

การออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนจัดรถรับขยะรีไซเคิล  
Support System for the Routing of Recycled Waste Collection Vehicle

ธิดา พงศ์สุวรรณ\* และมานิช โลหะเตพานนท์\*\*  
Tida Pongsutam\* and Manoj Laohatapanont\*\*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาของธุรกิจรับซื้อขยะรีไซเคิล พบว่าการตอบรับและวางแผนจัดรถรับขยะจากผู้เสนอขายขยะใช้วิธีการคำนวณของผู้ตัดสินใจเป็นหลัก ภายใต้อุปสรรคหลายด้านประเภทของขยะรีไซเคิล ปริมาณรถมีจำกัด ขีดความสามารถในการบรรทุกและบรรจุแต่ละคันไม่เท่ากัน และบางจุดรับมีข้อจำกัดด้านเวลารับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบระบบสนับสนุนช่วยในการวางแผนจัดรถรับขยะรีไซเคิลด้วยเทคนิคหาค่าประหยัด (Saving Algorithm) ของ Clarke & Wright และเทคนิคกวาด (Sweep Approach) เพื่อให้ได้ระยะทางและน้ำหนักบรรทุก ปริมาตรบรรจุที่เหมาะสม ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการจัดเส้นทางรับหลัก (Master Route) เพื่อให้เป็นตารางรับขยะประจำสัปดาห์สำหรับจุดรับที่มีความถี่เสนอขายเป็นประจำหรือเรียกว่าผู้เสนอขายหลัก โดยวิธีหาค่าประหยัดและค่านิ่งข้อจำกัดลูกค้านี้เป็นสิ่งสำคัญ จากนั้นทำการออกแบบระบบสนับสนุนการจัดรถโดยใช้แนวคิดวิธีวิริสติกตามเทคนิคหาค่าประหยัด และเทคนิค Sweep

ผู้วิจัยทดสอบที่ออกแบบขึ้น ด้วยระบบที่เขียนโดยภาษา JAVA เชื่อมโยงฐานข้อมูลกับ Microsoft Excel 2003ระบบคำนวณหาเส้นทางหลังจากผู้ใช้ป้อนข้อมูลผู้เสนอขาย ผลลัพธ์การจัดเส้นทางจะนำมาวางแผนจัดรถรับขยะ ผลการออกแบบระบบเมื่อเปรียบเทียบกับตารางวางแผนแบบเดิม พบว่า ระบบสนับสนุนให้ระยะทางรวมสั้นกว่าร้อยละ 10.5 น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5 และปริมาตรบรรจุเพิ่มขึ้น ร้อยละ 7

คำสำคัญ : ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ, วิริสติกส์, วิธีหาค่าประหยัด, ระบบสนับสนุนการวางแผน, ขยะรีไซเคิล

\*นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา สาขาการจัดการ โลจิสติกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\*\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Abstract

From a case study of the problems in the recycled waste collection business, we found that the decision making in the routing of recycled waste collection vehicle depends on a person who is in charge of this task. However, this process involve many conditions, such as the varieties of the recycled waste, the fleet size and mix the capacity of vehicle, and the picked up time constraint, which cannot be fully optimized by only a person decision. The objective of this study is system designing to support to plan the routing of recycled waste collection vehicle by applying Saving Algorithm and Sweep Approach for optimal distance and truck utilization. From the problem mentioned, the research solution consist of 1) create the master route by applying Saving Method with the picked up time constraint and 2) design a support system to calculate optimal result by applying 2 heuristics method ; Saving Algorithm (Clarke & Wright,1964, 568-581) and Sweep Approach (Gillet & Mille, 1974, 340-349) is the support system written in JAVA and linked with database in Microsoft Excel 2003.

The system will show the feasible routes which is maximize saving with optimal truck utilization. We found that result can support to plan the routing of recycled waste collection vehicle better than using a simple decision making from a person which decrease 10.5% distance, increase weight truck utilization to 5% and, increase volume truck utilization to 7%

**Keywords :** The Vehicle Routing Problem, Heuristics, Saving Algorithm, Support System, Recycled Waste

### บทนำ

การรีไซเคิล เป็นการนำสิ่งที่ไม่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการกลับมาเป็นทรัพยากรนำกลับมาเป็นปัจจัยการผลิตอีกครั้ง ทำให้ธุรกิจลดการใช้ทรัพยากรใหม่ เกิดผลให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง แต่เนื่องจากปริมาณขยะที่เข้าสู่อุตสาหกรรมรีไซเคิลนั้น มีปริมาณ ไม่นั่นเอง ธุรกิจที่ทำหน้าที่รวบรวมขยะรีไซเคิลจึงประสบปัญหาการวางแผนภายใต้สถานะที่ไม่แน่นอน ผู้บริหารธุรกิจจึงอาศัยประสบการณ์ที่ผ่านมาและวิจารณ์ของตนเอง

