการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าในปัจจุบันพบว่า สามารถลดจำนวนรถขนส่งที่ใช้ ลงได้ 13 คันต่อเดือน ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าลดลง 14,560 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 14.94

สำหรับงานวิจัยของไทยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางการเก็บขยะนั้น ล่าสุด ศุภพัชรและคณะ (2553) ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของรถจัดเก็บขยะในครัวเรือนโดยใช้พนักงานในการยกขยะ ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์และหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมLINGO และได้เส้นทางที่จัดเก็บขยะครบทุกจุด และใช้จำนวนรถตามที่ต้องการ โดยมีค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ในขณะที่พนักงานทำงานภายใต้ภาระงานที่ปลอดภัย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของหน่วยงานกรณีศึกษาคืองานรักษาความสะอาด ฝ่ายบริการสิ่งแวดล้อม กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม ของเทศบาลนครอุบลราชธานี ข้อมูลการเก็บรวบรวมขยะในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย รวมถึงตัวอย่างของข้อมูลบางส่วนของเขตเก็บขยะที่เลือกศึกษาหนึ่งเขต ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

3.1 ข้อมูลพื้นฐานการกำจัดขยะมูลฝอยภายในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี

เทศบาลอุบลราชธานี มีเขตรับผลชอบ 29.04 ตารางกิโลเมตร มีประชาชนทั้งหมด มีประชากรทั้งสิ้น 83,441 คน เป็นหญิง 44,405 คน เป็นชาย 39,036 คน จำนวนบ้าน 28,458 หลัง 17,998 ครอบครัว (ข้อมูลประจำเดือนกันยายน 2554) ความหนาแน่นโดยเฉลี่ย 2873 คน/ตารางกิโลเมตร นอกจากนั้นคาดการณ์ว่ามีประชาชนแฝงที่มีรายชื่อในทะเบียนราษฎรเข้ามาศึกษา ทำงานหรือประกอบธุรกิจในเมือง อีกประมาณ 30,000 คน ในปัจจุบันเทศบาลนครอุบลราชธานี มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจสูง มีการพัฒนาด้านต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางเศรษฐกิจ การก่อสร้างที่อยู่อาศัย หมู่บ้านจัดสรร ห้างสรรพสินค้า และการพัฒนาช่องทางการท่องเที่ยวต่างๆ เป็นต้น เหตุดังกล่าวจึงทำให้มีผู้อาศัยและสัญจรติดต่อไปมา ในเขตเทศบาลเพิ่มขึ้น ปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นหากวิธีการจัดการไม่ดี อาจก่อให้เกิดมลภาวะ ปัญหาด้านการรักษาความสะอาดและการจัดความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง

เทศบาลอุบลราชธานี ได้เล็งเห็นความสำคัญ จึงได้กิจกรรมให้ประชาชนในเขตเทศบาลมีความตระหนัก และมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน โดยการที่จะทำให้ประชาชนในเทศบาล เรียนรู้ที่จะจัดการปัญหาขยะมูลฝอยในครัวเรือนด้วยตนเองโดยการคัดแยกขยะภายในครัวเรือน เช่น ขยะเปียกจำพวกเศษอาหาร เศษผักผลไม้ สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักชีวภาพ (E.M.) ตามโครงการลดปริมาณขยะภายในเขตเทศบาล และรู้จักการทำขยะมูลฝอยให้มีมูลค่าในทางเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการจัดตั้งธนาคารขยะรีไซเคิลขึ้นในชุมชนและโรงเรียน และกิจกรรมอื่นๆ ที่เป็นการประชาสัมพันธ์สร้างจิตสำนึกในการรักษาความสะอาดและรักษาสภาพแวดล้อมให้ดียิ่งๆ ขึ้นไป

งานรักษาความสะอาด ฝ่ายบริการสิ่งแวดล้อม กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานหนึ่งของเทศบาลนครอุบลราชธานี มีหน้าที่ควบคุมดูแลและรับผิดชอบการปฏิบัติงานใน

หน้าที่ของงานจัดเก็บขยะมูลฝอย งานรักษาความสะอาด งานแปรรูปสิ่งของเหลือใช้ งานสุขาภิบาล และสิ่งแวดล้อม และงานคุ้มครองผู้บริโภค โดยการจัดเก็บรวบรวมขยะมูลฝอย ไม่ว่าจะเป็นขยะมูลฝอยที่ติดเชื้ออันตรายจากสถานพยาบาลหรือคลินิกต่างๆ ภายในเขตเทศบาลอุบลราชธานี และขยะมูลฝอยทั่วไปจากครัวเรือนหรือสถานประกอบการต่างๆ นำไปกำจัดตามหลักสุขาภิบาล เก็บกวาด ล้างทำความสะอาดถนน ทางเท้า ที่สาธารณะ พัฒนาพื้นที่รกร้างว่างเปล่า รณรงค์ทำความสะอาดร่วมกันกับชุมชนต่างๆ และให้การสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ทำความสะอาด ให้บริการรถ สุขาเคลื่อนที่และตู้สุขาเคลื่อนที่ ดูแลรักษาเครื่องจักรกลและวัสดุอุปกรณ์ของงานบำรุงรักษาความสะอาด การให้บริการรับคำร้องทั่วไป เช่น การขอรับถังขยะ เปลี่ยนถังขยะที่ชำรุด เก็บกิ่งไม้ เศษหญ้า เศษวัสดุต่างๆ และการดำเนินกิจกรรมลดปริมาณขยะภายในเขตเทศบาลอุบลราชธานี โดยมีการคัดแยกขยะเปียก เช่น เศษอาหาร เศษผักผลไม้ จากชุมชนต่างๆ และสถานประกอบการร้านอาหาร เป็นต้น

สำหรับยานพาหนะที่ใช้ในการเก็บรวบรวมขยะและใช้งานอื่นๆของเทศบาลอุบลราชธานีนั้น มีหลายประเภท แต่ละประเภทมีความจุในการเก็บขยะที่ไม่เท่ากันและมีจำนวนที่แตกต่างกันดังแสดงในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ข้อมูลยานพาหนะของเทศบาลอุบลราชธานี

ลำดับ	ประเภท	ขนาด (ลบ.ม)	จำนวน (คัน)
1	รถเก็บรวบรวมขยะแบบบดอัด	10	10
2	รกเก็บรวบรวมขยะแบบเปิดข้างเทท้าย	10	8
3	รถคอนเทนเนอร์	5	6
4	รถปิคอัพ	5	4
5	รถขยะติดเชื้อ	5	1
6	รถสุขาเคลื่อนที่	-	2
7	ตู้คอนเทนเนอร์สุขาเคลื่อนที่ (หัวลากจูง)	-	1
8	ตู้สุขาเคลื่อนที่	-	20

3.2 ข้อมูลการจัดการขยะมูลฝอย

เทศบาลอุบลราชธานี แบ่งพื้นที่การเก็บขยะออกเป็น 4 เขตหลักตามเขตเลือกตั้ง ในแต่ละเขตยังแบ่งออกเป็น 4 เขตย่อยซึ่งแต่ละเขตย่อยนั้นจะมียานพาหนะหนึ่งคันประจำอยู่และรับผิดชอบในการเก็บรวบรวมขยะในเขตนั้น

3.2.1 ปริมาณขยะ

ในปัจจุบัน ปริมาณขยะมูลฝอยรวมทุกประเภทในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานีมีมากกว่า 290 ตันต่อวันโดยเฉลี่ย รายละเอียดมีดังนี้

- ปริมาณขยะทั่วไป เฉลี่ยวันละ 71 ตัน/วัน
- จัดเก็บได้ เฉลี่ยวันละ 70 ตัน/วัน
- ขยะตกค้าง เฉลี่ยวันละ 1 ตัน/วัน
- ปริมาณขยะติดเชื้อ เฉลี่ยวันละ 30 ตัน/วัน
- ปริมาณขยะอินทรีย์ เฉลี่ยวันละ 120 ตัน/วัน

3.2.2 วิธีการกำจัดขยะ

วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่เทศบาลใช้ คือ วิธีการฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) ซึ่งหมายถึง การนำขยะมูลฝอยไปฝังกลบหรือถม โดยไม่ต่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ก่อให้เกิดสุขภาพอนามัยของประชาชน ค่าใช้จ่ายในการกำจัดด้วยวิธีนี้จะถูก (หากไม่รวมค่าที่ดินและค่าเครื่องจักรกล) และสามารถกำจัดขยะได้ทุกชนิด

3.2.3 สถานที่กำจัดขยะ

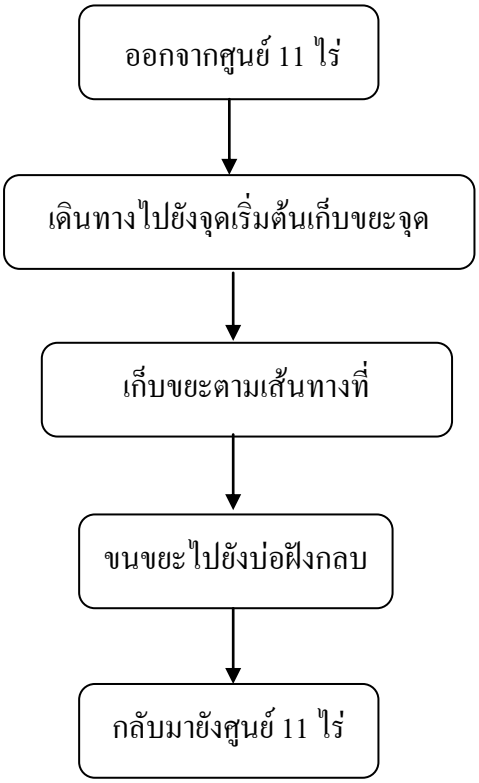
สถานที่ฝังกลบขยะ ตั้งอยู่ที่บ้านดอนผอุง หมู่ 5 ตำบลบ้านศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ห่างจากเทศบาลประมาณ 26 กิโลเมตร

3.2.4 กระบวนการจัดเก็บขยะ

การจัดเก็บขยะมีขั้นตอนต่างๆแสดงดังรูปที่ 3.1 คำอธิบายขั้นตอนการเก็บขยะ มีดังนี้

3.2.4.1 การออกจากศูนย์ 11 ไร่ พนักงานขับรถและพนักงานเก็บขยะท้ายรถจะมารวมกันที่ศูนย์ 11ไร่ ณ เวลา 08.00 น. เพื่อเคารพธงชาติ และเตรียมความพร้อมสำหรับกาปฏิบัติหน้าที่ โดยพนักงานขับรถจะตรวจสอบสภาพรถ และพนักงานท้ายรถจะเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ท้ายรถให้เรียบร้อย (หมายเหตุ: เนื่องจากรถหมายเลข 8 ชำรุด จึงต้องนำรถคันอื่นที่เก็บในเวลา 04.00 น. เสร็จแล้วไปเก็บในเขตรับผิดชอบของตนเอง)

3.2.4.2 การเดินทางไปยังจุดเริ่มต้นเก็บขยะจุดแรก เมื่อออกจากศูนย์ 11 ไร่ รถเก็บขยะจะเดินทางไปยังจุดแรกของการเริ่มต้นเก็บขยะ



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงกระบวนการการทำงานการเก็บขยะ

3.2.4.3 การเก็บขยะตามเส้นทางที่รับผิดชอบ พนักงานขับรถจะขับรถไปยังเส้นทางที่ได้รับผิดชอบ ตามจุดต่างๆ ส่วนพนักงานท้ายรถจะเดินเก็บขยะตามจุดต่างๆ และแยกแยะขยะที่มูลค่าออกจากขยะที่ไม่มีมูลค่า แล้วจึงทำการถ่ายเทขยะเข้าไปยังท้ายรถบดอัด เมื่อเก็บขยะตามจุดต่างๆ จนมีปริมาณเต็มท้ายรถ พนักงานขับรถก็จะบีบอัดขยะให้มีพื้นที่การเก็บขยะมีเพิ่มมากขึ้น