เป็นหลักในการตัดสินใจรับซื้อขยะรีไซเคิลจากผู้เสนอขาย ปัญหาที่เกิดขึ้นของบริษัทตัวอย่างเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) ผู้วางแผนจะต้องตัดสินใจว่าจะให้รถบรรทุกคันใดไปให้บริการกับลูกค้ารายใด ต้องคำนึงถึงระยะทางรับระหว่างลูกค้าแล้ว บริษัทต้องคำนึงข้อจำกัดด้านการขนส่ง ข้อจำกัดการรับซื้อดังนี้

1. ข้อจำกัดพิคตบรรทุก ซึ่งพาหนะบรรทุกมีพิคตบรรทุกและบรรจุไม่เท่ากัน (Fleet Size)
2. ข้อจำกัดเนื่องจากขยะมีหลากหลายประเภท มีขนาดและน้ำหนักไม่เท่ากัน ดังนั้นนอกเสียจากจะคำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาตรบรรจุอีกด้วย
3. ข้อจำกัดด้านเวลาในการรับ (Time Window) ลูกค้านำรายเป็นหน่วยงานราชการ จึงสามารถไปรับขยะได้เฉพาะในเวลาราชการเท่านั้น หรือลูกค้าบางรายกำหนดให้รับได้เฉพาะช่วงก่อน 12.00 เป็นต้น และลูกค้าบางรายก็สามารถเข้ารับขยะได้ตลอดทั้งวัน เป็นต้น

เมื่อปัญหาที่มีความซับซ้อน ตัวแปรในการตัดสินใจมีมาก ผู้วางแผนอาจไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ วิธีในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจ มี 2 ประเภท คือ 1) วิธีหาค่าที่ดีที่สุด (Exact Optimization) ฦฐกาญจัน โปธิสัมฤทธิ์ (2553, 544-551) ได้เสนองานวิจัยการแก้ปัญหาลักษณะนี้ โดยเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาการจัดรถไปรับชิ้นส่วนจากโรงงานผู้ผลิตมายังบริษัทพบว่าใช้เวลาในการแก้ปัญหาถึง 10 ชั่วโมงสำหรับขนาดปัญหาเพียง 10 บริษัท จึงไม่เหมาะสมในการนำมาแก้ปัญหาของบริษัทตัวอย่างในงานวิจัยนี้ แม้คำตอบที่ได้จะเป็นค่าที่ดีที่สุดก็ตาม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ 2) วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) ค่าที่ได้จะใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาหาคำตอบที่สั้นกว่ามาก ดังผลวิจัยของ Golden, Magnani & Nguyen

(1977, 113-148) ซึ่งนำเสนอโครงสร้างของข้อมูลที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการทำงานจริง ด้วยวิธีการของ Saving Algorithm การปรับปรุงและขยายการใช้งานของ Saving Algorithm ถูกนำมาใช้กับการแก้ปัญหาที่มีลูกค้าตั้งแต่ 100 รายขึ้นไป ภายในเวลาไม่กี่นาที ตัวอย่างเช่น การแก้ปัญหาที่มีลูกค้าจำนวน 600 ราย ใช้เวลาเพียง 20 วินาที บนเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM370/168 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบวิธีการของ Saving Algorithm กับวิธีการของ Sweep และ Tyagi's Algorithm ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Multiple-Depot โดยยกตัวอย่างของปัญหาที่มีลูกค้าจำนวน 600 รายกับคลังสินค้าจำนวน 2 คลังซึ่งเป็นอิสระแก่กัน ก็สามารถแก้ปัญหาได้ภายในเวลา 55 วินาที บนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นเดียวกัน ดังนั้นวิธีฮิวริสติกส์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับคามนิยม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนจัดรถรับขยะรีไซเคิลด้วยเทคนิคหาค่าประหยัด (Saving Algorithm) ของ Clarke & Wright และเทคนิคกวาด (Sweep Approach) เพื่อให้ได้ระยะทาง น้ำหนักบรรทุก และปริมาตรบรรจุเหมาะสม

### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบเพื่อสนับสนุนการวางแผนจัดรถรับซื้อขยะรีไซเคิล หลังจากรวบรวมข้อมูลของบริษัทและจัดทำข้อมูลเพื่อการคำนวณ ซึ่งข้อมูลประกอบด้วย

(1) ข้อมูลลูกค้า และข้อจำกัดเวลารับ จาก การสัมภาษณ์และรวบรวมบันทึก (ตารางที่ 1 ภาคผนวก) พิกัดที่ตั้งของลูกค้า (ภาพที่ 1 ภาคผนวก)