3.2.4.4 การขนขยะไปยังบ่อฝังกลบ เมื่อทำการเก็บขยะได้ครบทุกจุดแล้วพนักงานขับรถก็จะเดินทางไปยังบ่อฝังกลบขยะที่สถานที่ที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ตั้งอยู่ที่ บ้านดอนผอุง หมู่ 5 ตำบลบ้านศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

3.2.4.5 การกลับมายังศูนย์ 11 ไร่ เมื่อขนถ่ายขยะออกจากรถเรียบร้อยแล้ว พนักงานขับรถก็จะรถกลับมายังศูนย์ 11 ไร่

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปของการเก็บรวบรวมขยะในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ผู้วิจัยได้เลือกเขตที่ 2 สำหรับการวิจัย ซึ่งมีเขตย่อยอยู่ 4 เขต คือเขตย่อยที่ 5 6 7 และ 8 เนื่องจากเขตที่ 2 เป็นเขตที่มีประชากรอยู่หนาแน่น มีปริมาณขยะอยู่มากและที่สำคัญคือ จากการวิเคราะห์พื้นที่เก็บรวบรวม

ขยะเบื้องต้นของเขตต่างพบว่า สำหรับเขตที่ 2 นี้ สามารถปรับปรุงเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะได้ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้ง 4 เขตย่อยของเขตที่ 2 ข้อมูลของแต่ละเขตย่อยจะมีความคล้ายคลึงกัน ในที่นี้จะขอนำเสนอข้อมูลเฉพาะเขตย่อยที่ 8 เป็นตัวอย่าง เส้นทางการเดินรถเก็บขยะของรถเก็บขยะเขตพื้นที่รับผิดชอบเขต 8 แสดงดังรูปที่ 3.3

3.3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของรถเก็บขยะ รถที่ใช้เก็บรวบรวมขยะของเขตย่อยที่ 8 เป็นรถบรรทุก 6 ล้อแบบบดอัด ยี่ห้อ HINO มีเครื่องยนต์ดีเซล 6 สูบ สามารถบรรจุขยะได้ทั้งหมด 5 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 การบำรุงรักษารถเก็บขยะนั้น จะมีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องทุกๆ 3,000 กิโลเมตร ทำความสะอาดหม้อกรองทุกๆ 500 กิโลเมตร เปลี่ยนยางตามสภาพของยางในขณะนั้นๆและมีการตรวจเช็คลมยางทุกวัน

รูปที่ 3.2 รถที่ใช้ในการจัดเก็บรวบรวมขยะ

3.3.1.2 ข้อมูลพนักงาน สำหรับรถเก็บขยะของเขตย่อยที่ 8 นี้ มีพนักงานประจำอยู่ 5 คน แบ่งเป็นพนักงานขับรถ 1 คน เงินเดือน 8,600 บาท/เดือน และพนักงานเก็บขยะท้ายรถอีก 4 คน แต่ละคนมีเงินเดือน 6,800 บาท/เดือน

3.3.1.3. การบันทึกตำแหน่งของจุดเก็บขยะและระยะทางของรถเก็บขยะมูลฝอย ในช่วงเดือน มกราคมถึงเดือนกุมพาพันธ์ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งของจุดเก็บขยะโดยใช้เครื่องGPS ช่วยบันทึกตำแหน่งก่อนจะนำมาประมวลผลในคอมพิวเตอร์ ได้ตำแหน่งของจุดเก็บขยะดังแสดงในรูปที่ 3.3 ส่วนระยะทางของการเดินทางเก็บรวบรวมขยะของรถเก็บขยะ จะคำนวณจาก

การบันทึกเข็มบอกระยะทาง ณ ขณะที่รถเก็บขยะเดินทางออกจากและกลับมาถึงจุดเริ่มต้น ระยะทาง ทางการเดินทางของแต่ละวันที่เก็บข้อมูลและระยะทางเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 3.2

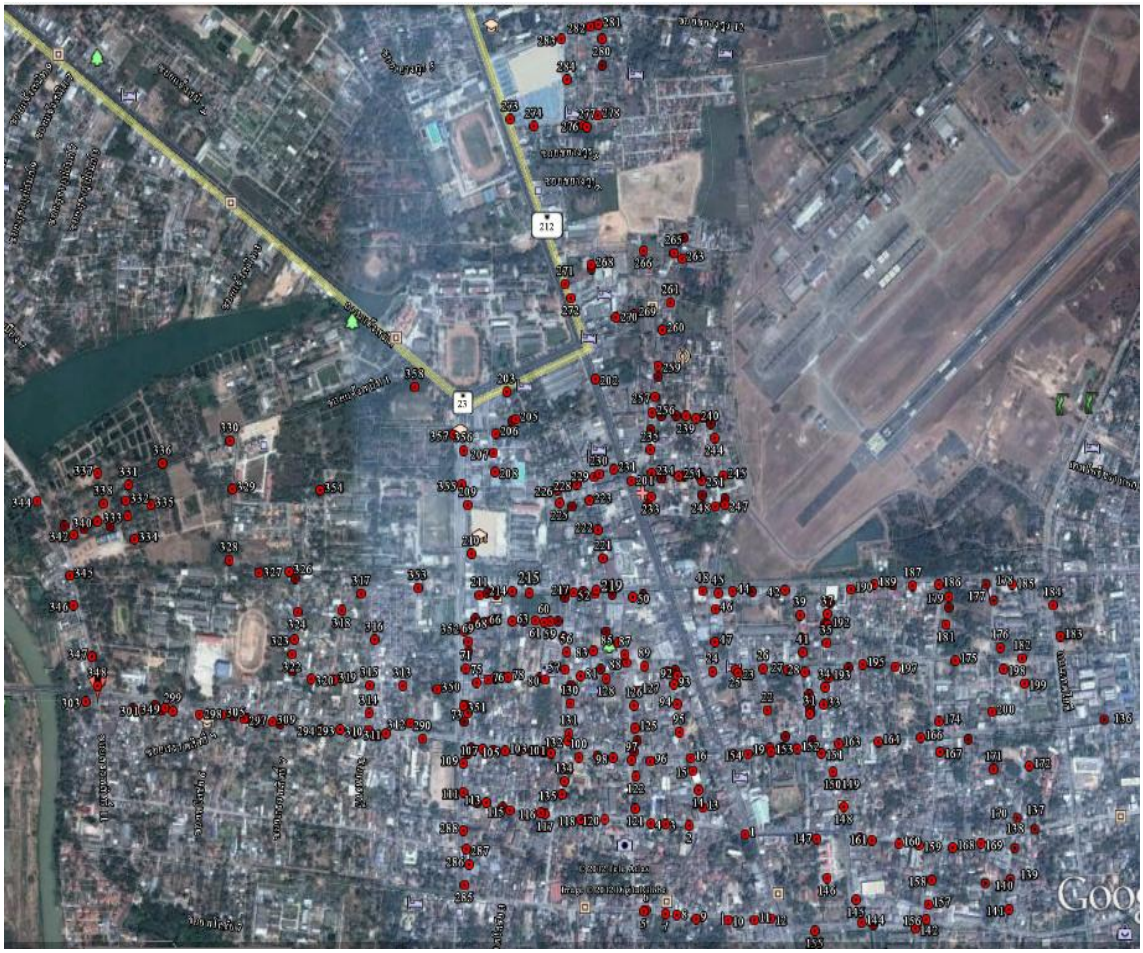
ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกระยะทางของรถเก็บขยะมูลฝอย

วัน / เดือน / พ.ศ.	เข็มไมล์ที่ออก	เข็มไมล์ที่เข้า	ระยะทาง (ก.ม.)
20/01/2555	245377	254437	60
21/01/2555	173210	173258	48
27/01/2555	173992	174048	56
28/01/2555	174143	174200	57
04/02/2555	175221	175280	59
เฉลี่ย			56

3.3.1.4 การคำนวณหาปริมาณขยะ ปริมาณขยะของแต่ละจุดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละวัน ผู้วิจัยจะทำการประมาณการปริมาณขยะของแต่ละจุดในแต่ละวันโดยคำนวณจากปริมาณขยะของจุดนั้น(คิดตามปริมาตรของถังขยะ)เทียบกับปริมาณน้ำหนักขยะรวมในวันนั้นๆซึ่งจะมีการชั่งน้ำหนักขยะรวมภายหลังจากการเก็บรวบรวมขยะในวันนั้นแล้ว ข้อมูลของน้ำหนักขยะและระยะเวลาที่ทำการเก็บรวบรวมขยะในแต่ละวันที่ทำการเก็บข้อมูลแสดงในตารางที่3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกการเก็บข้อมูลของรถเก็บขยะมูลฝอย

วัน / เดือน / ปี	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่ใช้ในการเก็บ (นาที)	ปริมาณขยะที่เก็บได้ (ตัน)
20/01/2555	60	370	6.540
21/01/2555	48	249	4.810
27/01/2555	56	323	4.350
28/01/2555	57	370	4.170
04/02/2555	59	309	5.995
เฉลี่ย	56	324	5.173



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของจุดเก็บขยะของรถเก็บขยะเขตพื้นที่รับผิดชอบเขต 5,6,7 และ 8

หลังจากดำเนินการเก็บข้อมูลทั้ง 4 เขตครบถ้วนแล้วพบว่า จำนวนจุดเก็บขยะทั้งหมดมี 358 จุด รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้ง 358 จุดแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะเฉลี่ย (กิโลกรัม)
1	หน้าศาลเยาวชน	2	28.27
2	ธนาคารออมสิน	2	41.04
3	ก่อนไฟแดง(Cannon ทุกช่วงเวลา)	4	79.80
4	ข้าวเกรียบปากหม้อ	1	6.84
5	seven elevenแม่ฮาย	2	61.10
6	ข้างร้านตองหนึ่ง	1	22.80
7	ตู้ไปรษณีย์	3	52.44
8	อาหารอร่อย	1	17.78
9	ปานซัก	1	3.19
10	โรงแรมบดินทร์	2	31.92
11	วัฒนาแอร์	2	31.92
12	สี่แยกทุ่งศรีเมือง	2	45.60
13	แยกธนาคารออมสิน	4	107.62
14	ถนนนพคุณ	1	13.68
15	ก่อนถึงแยกถนนนพคุณ	2	46.51
16	ป้ายอำนาจเจริญ	5	129.50
17	ก่อนถึงนิยมศิลป์ถนนสรรพสิทธิ์	1	8.66
18	นิยมศิลน์	1	10.03
19	ซ.สรรพสิทธุ์6บ้านศรีจันทร์	1	17.78
20	ก่อนถึงวัด	1	20.29
21	ในวัดปทุมมาลัย	3	44.23
22	ซอยสรรพสิทธุ์6หน้าวัดปทุม	1	25.99
23	ธนาคารกรุงเทพ	2	52.90
24	ปั๊มEssso	3	55.18
25	ป้ายอิงมูล	2	25.08
26	ชุมชนวัดปทุมมาลัย	4	72.96
27	โรงบุญ	1	41.95

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
28	ปากซอยสรรพสิทธ์4	3	87.55
29	เข้าซอยอีก500m.	1	24.17
30	ซอยสรรพสิทธ์4	1	27.36
31	แสงสงวน	1	21.89
32	ปากซอย	4	108.07
33	ร้านต่อถ่ายเอกสาร(ไปรษณีย์)	2	29.64
34	ร้านเกรซ	1	4.10
35	บ้านซักรีด	1	24.17
36	อุบลเหล็กดัด	1	15.96
37	บริเวณถนนผาแดง	1	2.28
38	3แยกสนามบิน5ถนนผาแดง	1	25.08
39	ปากซอยสุริยาตร์20	2	66.12
40	ห่าง100m	2	56.54
41	ปากซอยสุริยาตร์20	1	24.62
42	ร้านอะลูมิเนียมของเก่า	1	34.66
43	คลีนิกอินเตอร์	1	24.17
44	รร. วัฒนาพิมพ์ดีด	2	35.57
45	ปากซอยสุริยาตร์24	1	7.75
46	ซอยสุริยาตร์24	1	42.41
47	ซอยสุริยาตร์24	1	14.59
48	อุบลไฮเฟคถนนอุปลีสาน	1	29.18
49	toyota	1	25.08
50	เทอดไทยค้าไม้	1	27.36
51	ปรีชามอเตอร์	2	37.85
52	เล็กนมสด	1	20.52
53	อาหารเวียดนาม	1	21.43
54	ปากซอยถนนชวาลาในแจ้งสนิท2	3	108.98

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
55	ถนนชวาลาในtoyota	2	31.01
56	เถียงนาเบียร์สด	1	11.40
57	ถนนชวาลาใน	1	11.40
58	แจ้งสนิท2แก้วเบียร์สด	2	49.25
59	บ้านนวพร	2	34.20
60	บ้านเลขที่68	1	29.18
61	หอพักหญิง69	2	76.61
62	3พี่น้องนำโชค	2	35.57
63	แจ้งสนิท2	1	23.26
64	บิยาดีแมนชัน	2	40.58
65	แจ้งสนิท2	1	18.01
66	แจ้งสนิท2	1	23.26
67	แจ้งสนิท2	1	16.87
68	แจ้งสนิท2	1	5.02
69	ตอะไหล่ยนต์ล้างอัดฉีด	2	52.90
70	บั้งไฟบ้านธรรมโรจน์	1	6.84
71	ปากซอย	1	4.56
72	วงศ์งามยานยนต์	1	17.33
73	สหอุปกรณ์	2	37.39
74	ไก่ย่างบ้านแคน	1	31.46
75	ธนโชติ์เซอร์วิส	1	25.08
76	เหลียงอะไหล่	2	21.89
77	โชคประเสริฐ	2	47.88
78	ศรีสมไทยเฮ้า	2	60.65
79	ศรีสมไทยเฮ้า	2	23.26
80	ธนาคารเกียรติ์นาคิล	2	70.68
81	ป.ปลากระพง	1	11.86

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
82	ปากซอยสวนสาธารณะอยู่วงศ์ธรรม	1	11.40
83	สวนสาธารณะอยู่วงศ์ธรรม	1	6.84
84	สวนสาธารณะอยู่วงศ์ธรรม	1	10.94
85	สวนสาธารณะอยู่วงศ์ธรรม	1	11.86
86	ปากซอยตลาด4	3	74.78
87	ซอยสุริยาตร์26	1	5.47
88	ซอยสุริยาตร์26sumsung	1	39.67
89	ก๋วยจั๋บ	1	7.75
90	รร.กวดวิชา(ศิริรัตน์)	2	18.24
91	3แยกโพธิ์ทอง	1	6.38
92	ร้านโพธิ์ทองประตูม้วน	2	31.92
93	Unicityช.ทเจริญวัสดู	1	27.82
94	ข้างวัด(หมอจิราวัตน์)พัชรินผ้าม่าน	1	11.86
95	jotunข้างวัดฌานวิทย	3	62.02
96	เค้กวุ้นคุณตุ๊ก	2	62.02
97	ช. นิมิตกลการ	2	45.60
98	ทรงสมาร์ท	1	27.36
99	หน้าวัดสว่างอารมณ์	3	82.99
100	สกรีน(อู่สะคาร์การ)	2	57.00
101	จัดฟัน กิจชัยพานิช	2	27.82
102	ประภาณี	1	4.56
103	อมยิ้ม	2	37.39
104	อมยิ้ม(ร้านเกมส์โซน)H-ler	1	4.10
105	รร กวดวิชาวรรณสรณ์	1	46.51
106	เม็ดยา	3	52.90

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
107	หมอมานิดา,สมาร์ทอาร์ต	2	42.41
108	อาหารและเครื่องดื่ม	2	30.10
109	7seven, โรงเรียนสามัคคี	1	13.22
110	ร้านติ่มซำ	1	20.06
111	แคริ่บอย,ชัยศิลป์	1	30.10
112	laen&houseอุบลการแทรกเตอร์	1	21.43
113	อาหารเวียดนามวอฟเฟอร์	1	10.03
114	เซียมดอกไม้	2	37.85
115	รักษาสัตว์(เรืองรอง)	1	6.84
116	ศิลป์เจริญ	1	10.49
117	หจก.ศักดิ์ดา	1	18.24
118	ถนนพิชิตรังสรรค์	1	5.47
119	Bossa internet	1	5.93
120	รับฝากเครื่องใช้ไฟฟ้า	1	13.68
121	สมาคมผู้สื่อข่าวอุบล	2	40.13
122	จิตราเรสซิเดนซ์	2	40.58
123	4แยก	1	5.93
124	อาอู๋เนื้อย่าง	1	16.87
125	รางน้ำฝนปล่องดูดควัน	1	7.30
126	อุบลแพก	1	6.38
127	chevrolet	2	46.97
128	เอสพีโฆษณา	4	109.44
129	ไวนิลคนศิลป์	2	37.85
130	ตัดแต่งขนสุนัข	3	62.47
131	อำนวย	1	12.31

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวณถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
132	ชัยโต๊ะจีน	1	9.12
133	ข้างวัดสว่างอารมณ์	1	16.87
134	ประตุวัด	1	9.58
135	ข้างวัด	1	25.99
136	หน้าโรงพยาบาลสรรพสิทธิ์	20	456.00
137	ถนนพิชิตรังสรรค์	4	91.20
138	ร้านขายไข่	4	91.20
139	ข้างวัดมณีวนาราม	4	91.20
140	ในวัดมณีวนาราม	10	273.60
141	ข้างวัดมณีวนาราม	1	22.80
142	หลังโรงเรียนอนุบาลอุบลราชธานี	1	34.20
143	อุบลสาส์น	3	98.80
144	ข้างศาลแขวง	3	91.20
145	สหสินปอแซ	4	131.33
146	ในศาลแขวง	18	410.40
147	บ้านพักข้าราชการ	5	159.60
148	ผาแดงแมนชั่น	3	74.10
149	พันชาติ	3	91.20
150	ล้ำฟ้า	5	109.44
151	ข้าวต้มตี๋	4	118.56
152	หน้าโรงเรียนอุบลวิทยาคม	1	36.48
153	ข้างโรงเรียนอุบลวิทยาคม	1	45.60
154	หมอทวีชัย	2	45.60
155	หน้าวัดสุทัศน์	5	74.10
156	บ้าน 19 กะรัต	4	125.40

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
157	สหสินทองขนส่ง	1	22.80
158	ข้างเคหะ	2	51.30
159	สหกรณ์ครูอุบลฯ	3	76.00
160	โรงพยาบาลสัตว์วุฒิตรา	4	91.20
161	จันทร์หอม	4	68.40
162	วิษณุแอร์	3	68.40
163	ไอทีโซน	2	72.96
164	ปั๊มเชลล์	4	86.64
165	ซอยสรรพสิทธิ์ 2	5	136.80
166	หน้าวัดแจ้ง	3	72.96
167	เจษฎาออโต้แอร์	10	282.72
168	99 สุกี้	8	176.70
169	พองามบริหารธุรกิจ	4	102.60
170	ถนนหลวง	4	91.20
171	ถนนหลวง(โค้งวัด)	4	311.60
172	ในวัดมหาวนาราม	20	444.60
173	หมอไชยยันต์	8	228.00
174	LMG ข้างวัดแจ้ง	6	193.80
175	ทิพรสไก่ย่าง	4	102.60
176	แฟลตตำรวจภูธร	9	199.50
177	หยวนสเต็ก	3	45.60
178	บ้านเพลงไทย	1	22.80
179	แคมปิ้งแค้มป์	1	53.20
180	สายฟ้าอิเล็คทรอนิค	3	68.40
181	ฟุกุ	6	119.70

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
182	สถานีตำรวจท่องเที่ยว	5	114.00
183	วัดสารพัฒนึก	1	22.80
184	แฟลตตำรวจชายแดน	9	205.20
185	ปตท.	2	68.40
186	หจก.วรรณกิจ	4	91.20
187	ร้านส้มตำหน้ากองบิน	4	91.20
188	ปั๊มแก๊ส	2	34.20
189	คิงคอง	3	68.40
190	ธนาคารอาคารสงเคราะห์	2	45.60
191	โรงพิมพ์ อ.อ๊อฟเซ็ตการพิมพ์	2	45.60
192	ครัวพี่น้อง	7	159.60
193	ร.ร.ศรีทอง	3	91.20
194	ทีทีแอต	6	176.70
195	ซอยเทพอุทัย	3	60.80
196	บ้านศิริพานทอง	2	57.00
197	หลังวัดแจ้ง	7	136.80
198	ข้างสถานีตำรวจ	3	68.40
199	ในสถานีตำรวจ	16	364.80
200	ข้างสถานีตำรวจ	3	57.00
201	ตลาด6	2	41.80
202	มาสด้า	1	36.48
203	เมดิแคร์	เอารถเข็นลง	0.00
204	ข้างsk	5	110.20
205	โกดังsk	15	456.00
206	ร้านก๋วยเตี๋ยว	3	98.80

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
207	ต้นไทร	3	125.40
208	โกดังsk	2	34.20
209	วาเลนไทน์	2	27.36
210	นารี	1	68.40
211	แมนชั่น	1	49.40
212	บ้าน	1	22.80
213	บ้านนครปฐม	2	28.50
214	TRUE	3	117.80
215	กิ๊กสมุนไพร	4	49.40
216	ซ12	2	60.80
217	บ้าน	1	20.90
218	HS	2	64.60
219	อ.อ่าง	1	30.40
220	ปากซอย	1	27.36
221	หอพัก	2	50.16
222	สุภาพสตรี	4	117.80
223	กิ๊ฟช็อป	2	28.50
224	เติมเงิน	2	26.60
225	หลังนารี	1	68.40
226	สามแยก	3	110.20
227	บ้านทวีสุข	2	30.40
228	จุดตรวจ191	1	24.70
229	หลังตลาด6	5	125.40
230	ข้างตลาด	2	83.60
231	ข้างธนาคาร	3	98.80

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
232	ปากซอยซาน	1	22.80
233	โต๊ะสนุ๊ก	1	17.10
234	หลังธนาคาร	4	102.60
235	ตู้เติมเงิน	1	22.80
236	อะสุกะ	1	26.60
237	โจโจ้	3	49.40
238	ตู้กดน้ำ	2	30.40
239	ธนวิท	3	45.60
240	ตู้โทรศัพท์	3	64.60
241	D-net	3	53.20
242	ร้านขายของ(รวมขยะ)	2	98.80
243	ประพิณรัตน์	1	19.00
244	บ้านสระมณี	1	25.08
245	จะเฮ๋	1	20.90
246	สามแยกรวมขยะ	1	57.00
247	ต้นลั่นทม	1	25.08
248	บ้านอุ่นใจ	2	19.00
249	เสริมสวย	2	22.80
250	ระรื่นจิต	1	24.70
251	สามแยก	3	72.96
252	ร้านขายของ	2	41.80
253	รวมขยะ278	5	117.80
254	ซักรีด	1	30.40
255	ร้านขายของ	1	24.70
256	4แยก2.1	2	83.60

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
257	ture H	2	34.20
258	เจ๊หน่อย	2	30.40
259	เสาปลวก	2	34.20
260	วิลล่าอาร์พาทเม้น	1	57.00
261	4แยกจตุพร(รวมขยะ)	3	110.20
262	จตุพร	3	79.80
263	ซาลอน	1	22.80
264	สามแยกรวมขยะ	3	102.60
265	ตาขบ	1	22.80
266	สามแยก	1	49.40
267	เนวาค้า	1	30.40
268	Zeed	12	380.00
269	โรงแรม	1	22.80
270	โรงหนัง	10	410.40
271	หน้าzeed	1	30.40
272	7-elevent	1	34.20
273	หน้าโลตัส	2	34.20
274	ข้างโลตัส	2	60.80
275	เอารถเข็นลง	0	0.00
276	ร้านก๋วยเตี๋ยว	1	45.60
277	สวนเสน่หา	1	15.20
278	ตู้โทรศัพท์	1	22.80
279	มันทนา	1	19.00
280	รั้วแดง	1	22.80
281	อาพาร์ทเม้น	2	45.60

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
282	รวมขยะ	3	91.20
283	lotus	20	767.60
284	lotus	20	638.40
285	บริเวณถนนชวาลานอก	1	20.06
286	หน้าร้านข้าวต้มสันติ	4	134.52
287	บริเวณหน้าบ้านคน	1	41.95
288	บริเวณหน้าโรงเรียนสามัคคี	1	41.95
289	หน้าโรงเรียนสามัคคี	2	35.57
290	บริเวณข้างโรงเรียนสามัคคี	5	108.98
291	ถนนสรรพสิทธิ์หน้าซอย 10	2	85.27
292	หน้าหอพักสตรีเยาวย์ภา	2	18.70
293	บริเวณหอพักสตรีเยาวย์ภา	1	20.98
294	หน้าซอยเชิดศักดิ์	1	20.98
295	บริเวณร้านไมโลดิบ	1	18.70
296	หน้าร้านไมโลดิบ	1	31.01
297	บริเวณตรงข้ามโรงเรียนเบ็ญ	1	43.78
298	หน้าร้านสะดวกซื้อ 7-ELEVEN	2	106.70
299	หน้าหอพักกุลวดี	2	25.54
300	หน้าหอพักฉวีวรรณ	2	36.02
301	บริเวณตรงข้ามการประปา	4	57.91
302	หน้าสำนักงานกฎหมายทองวิจิตร	1	33.29
303	หน้าบริเวณถนนสรรพสิทธิ์ 16	1	22.80
304	หน้าโรงเรียนเบ็ญ	2	69.31
305	หน้าหอพักชายเปรมวดี	2	34.66
306	หน้าโรงเรียนกวดวิชา อ.ติ	1	17.78

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
307	บริเวณโรงเรียนกวดวิชา อ.ติ	1	17.78
308	หน้าร้านเนื้อย่างเกาหลีจอย	4	88.46
309	หน้าร้านชัยเซอร์วิส	1	24.17
310	หน้าร้านก๋วยจั๊บเล-วรรณ	1	44.69
311	หน้าร้านก๋วยเตี๋ยวไก่	1	28.27
312	ถนนสรรสิทธิ์ซอย 8	1	20.52
313	แยกซอยสรรพสิทธิ์8,10	1	20.98
314	บริเวณสรรพสิทธิ์ซอย 10	1	17.78
315	หน้าหอพัก IJ	1	16.87
316	บริเวณบ้านคน	1	31.92
317	บริเวณบ้านคน	1	45.60
318	บริเวณสรรพสิทธิ์ซอย 12	2	91.20
319	ในซอยสรรพสิทธิ์ 12	1	50.62
320	บริเวณบ้านคน	1	43.32
321	บริเวณสรรพสิทธิ์ซอย 14	1	35.11
322	หน้าหอพักหญิงไพศาล	1	22.80
323	หน้าหอพักหญิงชิดชนก	1	57.00
324	บริเวณโรงขายอิฐแดง	1	33.74
325	บริเวณบ้านพักอาชีวะ	4	77.06
326	หมู่บ้านตุลาการ	4	45.60
327	บริเวณหมู่บ้านตุลาการ	1	37.85
328	บริเวณพื้นที่ฟาร์มเกษตร	1	32.38
329	คณะเกษตรศาสตร์ราชภัฏ	2	51.98
330	บริเวณคณะเกษตรสาสตร์	1	27.36
331	บริเวณคระเกษตรศาสตร์	1	20.06
332	บ้านพักอาจารย์ราชภัฏ	1	15.50

ตารางที่ 3.4 (ต่อ) รายละเอียดของจุดเก็บขยะทั้งหมด 358 จุด

จุดที่	สถานที่	จำนวนถังขยะ (ถัง)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
333	บริเวณบ้านพักอาจารย์ราชภัฏ	1	17.33
334	บริเวณบ้านพักอาจารย์ราชภัฏ	1	14.59
335	บริเวณบ้านพักอาจารย์ราชภัฏ	1	22.34
336	บริเวณศูนย์วิจัยและพัฒนาน้ำจืด	1	46.51
337	สำนักงานประมงแห่งชาติ	1	26.45
338	ศูนย์จักรกลประมงอุบลราชธานี	1	29.64
339	บริเวณบ้านพักศูนย์จักรกล	1	19.61
340	บริเวณบ้านพักศูนย์จักรกล	1	12.31
341	บริเวณบ้านพักศูนย์จักรกล	1	13.22
342	บริเวณบ้านพักศูนย์จักรกล	1	33.29
343	บริเวณบ้านพักศูนย์จักรกล	1	14.59
344	บริเวณสวนสุขภาพ	1	13.68
345	บริเวณชุมชนวังแดง	2	41.50
346	บริเวณด้านหลังสรรพกร	2	55.18
347	ถนนสรรพสิทธิ์ 16	1	19.61
348	บริเวณหมู่บ้านประปา	1	52.90
349	บริเวณหน้าประปา	1	42.86
350	ถนนสรรพสิทธิ์ 16	1	21.43
351	แขวงกลางทางอุบลราชธานีที่ 1	4	56.09
352	บริเวณสำนักงานชลประทานที่ 7	2	47.88
353	บริเวณบ้านพักชลประทานที่ 7	8	20.98
354	หน้าวิทยาลัยเทคนิค	2	32.38
355	บริเวณบ้านพักเทคนิค	4	20.98
356	บริเวณโรงอาหารเทคนิค	2	18.70
357	บริเวณศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน	1	16.42
358	ศูนย์ OTOP	8	248.52
	รวม	880	21722.55

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากที่เก็บข้อมูลที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะแต่ละจุดกับศูนย์11ไร่รวมทั้งจุดฝังกลบขยะ โดยการสร้างเมตริกซ์ระยะทางขึ้นมาซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมGoogle Earth ในการหาระยะทาง หลังจากนั้นจะใช้เมตริกซ์ระยะทางเป็นข้อมูลดิบที่จะป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนามาใช้ในการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ ตารางเมตริกซ์ระยะทางแสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก ก

3.3.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะนี้ สามารถพิจารณาว่าเป็นปัญหาประเภทเดียวกันกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าได้ ดังนั้น โดยทั่วไปแล้วทั้งสองปัญหาจึงมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมือนหรือคล้ายคลึงกัน การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา VRP สามารถทำได้หลายรูปแบบ ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ Fisher และ Jaikumar (1978) ได้พัฒนาขึ้น ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i เป็นลำดับของจุดเก็บขยะ โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, n$ และ $i = 1$ หมายถึงศูนย์ 11 ไร่

j เป็นลำดับของจุดเก็บขยะ โดยที่ $j = 1, 2, \ldots, n$ และ $j = 1$ หมายถึงศูนย์ 11 ไร่

k เป็นดัชนีของรถเก็บรวบรวมขยะคันที่ k โดยที่ $k = 1, 2, 3, \ldots, m$

พารามิเตอร์ (Parameters)

q_i เป็นปริมาณขยะ ณ จุดเก็บขยะที่ i โดยกำหนดให้ $q_1 = 0$

c_{ij} เป็นระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะหรือตำแหน่ง ที่ i และ j

Q_k เป็นความจุของรถเก็บรวบรวมขยะคันที่ k

S เป็นสับเซตของจุดเก็บขยะ

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ารถเก็บรวบรวมขยะคันที่ } k \text{ เดินทางจากตำแหน่ง } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ารถเก็บรวบรวมขยะคันที่ } k \text{ เก็บขยะที่ตำแหน่ง } i \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Minimize} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} c_{ij} x_{ijk} \qquad (3.1)$$

ข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{k=1}^{m} y_{ik} = \begin{cases} 1 & i = 2,3,...n \\ m & i = 1 \end{cases} \qquad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} q_i y_{ik} \le Q_k \qquad k = 1, 2, \ldots, m \qquad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} = \sum_{j=1}^{n} x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1,..., n \quad \text{k} = 1,..., m \qquad (3.4)$$

$$\sum_{i \in S}\sum_{j \in S} x_{ijk} \le |S| - 1 \qquad \text{สำหรับทุกสับเซต } S \subseteq \{2,..., n\} \quad k = 1,..., m \qquad (3.5)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \qquad i = 1,..., n \quad \text{k} = 1,..., m \qquad (3.6)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \qquad i, j = 1,..., n \quad \text{k} = 1,..., m \qquad (3.7)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3.1 ต้องการหาเส้นทางการเก็บขยะของรถเก็บรวบรวมขยะทุกคันที่ให้ค่าระยะทางรวมต่ำที่สุด ข้อจำกัดที่ 3.2 เป็นการกำหนดให้จุดเก็บขยะแต่ละจุด จะต้องมีรถเก็บรวบรวมขยะหนึ่งคันเดินทางไปเก็บขยะ และรถเก็บรวบรวมขยะทุกคันจะต้องเดินทางไปที่ศูนย์ 11 ไร่ ข้อจำกัดที่ 3.3 กำหนดว่าปริมาณขยะที่รถแต่ละคันเดินทางไปเก็บรวบรวม จะต้องไม่เกินความจุของรถ ข้อจำกัดที่ 3.4 รับประกันว่ารถเก็บรวบรวมขยะเดินทางไปที่จุดเก็บขยะจุดใดแล้ว จะต้องเดินทางออกจากจุดเก็บขยะนั้น ข้อจำกัดที่ 3.5 เป็นข้อกำหนดที่ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย(subtour) ข้อกำหนดที่ 3.6 และ 3.7 เป็นการกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจให้มีค่าได้เพียงสองค่า คือ 0 และ 1

3.3.4 วิธีการจัดเส้นการเก็บรวบรวมขยะ

เนื่องจากจำนวนจุดเก็บขยะในเขตที่2 มีอยู่เป็นจำนวนมากกว่าสองร้อยจุด การใช้โปรแกรมLingo หาคำตอบจึงเป็นไปไม่ได้ ผู้วิจัยจะทำการพัฒนาฮิวริสติกส์เพื่อใช้ในการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการจัดเส้นทางของยานพาหนะมีหลายวิธี

ที่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจะพัฒนาวิธี Greedy Randomize Adaptive Search Procedure (GRASP) ในการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ โดยในระยะแรก คือ ระยะการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction Phase) จะประยุกต์ใช้วิธี Distance Ratio (DR) ในการหาคำตอบเริ่มต้น เนื่องจากเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิสูง วิธีนี้พัฒนาขึ้นโดย Sindhuchao (2003) จากนั้นในระยะที่สอง คือ ระยะการปรับปรุงคำตอบจะปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีVery Large Scale Neighborhood (VLSN) Search Algorithm ซึ่งเป็นวิธีที่รวมเอาวิธี Exchange Heuristic และ One Move Heuristic เข้าด้วยกัน รวมถึงNeighborhood แบบอื่นๆ ทำให้สามารถค้นหาคำตอบในบริเวณที่กว้างมากๆได้ ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าการใช้วิธี Exchange Heuristic หรือ One Move Heuristic อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองวิธีร่วมกัน วิธีการหาคำตอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ ใช้ชื่อว่า GRASP with VLSN ก่อนที่จะกล่าวถึงขั้นตอนของวิธีGRASP with VLSN ผู้วิจัยจะอธิบายหลักการและขั้นตอนของวิธีDR และ VLSN ก่อน รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

3.3.4.1 Distance Ratio Heuristic (DR) เป็นวิธีที่ใช้ในการจัดเส้นทางเริ่มต้น โดยจะแบ่งจุดเก็บขยะออกเป็นกลุ่มและมอบหมายให้รถเก็บรวบรวมขยะทีละคันตามลำดับ จากนั้นจึงจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถทุกคัน ขั้นตอนของวิธีDR มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณารถเก็บรวบรวมขยะคันเปล่า

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าDR ของจุดเก็บขยะทุกจุดที่ยังไม่ได้ถูกจัดกลุ่ม โดยที่ค่าDRของจุดเก็บขยะใดๆมีค่าเท่ากับระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะนั้นกับจุดเก็บขยะที่อยู่ใกล้ที่สุดและถูกมอบหมายให้กับรถที่กำลังพิจารณาแล้ว หารด้วยระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะนั้นกับศูนย์11ไร่

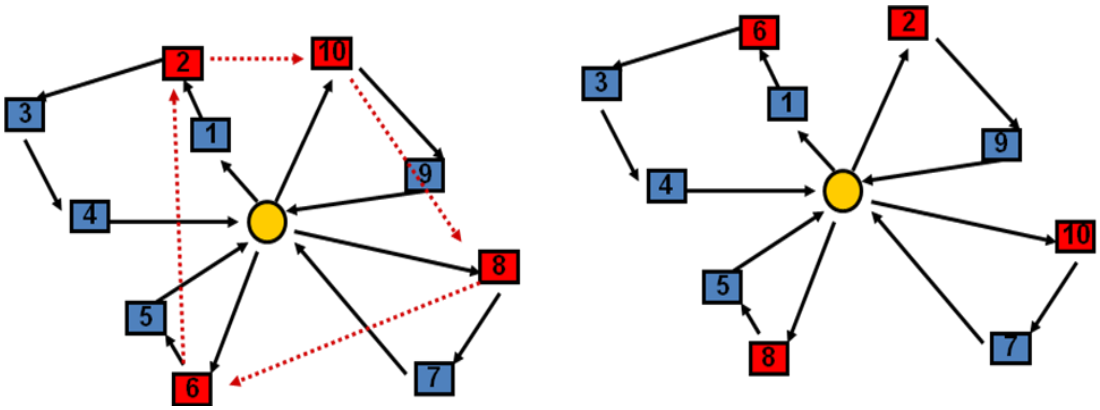
ขั้นตอนที่ 3 เลือกจุดเก็บขยะที่มีค่าDR ต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 มอบหมายจุดเก็บขยะที่มีค่าDRต่ำที่สุดให้กับรถเก็บรวบรวมขยะที่กำลังพิจารณาถ้าไม่ละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถ มิฉะนั้นแล้ว ให้กลับไปที่ขั้นตอนที่ 1

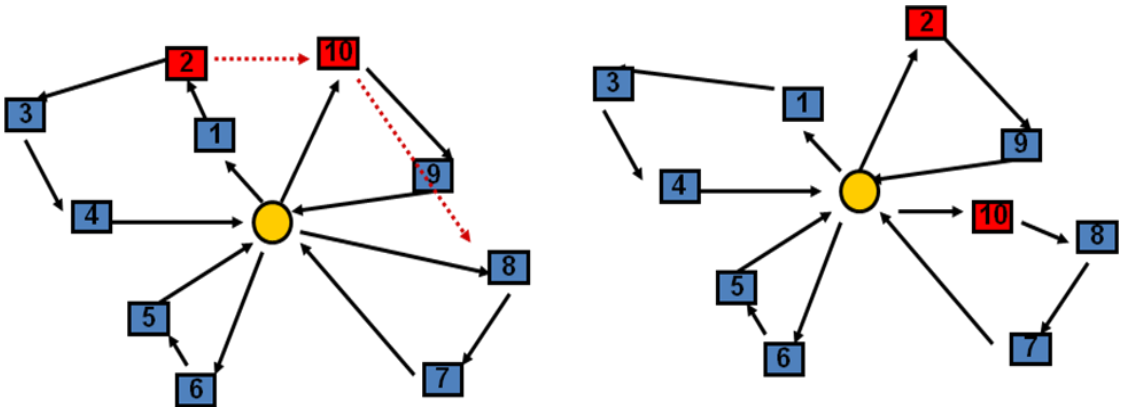
ขั้นตอนที่ 5 ถ้าจุดเก็บรวบรวมขยะทุกจุดถูกจัดกลุ่มแล้ว ให้จัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถทุกคัน โดยใช้วิธี Arbitrary Insertion Heuristic และ 2-opt Heuristic มิฉะนั้นแล้ว ให้กลับไปที่ขั้นตอนที่ 2

สำหรับวิธี DR ที่ประยุกต์ใช้ในวิธี GRASP นั้น ผู้วิจัยใช้ชื่อว่า DR based Heuristic ซึ่งมีข้อแตกต่างอยู่ที่ขั้นตอนที่ 3 โดยจะไม่เลือกจุดเก็บขยะที่มีค่าDR ต่ำที่สุด แต่จะเลือกจุดเก็บขยะหนึ่งจุดแบบสุ่มจากบัญชีรายชื่อของจุดเก็บขยะกลุ่มหนึ่ง (Restricted Candidate List: RCL) ซึ่งหลักเกณฑ์การเลือกจุดเก็บขยะเข้าไปในบัญชีรายชื่อ จะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.3.4.3

3.3.4.2 Very Large Scale Neighborhood (VLSN) Search Algorithm เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบที่ค้นหาคำตอบใน neighborhood ขนาดใหญ่ สำหรับ neighborhood ที่มีขนาดใหญ่การค้นหาคำตอบในแต่ละรอบ จะใช้เวลานานมาก Ahuja et al. (2000) ได้เสนอวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการชี้บ่งคำตอบที่ดีกว่าเดิมในneighborhoodขนาดใหญ่โดยที่ไม่จำเป็นต้องพิจารณาทุกคำตอบในneighborhoodนั้น วิธีการนี้จะอาศัยการสร้าง improvement graph [Ahuja et al. (2002)] แนวทางในการปรับปรุงคำตอบของวิธีนี้มีสองแนวทาง คือ cyclic exchange กับ path exchange ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 การปรับปรุงคำตอบแบบ cyclic exchange



รูปที่ 3.5 การปรับปรุงคำตอบแบบ path exchange

การปรับปรุงคำตอบแบบcyclic exchange นั้น จะมีการย้ายจุดหรือลูกค้าจากเส้นทางเดิมไปเส้นทางใหม่โดยจะมีการย้ายจุดหรือลูกค้าให้ครบวงรอบดังรูปที่ 3.4 ส่วนการปรับปรุงคำตอบแบบ path exchange นั้น การย้ายจุดหรือลูกค้าจากเส้นทางเดิมไปเส้นทางใหม่จะไม่ครบวงรอบดังรูปที่ 3.5 ดังนั้น จะเห็นได้ว่า exchange heuristic ก็คือ cyclic exchange ส่วน one move heuristic ก็คือ path

exchange นั่นเอง สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะนี้ จะพิจารณาจุดเก็บขยะเป็นจุดที่ใช้ในการย้ายเพื่อปรับปรุงคำตอบ

3.3.4.3 GRASP with VLSN เป็นวิธีที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นโดยใช้วิธี DR based Heuristic ในระยะของการสร้างคำตอบเริ่มต้นและประยุกต์ใช้วิธี VLSN ในระยะของการปรับปรุงคำตอบ สำหรับวิธีนี้ จะต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สองค่า คือ ค่าจำนวนรอบสูงสุดของการหาคำตอบ M และค่า α ซึ่งก็คือค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าDRต่ำสุด ที่ยอมให้จุดเก็บขยะที่มีค่าDRสูงกว่าค่าDRต่ำสุด ไม่เกินค่านี้ เข้าไปอยู่ในบัญชีรายชื่อสำหรับการสุ่ม (Restricted Candidate List: RCL) ยกตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดค่า α เท่ากับ 50% และค่าDRต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 10 จะได้ว่า จุดเก็บขยะที่ยังไม่ถูกจัดกลุ่มและมีค่าDR ไม่เกิน 15 (มาจาก 10+0.50x10) จะถูกรวมเข้าไปอยู่ในRCL ซึ่งจุดเก็บขยะหนึ่งจุดจะถูกสุ่มออกมาจากRCL เพื่อมอบหมายให้กับรถเก็บรวบรวมขยะที่กำลังพิจารณา (ในขั้นตอนที่ 4 ของวิธี DR Heuristic) จากการสุ่มจุดเก็บขยะในRCLเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้นนั้น ทำให้ได้คำตอบเริ่มต้นที่แตกต่างกันในแต่ละรอบของการหาคำตอบ จึงทำให้มีโอกาสสูงที่จะค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดในระยะของการปรับปรุงคำตอบ ขั้นตอนของวิธี GRASP with VLSN มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าจำนวนรอบสูงสุดของการหาคำตอบ M ค่า α และให้ k =1 และค่าคำตอบที่ดีที่สุด $z^* = 10{,}000{,}000$

<u>ระยะการสร้างคำตอบเริ่มต้น</u>

ขั้นตอนที่ 2 สร้างคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธี DR based Heuristic โดยใช้ค่า α ที่กำหนด

<u>ระยะการปรับปรุงคำตอบ</u>

ขั้นตอนที่ 3 ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี VLSN ได้ค่าคำตอบของการหาคำตอบรอบที่ k คือ z_k

ขั้นตอนที่ 4 ถ้า $z_k < z^*$ ให้ $z^* = z_k$ มิฉะนั้นแล้ว ให้ไปที่ขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 5 ให้ k = k + 1 ถ้า k > M ให้หยุดการหาคำตอบ มิฉะนั้นแล้ว ให้กลับไปที่ขั้นตอนที่ 2

3.3.5 การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ

ในการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ ผู้วิจัยจะเสนอสองแนวทาง คือ แนวทางที่หนึ่งจะพิจารณาจุดเก็บขยะเดิมของรถเก็บรวบรวมขยะแต่ละคันเพื่อจัดเส้นทางใหม่ โดยจะใช้โปรแกรม Lingoช่วยในการคำนวณจัดเส้นทาง และหากโปรแกรมLingoไม่สามารถหาคำตอบได้ ผู้วิจัยจะเขียน

โปรแกรมวิธีการจัดเส้นทางสำหรับปัญหา TSP โดยใช้หลักการการแก้ปัญหาที่ยังไม่พิจารณาการเกิดเส้นทางย่อย (subtour) และเมื่อจากได้คำตอบของปัญหาแล้ว จึงจะเพิ่มข้อจำกัดการเกิดเส้นทางย่อยลงไปในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ แล้วแก้ปัญหาซ้ำอีกครั้ง ดำเนินการตามขั้นตอนเดิมที่กล่าวมาซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ส่วนแนวทางที่สองนั้น จะพิจารณาจุดเก็บขยะทุกจุดของรถเก็บรวบรวมขยะทุกคัน รวมกัน เพื่อจัดเส้นทางใหม่ทั้งหมด สำหรับแนวทางที่สองนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาC++ ของวิธี GRASP with VLSN เพื่อใช้ในการคำนวณจัดเส้นทาง โดยจะทำการประมวณผลโปรแกรมในหลายๆกรณี แล้วเลือกผลลัพธ์ของกรณีที่ให้ระยะทางรวมสั้นที่สุดมาเป็นคำตอบของปัญหา แล้วจึงทำการสรุปผลและนำเสนอผลการวิจัยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้น อยู่ในภาคผนวก ข

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งจะแสดงผลของการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณาจุดเก็บขยะเดิมของรถแต่ละคันสำหรับการจัดเส้นทางของรถคันนั้นๆ ส่วนที่สองจะเป็นผลของการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณามอบหมายจุดเก็บขยะใหม่ทั้งหมดให้กับรถแต่ละคัน รายละเอียดมีดังนี้

4.1 การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณาจุดเก็บขยะเดิมของรถแต่ละคัน

ในส่วนแรกนี้ เป็นการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถแต่ละเขตโดยพิจารณาจุดเก็บขยะเดิมในเขตนั้น ดังนั้น สามารถพิจารณาการจัดเส้นทางของรถแต่ละคันว่าเป็นปัญหาTSP ได้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมLINGO ช่วยในการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ แต่เนื่องจากโปรแกรมดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ สามารถใช้แก้ปัญหาได้เฉพาะปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลาง ส่วนปัญหาขนาดใหญ่นั้นโปรแกรมLINGO จะใช้เวลานานมากในการหาคำตอบ ซึ่งบ่อยครั้งไม่สามารถหาคำตอบได้เนื่องจากใช้เวลานานเกินขีดจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล ผู้วิจัยจึงพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางสำหรับปัญหา TSP โดยใช้หลักการการแก้ปัญหาที่ยังไม่พิจารณาการเกิดเส้นทางย่อย (subtour) หลังจากได้คำตอบแล้ว จึงเพิ่มข้อจำกัดการเกิดเส้นทางย่อยลงไปในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ แล้วแก้ปัญหาซ้ำอีกครั้ง จากนั้นก็ดำเนินการขั้นตอนเดิมซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด

4.1.1 การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของเขตที่ 5

ในเขตที่ 5 มีจุดเก็บรวบรวมขยะทั้งหมด 74 จุด (หลังจากที่รวมจุดที่อยู่ใกล้กันแล้ว) ผู้วิจัยได้ทดลองใช้โปรแกรมLINGO หาคำตอบ หลังจากที่ให้คอมพิวเตอร์ประมวลไปประมาณ 24 ชั่วโมง ก็ยังไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นที่เขียนด้วยภาษา C++ หาคำตอบ ผลการจัดเส้นทางของเขตที่ 5 เปรียบเทียบกับเส้นทางเดิม แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

ผลการจัดเส้นทางการเก็บขยะสามารถลดระยะทางจากเดิม 18.953 กิโลเมตรเหลือ 16.093 กิโลเมตร ลดลงได้ 2.86 กิโลเมตรต่อวันหรือคิดเป็น 15.09% ซึ่งระยะทางที่พิจารณานี้ ยังไม่รวมระยะทางจากศูนย์11ไร่ ไปยังบ่อฝังกลบที่มีระยะทาง 48 กิโลเมตร

รูปที่ 4.1 เส้นทางการจัดเก็บขยะก่อนปรับปรุงของ เขตที่ 5

รูปที่ 4.2 เส้นทางการจัดเก็บขยะหลังปรับปรุงของ เขตที่ 5

ตารางที่ 4.1 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนและหลังปรับปรุง เขตที่ 5

เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนการปรับปรุง	เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะหลังการปรับปรุง
เขต 5:0-285-286-287-288-289-290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350-351-352-353-354-355-356-357-358-0	**เขต 5**: 0-285-286-287-288-289-292-293-294-295-296-297-309-308-306-307-298-305-299-300-301-304-302-303-349-348-347-346-345-344-343-342-341-340-339-338-337-336-331-332-334-333-335-330-329-328-327-326-325-324-323-322-321-320-319-317-318-316-315-314-310-311-313-312-291-290-354-355-356-357-358-350-351-352-353-0
ระยะทาง 18.953 กิโลเมตร	**ระยะทาง** 16.093 กิโลเมตร
	ระยะทางลดลง 2.86 กิโลเมตร หรือ 15.09%

4.1.2 การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของเขตที่ 6

พื้นที่รับผิดชอบการเก็บขยะของเขตที่ 6 ครอบคลุมห้างสรรพสินค้าจำนวนมากไม่ว่าจะเป็น ยิ่งเจริญปาร์ค โรงหนังเนวาด้า โรงแรมเนวาด้าและเทสโก้โลตัส ซึ่งสถานที่เหล่านี้จะมีจำนวนขยะที่มากกว่าบริเวณปกติทั่วไป พนักงานขับรถเก็บขยะจึงแบ่งเส้นทางที่จัดเก็บขยะออกเป็นสองเส้น โดยพิจารณาจากปริมาณขยะในจุดหลักๆ ในเขตที่ 6 มีจุดเก็บรวบรวมขยะทั้งหมด 84 จุด ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมLINGO หาคำตอบจัดเส้นทางที่รวมจุดเก็บรวบรวมขยะทั้ง 84 จุด ไม่แยกเป็นสองเส้นทางตามที่พนักงานขับรถเก็บขยะได้แบ่งไว้ เนื่องจากปริมาณขยะโดยเฉลี่ยรวมทั้ง 84 จุดไม่เกินความจุของรถเก็บขยะ รูปที่ 4.3-4.4 แสดงการเปรียบเทียบเส้นทางการเก็บขยะก่อนและหลังการปรับปรุง เส้นทางก่อนปรับปรุงมีระยะทางรวม 15.745 กิโลเมตร หลังการปรับปรุง ระยะทางลดลงเหลือ13.938 กิโลเมตร ลดระยะทางได้ 1.807 กิโลเมตรหรือลดลงคิดเป็น 11.48%

รูปที่ 4.3 เส้นทางการจัดเก็บขยะก่อนปรับปรุงของ เขตที่ 6

รูปที่ 4.4 เส้นทางการจัดเก็บขยะหลังปรับปรุงของ เขตที่ 6

ตารางที่ 4.2 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนและหลังปรับปรุง เขตที่ 6

เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนการปรับปรุง	เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะหลังการปรับปรุง
เขต 6:0-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-212-213-214-215-216-217-218-219-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260-262-263-264-265-266-267-268-269-270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283-284-0	**เขต 6**:0-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-201-232-233-234-255-254-253-251-252-250-249-248-247-246-245-244-243-242-241-240-239-238-237-235-236-256-257-258-259-260-261-262-263-264-265-266-269-270-272-267-268-271-273-274-276-277-278-279-280-281-282-283-284-275-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-0
ระยะทาง 15.745 กิโลเมตร	**ระยะทาง** 13.938 กิโลเมตร
	ระยะทางลดลง 1.807 กิโลเมตรหรือ 11.48%

4.1.3 การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของเขตที่ 7

เขตที่ 7 มีจุดเก็บขยะรวมทั้งสิ้นทั้งหมด 135 จุด ซึ่งโปรแกรมLINGO ไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดที่พัฒนาขึ้นหาคำตอบโดยใช้หลักการการเพิ่มข้อกำหนดที่กำจัดเส้นทางย่อยและเขียนด้วยภาษาC++ใช้ในการคำนวณ ผลการจัดเส้นทางของเขตที่ 7 เปรียบเทียบกับเส้นทางเดิม แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

ผลการจัดเส้นทางการเก็บขยะสามารถลดระยะทางจากเดิม 14.857 กิโลเมตรเหลือ 13.308 กิโลเมตร ลดลงได้ 1.549 กิโลเมตรต่อวันหรือคิดเป็น 10.43%

รูปที่ 4.5 เส้นทางการจัดเก็บขยะก่อนปรับปรุงของ เขตที่ 7

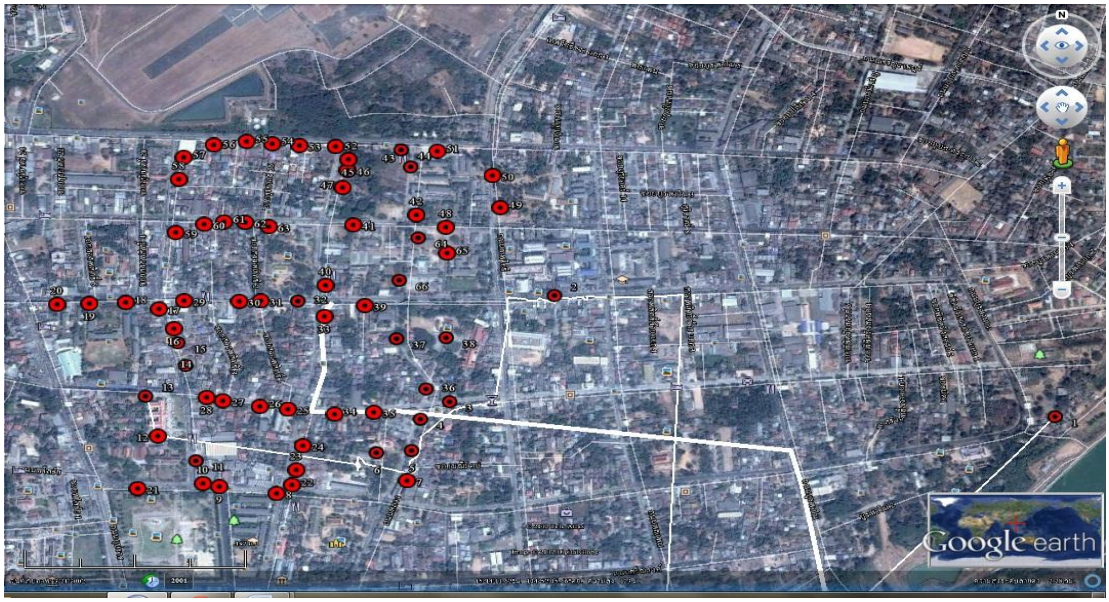
รูปที่ 4.6 เส้นทางและจุดการจัดเก็บขยะหลังปรับปรุง เขตที่ 7

ตารางที่ 4.3 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนและหลังปรับปรุง เขตที่ 7

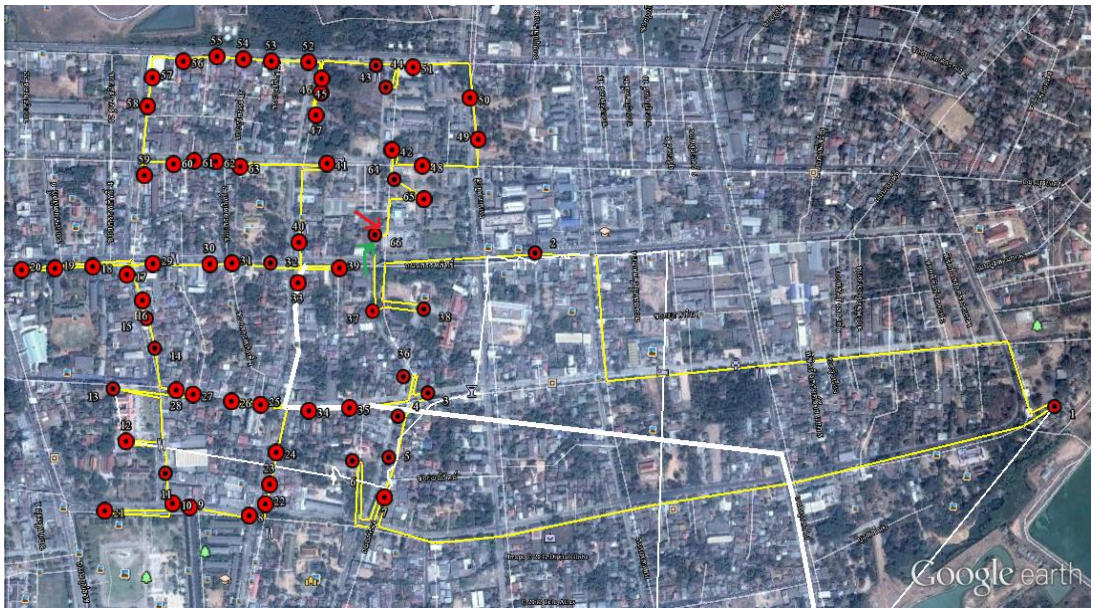
เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนการปรับปรุง	เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะหลังการปรับปรุง
เ ข ต 7:0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120-121-123-124-125-126-127-128-129-130-131-132-133-134-135-0	**เ ข ต 7**:0-33-34-35-36-37-38-42-39-40-41-27-28-29-30-31-32-21-20-19-17-18-22-26-23-25-24-47-46-45-43-44-48-49-50-51-52-53-54-56-55-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-75-76-77-78-79-80-57-81-129-130-131-132-133-134-135-120-119-118-117-116-115-114-113-112-111-110-109-74-72-73-108-107-106-105-104-103-102-101-100-99-98-97-122-96-123-124-125-126-127-86-128-82-83-84-85-87-88-89-90-91-92-93-94-95-16-15-14-13-1-2-3-4-121-5-6-7-8-9-10-11-12-0
ระยะทาง 14.857 กิโลเมตร	**ระยะทาง** 13.308 กิโลเมตร
	ระยะทางลดลง 1.549 กิโลเมตรหรือ 10.43%

4.1.4 การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของเขตที่ 8

หลังจากรวมจุดเก็บขยะที่อยู่ใกล้กันเข้าด้วยกันกลายเป็นจุดเดียวกันแล้ว เขตที่ 8 จะมีจุดเก็บขยะรวมทั้งสิ้น 66 จุด ผู้วิจัยใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่เขียนด้วยภาษาC++ หาคำตอบจัดเส้นทางเหมือนกับเขตที่ 7 ผลของการจัดเส้นทางใหม่พบว่า เส้นทางเก็บรวบรวมขยะที่ได้มีระยะทางรวม 10.110 กิโลเมตร โดยสามารถลดระยะทางจากเดิมคือ 12.691 กิโลเมตร ระยะทางลดลง 2.581 กิโลเมตรหรือคิดเป็น 20.34% รูปที่ 4.7-4.8 แสดงการเปรียบเทียบเส้นทางการเก็บขยะก่อนและหลังการปรับปรุง



รูปที่ 4.7 เส้นทางการจัดเก็บขยะก่อนปรับปรุงของ เขตที่ 8



รูปที่ 4.8 เส้นทางการจัดเก็บขยะหลังปรับปรุงของ เขตที่ 8

ตารางที่ 4.4 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนและหลังปรับปรุง เขตที่ 8

เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะก่อนการปรับปรุง	เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะหลังการปรับปรุง
เขต 8:0-136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200-0	**เ ข ต 8**:0-136-182-183-184-185-177-178-176-198-199-200-173-171-172-170-169-168-155-145-144-143-142-156-157-158-159-160-161-162-146-147-148-149-150-151-152-153-154-163-164-165-166-174-167-197-196-195-194-193-192-191-190-189-188-187-186-179-180-181-175-137-138-139-140-141-0
ระยะทาง 12.691 กิโลเมตร	**ระยะทาง** 10.110 กิโลเมตร
	ระยะทางลดลง 2.581 กิโลเมตรหรือ 20.34%

4.2 การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณามอบหมายจุดเก็บขยะใหม่ทั้งหมดให้กับรถแต่ละคัน

การจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณามอบหมายจุดเก็บขยะใหม่ทั้งหมดให้กับรถแต่ละคันจะเป็นการจัดเส้นทางการเก็บขยะให้รถทุกคันใหม่ทั้งหมด โดยพิจารณาจุดเก็บขยะทั้ง 358 จุดพร้อมๆกันในการมอบหมายให้กับรถเก็บรวบรวมขยะแต่ละคัน ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางที่ดีกว่าหรือกล่าวอีกความหมายหนึ่งก็คือให้ระยะทางการเก็บรวบรวมขยะรวมที่สั้นกว่าการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณาจุดเก็บขยะเดิมของรถแต่ละคันสำหรับการจัดเส้นทางของรถคันนั้นๆ ทั้งนี้เนื่องจากการพิจารณาจุดเก็บขยะใหม่ทั้งหมดจะมีความยืดหยุ่นกว่าและสามารถมอบหมายจุดเก็บขยะให้กับรถเก็บรวบรวมขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเพราะไม่มีการกำหนดที่แน่นอนว่าจุดเก็บขยะที่พิจารณาจะต้องถูกมอบหมายให้กับรถคันใด

สำหรับการจัดเส้นทางในกรณีนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีที่พัฒนาขึ้น คือ GRASP with VLSN มาจัดเส้นทางใหม่ทั้งหมดให้กับรถเก็บรวบรวมขยะแต่ละคัน ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีนี้ ซึ่งก็คือ ค่าจำนวนรอบสูงสุดของการหาคำตอบ M และค่า α หรือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าDRต่ำสุด นั้น ผู้วิจัยจะทำการทดลองหาค่า α ที่เหมาะสม โดยการปรับเปลี่ยนค่า α ครั้งละ10% เริ่มจาก 10% จนถึง 90%ส่วนค่า M จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 กล่าวคือ ในกระบวนการหาคำตอบ ให้จัดเส้นทางซ้ำ 10 รอบ แล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดเป็นคำตอบของวิธี GRASP with VLSN หลังจากได้ค่า α ที่เหมาะสม

แล้ว ผู้วิจัยจะใช้ค่า α นั้น หาคำตอบซ้ำอีก 8 ครั้ง ค่าระยะทางการเก็บขยะรวมของรถทั้งสี่คันสำหรับค่า α ต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.5 ค่าระยะทางการเก็บขยะรวมของรถทั้งสี่คันสำหรับค่า α ต่างๆ และ M=10

ค่า α (%)	**10**	**20**	**20**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	50.893	50.680	52.870	51.980	49.588	49.157	51.534	52.903	52.341

จากตารางที่ 4.5 จะได้ว่าเมื่อค่า α เท่ากับ 60% วิธี GRASP with VLSN สร้างเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุด คือ 49.157 กิโลเมตร โดยใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 17242 วินาทีหรือ 4.78 ชั่วโมง เนื่องจากกระบวนการหาคำตอบด้วยวิธีนี้ ใช้เวลาค่อนข้างนานในแต่ละครั้ง ผู้วิจัยจึงจะยังคงใช้ค่า M เท่ากับ 10 ในการทดลองหาคำตอบอีก 8 ครั้งที่ใช้ค่า α เท่ากับ 60% ตารางที่ 4.6 แสดงค่าระยะทางการเก็บรวบรวมขยะรวมของรถทั้งสี่คัน ที่ได้จากวิธี GRASP with VLSN เมื่อใช้ค่า α เท่ากับ 60%และ M เท่ากับ 10

ตารางที่ 4.6 ค่าระยะทางการเก็บขยะรวมของรถทั้งสี่คันสำหรับค่า α = 60% และ M=10

ครั้งที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	49.157	50.211	51.884	50.634	52.695	51.949	52.817	52.949

จากตารางที่ 4.6 ผลการทดลองทั้งหมดพบว่า วิธี GRASP with VLSN เมื่อใช้ค่า α = 60% และ M=10 ให้คำตอบที่ดีที่สุดและมีระยะทางการเก็บรวบรวมขยะรวมทั้งสี่เส้นทางเท่ากับ 49.157 กิโลเมตร เส้นทาง ระยะทางการเก็บรวบรวมขยะและปริมาณขยะที่จะเก็บของรถแต่ละคันแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.9-4.12 ซึ่งแสดงเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของทั้งสี่เส้นทางที่ได้จากวิธี GRASP with VLSN

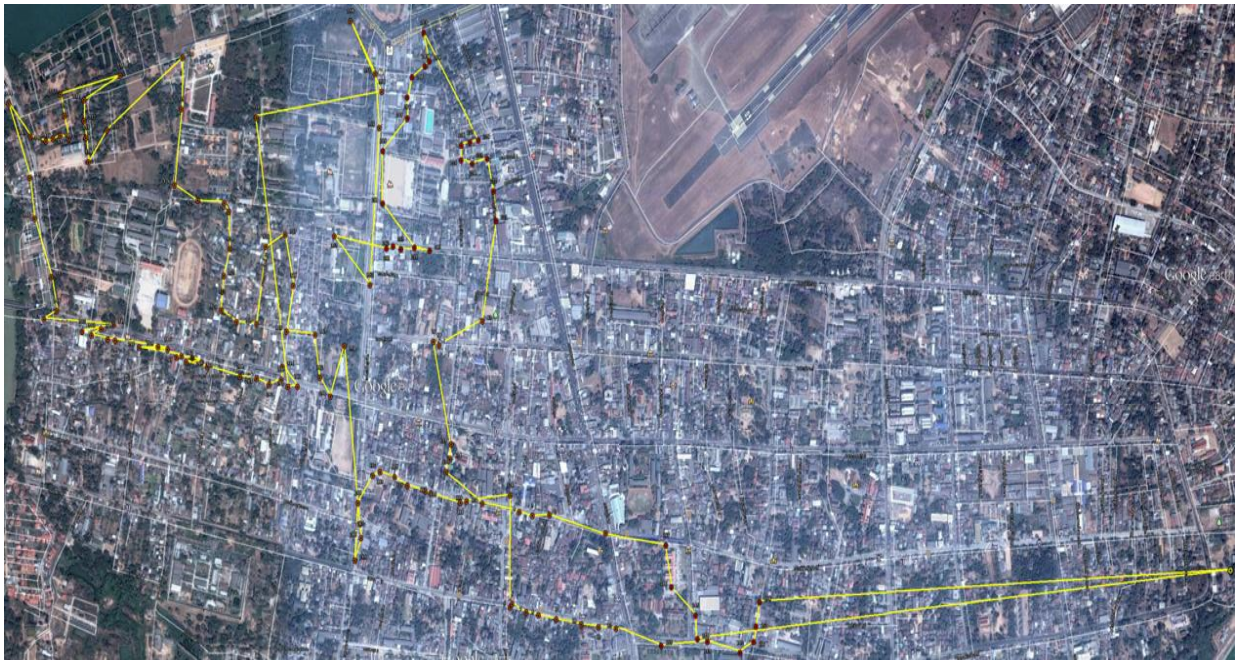
ตารางที่ 4.7 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถทั้งสี่คันสำหรับค่า α = 60% และ M=10

เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
เส้นทางที่ 1: 0-138-139-141-140-169-168-159-160-161-162-148-149-150-151-32-31-30-29-28-40-39-41-27-26-23-25-47-24-93-94-92-91-90-89-127-126-125-88-87-86-85-84-50-49-51-220-219-52-53-218-217-216-54-57-129-130-82-128-81-56-55-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-77-78-76-75-72-351-73-74-110-111-109-289-108-107-106-105-104-103-102-101-132-131-100-99-98-97-123-124-122-96-95-15-13-14-16-17-154-18-19-153-22-21-20-152-163-164-165-166-200-136-0	11.712	5,647.8
เส้นทางที่ 2: 0-144-145-146-147-1-2-3-4-120-135-134-133-79-80-83-221-222-223-224-225-226-227-228-203-204-205-206-207-208-209-210-214-215-213-212-211-353-352-355-357-358-356-354-291-311-314-310-292-293-294-295-296-309-308-297-307-298-306-305-299-300-301-304-302-349-303-348-347-346-345-344-343-342-341-340-339-338-337-336-331-332-333-334-335-330-329-328-327-326-325-324-323-322-321-320-319-318-317-316-315-313-312-290-350-287-286-285-288-112-113-114-115-116-117-118-119-121-5-6-7-8-9-10-11-12-155-143-142-156-157-158-0	19.516	5,996.9

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถทั้งสี่คันสำหรับค่า α = 60% และ M=10

เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ปริมาณขยะ (กิโลกรัม)
เส้นทางที่ 3: 0-183-184-185-177-178-180-181-179-186-187-188-189-190-44-201-231-230-229-202-272-267-268-271-273-276-277-278-279-280-281-282-283-284-275-274-263-264-265-266-270-269-261-262-260-259-258-257-256-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-252-251-253-254-255-234-235-233-232-48-46-45-43-42-38-191-37-36-192-35-193-34-33-194-195-196-197-175-176-182-198-199-0	13.792	5,774.3
เส้นทางที่ 4: 0-137-170-172-171-173-174-167-0	4.137	1,130.9
รวม	**49.157**	**18,549.9**

รูปที่ 4.9 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะเส้นทางที่ 1 ที่จากวิธีGRASP with VLSN



รูปที่ 4.10 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะเส้นทางที่ 2 ที่จากวิธีGRASP with VLSN

รูปที่ 4.11 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะเส้นทางที่ 3 ที่จากวิธีGRASP with VLSN

รูปที่ 4.12 เส้นทางการเก็บรวบรวมขยะเส้นทางที่ 4 ที่จากวิธีGRASP with VLSN

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

ในบทสุดท้ายนี้เป็นการสรุปผลการวิจัยการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของเขตที่เลือกศึกษาด้วยวิธีฮิวรีสติกส์ที่พัฒนาขึ้น นอกจากนี้ยังกล่าวถึงปัญหาและอุปสรรคต่างๆในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยยังได้เสนอแนวทางการทำวิจัยในอนาคตเพื่อให้ผู้ที่สนใจปัญหาลักษณะเดียวกันได้ศึกษาเพิ่มเติม

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถเก็บรวบรวมขยะในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี โดยเลือกเขตที่ 2 สำหรับการทำวิจัย ซึ่งมีเขตย่อยอยู่ 4 เขต คือเขตย่อยที่ 5 6 7 และ 8 ในแต่ละเขตย่อย มีรถเก็บรวบรวมขยะหนึ่งคันรับผิดชอบเก็บรวบรวมขยะแล้วนำไปทิ้งที่ศูนย์ 11 ไร่ ซึ่งเป็นแหล่งกำจัดขยะ รถแต่ละคันสามารถขนขยะได้น้ำหนักสูงสุดไม่เกิน 6 ตัน ใน 4 เขตนี้ มีจุดเก็บขยะรวมทั้งสิ้น 358 จุด แต่ละจุดมีปริมาณขยะในแต่ละวันที่แตกต่างกันซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณขยะใน5วันมาพิจารณาในการจัดเส้นทาง ผู้วิจัยได้จัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะใหม่ให้กับรถทั้งสี่คัน โดยเสนอการจัดเส้นทางสองแนวทาง คือ แนวทางที่ 1 จัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณาจุดเก็บขยะเดิมของรถแต่ละคัน และแนวทางที่ 2 จัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณามอบหมายจุดเก็บขยะใหม่ทั้งหมดให้กับรถแต่ละคัน

สำหรับแนวทางที่ 1 นั้น สามารถพิจารณาโจทย์ปัญหาเป็นปัญหาแบบTSP 4 ปัญหาแยกอิสระจากกัน ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Lingo และวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดที่พัฒนาขึ้นโดยใช้หลักการการเพิ่มข้อกำหนดที่กำจัดเส้นทางย่อยโดยเขียนด้วยภาษา C++ จัดเส้นทางของรถเก็บรวบรวมขยะที่มีจุดเก็บขยะเดิม ผลปรากฏว่าสามารถลดระยะทางรวมจากเดิม 62.246 กิโลเมตร เหลือ 53.449 กิโลเมตร ระยะทางลดลง 8.797 กิโลเมตร หรือลดลงจากเดิมคิดเป็น 14.13% ส่วนการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของแนวทางที่ 2 นั้น สามารถพิจารณาโจทย์ปัญหาเป็นแบบVPR ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีฮิวรีสติกส์ที่มีชื่อว่า GRASP with VLSN ในการกำหนดจุดรับผิดชอบเก็บขยะใหม่ของรถเก็บรวบรวมขยะแต่ละคัน พร้อมทั้งจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของรถทั้งสี่คันที่ทำให้ระยะทางรวมของการเก็บรวบรวมขยะสั้นลง ผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีดังกล่าว ได้เส้นทางการเก็บขยะใหม่ของรถแต่ละคันที่มีระยะทางรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 49.157 กิโลเมตร ระยะทางลดลงจากเดิม 13.089 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 21.03% จะเห็นได้ว่าวิธี GRASP with VLSN เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาประเภทอื่นๆได้ ตารางที่5.1 แสดงการเปรียบเทียบระยะทางรวมของแนวทางแก้ปัญหาสอง

แนวทางกับวิธีการปัจจุบัน ขั้นตอนหลักของการหาคำตอบของวิธี GRASP with VLSN สามารถอธิบายและสรุปได้ดังแผนผังที่แสดงไว้ในรูป 5.1

ตารางที่5.1 การเปรียบเทียบระยะทางรวมของแนวทางแก้ปัญหาสองแนวทางกับวิธีการปัจจุบัน

วิธีการจัดเส้นทาง	**ระยะทางรวม (กิโลเมตร)**	**ระยะทางลดลง (กิโลเมตร)**	**เปอร์เซนต์ลดลง**
วิธีการปัจจุบัน	62.246	-	-
แนวทางที่1 ใช้โปรแกรมLingo และวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด แก้ปัญหาTSP	53.449	8.797	14.13%
แนวทางที่2 ใช้GRASP with VLSN แก้ปัญหาVRP	49.157	13.089	21.03%

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในการทำวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ประสบปัญหาและอุปสรรคบางประการ แต่ก็สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาต่างๆผ่านมาได้ด้วยดี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ มีความจำเป็นต้องดำเนินการในช่วงเวลา 04.00 น. – 8.00 น. เนื่องจากรถเก็บรวบรวมขยะจะออกทำงานในช่วงเวลาดังกล่าว ผู้ช่วยวิจัยต้องใช้ความระมัดระวังอันตรายเป็นอย่างมากในการเดินทางเพื่อเก็บข้อมูลเพราะถนนหลายเส้นทางเป็นถนนที่เปลี่ยวไม่มีแสงสว่างเพียงพอ

5.2.2 การเก็บข้อมูลตำแหน่งของจุดเก็บขยะต่างๆ ต้องใช้เครื่องGPS ซึ่งผู้วิจัยมีอยู่เพียงเครื่องเดียวแต่มีเส้นการการเก็บขยะถึงสี่เส้นทางที่ต้องดำเนินการเก็บข้อมูล ทำให้การเก็บข้อมูลดังกล่าวเกิดความล่าช้า นอกจากนั้นแล้ว เครื่องGPS ยังเกิดปัญหาด้านโปรแกรมซอฟแวร์ ต้องเสียเวลาแก้ไขอยู่นานพอควร ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากยิ่งขึ้น

5.2.3 การหาระยะทางระหว่างตำแหน่งของจุดเก็บขยะต่างๆกับศูนย์11ไร่และการสร้างตารางเมตริกซ์ของระยะทาง ต้องใช้เวลานานและต้องใช้ความละเอียดสูงมาก เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในตัวเลขระยะทางซึ่งจะส่งผลต่อการหาคำตอบ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนจุดเก็บขยะมีมากถึง 358 จุด การวัดระยะทางระหว่างจุดบางจุดจากการลากเส้นใน google earth ต้องทำซ้ำหลายรอบเพื่อความแม่นยำ ส่วนการสร้างตารางเมตริกซ์นั้น ใช้เวลานานหลายสัปดาห์และต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของตัวเลขมากถึง 128,881 ตัว

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการทำวิจัยในอนาคต

ปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่ศึกษานี้ มีประเด็นต่างๆที่น่าสนใจซึ่งสามารถนำมาพิจารณาเพื่อพัฒนาเป็นโจทย์งานวิจัยใหม่ได้ ดังนี้

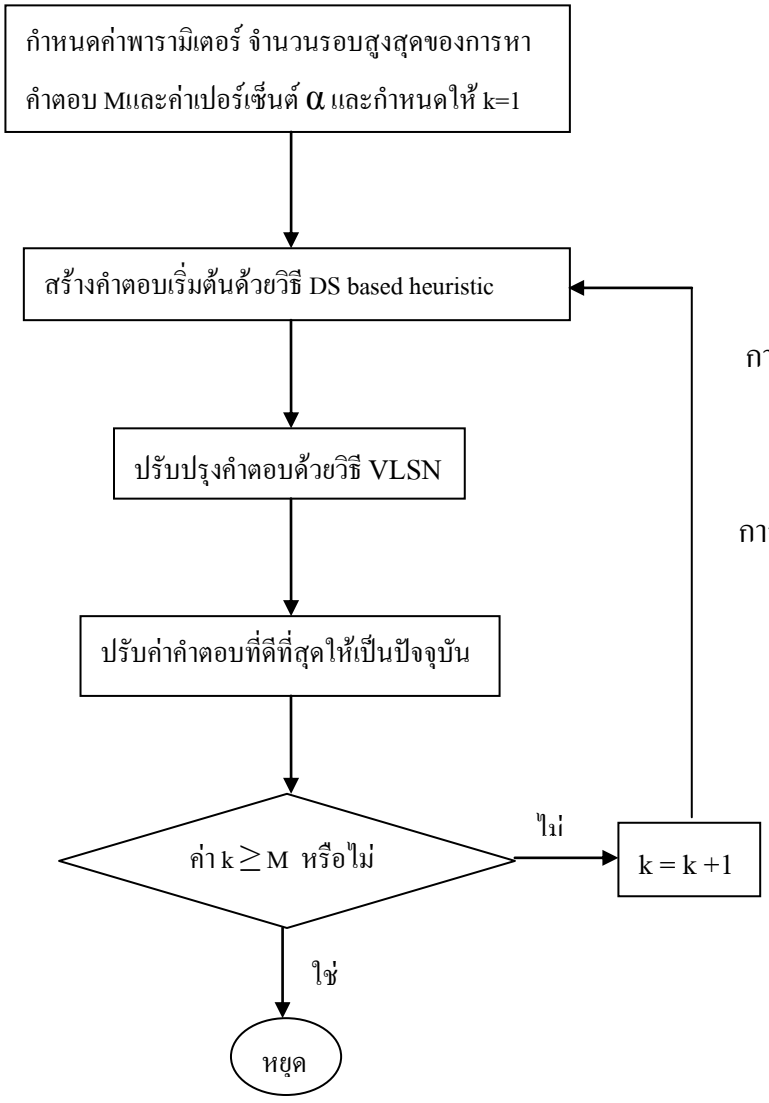
5.3.1 งานวิจัยที่จะทำในอนาคตอาจมีการนำข้อจำกัดด้านจำนวนพนักงานเก็บรวบรวมขยะมาพิจารณา เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วจำนวนพนักงานเก็บรวบรวมขยะควรขึ้นอยู่กับจำนวนจุดเก็บขยะและปริมาณขยะในเส้นทางที่พนักงานรับผิดชอบ

5.3.2 ในงานวิจัยนี้พิจารณาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะเฉพาะเขตเก็บขยะจำนวน 4 เขตย่อย หากมีการพิจารณาเขตเก็บขยะทั้งหมด 16 เขตย่อยพร้อมกันเพื่อจัดเส้นทางใหม่ทั้งหมด จะทำให้ได้ระยะทางรวมในการเก็บรวบรวมขยะสั้นลงกว่าการพิจารณาเขตเก็บขยะเพียง 4 เขตย่อย

5.3.3 วิธี GRASP with VLSN ยังใช้เวลาค่อนข้างนาน โดยเฉพาะในขั้นตอนระยะที่สองของการปรับปรุงคำตอบ ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่การค้นหาคำตอบมีขนาดใหญ่มาก ดังนั้นอาจทำการลดขนาดพื้นที่การค้นหาคำตอบและเพิ่มจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบแทนเพื่อลดระยะเวลาการหาคำตอบโดยรวมลง

5.3.4 นอกเหนือจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธี GRASP with VLSN แล้ว ผู้วิจัยสามารถพัฒนาวิธีการหาคำตอบใหม่ที่ประยุกต์จากวิธีเมต้าฮิวริสติกส์อื่น เช่น วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony) วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) เป็นต้น

5.3.5 ปัจจุบันจุดเก็บขยะแต่ละจุดไม่มีการแยกประเภทของขยะ การจัดการขยะจึงเกิดความยากลำบาก ดังนั้นควรมีศึกษาแนวทางการแยกประเภทของขยะก่อนขนไปกำจัด



รูปที่ 5.1 แผนผังขั้นตอนวิธี GRASP with VLSN