(2) เมตริกซ์ระยะทางระหว่างจุดรับ 42 จุด (ตารางที่ 2 ภาคผนวก) โดยโปรแกรม Google Earth

(3) ข้อมูลการแปลงอัตราน้ำหนัก เป็น ปริมาตรและจำนวนเป็นปริมาตรของขยะรีไซเคิล แต่ละประเภท

(4) ข้อมูลรถ ได้แก่ พิกัดบรรทุก อัตรา ความจุ รหัสรถ ดังตารางที่ 3 ตารางที่ 3 ข้อมูลรถบรรทุก

รหัสรถ	ประเภทรถ	พิกัดบรรทุก	พิกัดบรรจุ
T-01	4 ล้อ เล็ก	1,500 กก.	6.3 ลบ.ม.
T-02	4 ล้อ ใหญ่	3,000 กก.	13.7 ลบ.ม.

ขั้นตอนงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

### 1. ส่วนการประยุกต์เทคนิคจัดเส้นทาง

ส่วนประยุกต์เทคนิคจัดเส้นทาง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

#### 1.1 สร้างเส้นทางหลักรับขยะ (Master Route)

การสร้างเส้นทางหลัก จะพิจารณาจุดรับที่มีความถี่ในการเสนอขายขยะรับ 4 ครั้งต่อเดือน หรือมากกว่า พบว่ามีลูกค้าจำนวน 12 ราย เพื่อนำไปจัดเป็นตารางเส้นทางการรับขยะรายสัปดาห์

ขั้นที่ 1 เลือกจุดรับแรกของเส้นทาง โดยพิจารณาจากข้อจำกัดด้านเวลาที่รับ

ขั้นที่ 2 หาจุดของแต่ละลูกค้าในข้อ 1 ที่มีค่าประหยัด Saving มากที่สุด (ตารางที่ 4 ภาคผนวก)

ขั้นที่ 3 ลูกค้าที่เหลือจากข้อ 2 ให้ถือว่าคู่ใดมีค่า Saving มากก็ให้จัดเป็นเส้นทางใหม่

ตารางที่ 5 เส้นทางหลักรายสัปดาห์

Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Sat.	Sun.
	P10	P7	P4		P6	P8
	P3	P15	P1		P5	P9
			P12		P2	

### 1.2 ประยุกต์เส้นทางรับขยะโดยเทคนิค

#### ฮิวริสติกส์

##### 1.2.1 วิธีหาค่าประหยัด (Saving

Algorithm)

วิธีการหาค่าประหยัด Saving Algorithm (Clarke & Wright,1964, 568-581) มีหลักการพื้นฐาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับค่าประหยัด

คำนวณค่าประหยัด และเรียงลำดับค่าประหยัดจากค่าประหยัดมาก ไปค่าประหยัดน้อย ดังสมการ

$$S_{ij} = C_{Di} + C_{Dj} - C_{ij}$$

โดย  $C_{ij}$  เป็นระยะทางระหว่างลูกค้า  $i$  และลูกค้า  $j$

$D$  แทนสัญลักษณ์ของบริษัทกรณีศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 จัดจุดรับขยะชุดแรกลงเส้นทาง ระบบจะตรวจสอบหาจุดรับขยะที่ยังไม่ได้ถูกจัดรถรับและมีค่าประหยัคมากที่สุด เพื่อตรวจสอบน้ำหนักและปริมาตรของขยะเทียบกับพิกัดบรรทุกและบรรจุของรถ หากจุดรับไม่ทำให้เกิดเกินพิกัดของรถบรรทุกให้นำจุดรับทั้งสองเข้าอยู่ในรถ แต่หากจุดรับเกินพิกัดของรถบรรทุกให้ปฏิเสธจุดทั้งสอง การเลือกใช้รถ ระบบจะสุ่มใช้รถที่สามารถบรรทุกได้

ขั้นตอนที่ 3 การจัดจุดรับลำดับถัดไป

ระบบจะหาค่าประหยัคที่มีค่ามากที่สุดรองลงมา โดยจุดรับนั้นต้องมีจุดรับใดจุดรับหนึ่งเป็นปลายของเส้นทางที่ได้จัดไว้ก่อนแล้ว โดยที่ปลายอีกข้างหนึ่งเป็นจุดรับใหม่ที่ยังไม่ถูกจัดลงเส้นทาง และตรวจสอบจุดรับที่จะนำเข้ามาในเรื่องข้อจำกัดของพิกัดบรรทุกหรือบรรจุของรถ หากจุดรับไม่ทำให้เกิดเกินพิกัดบรรทุกหรือบรรจุ ก็เพิ่มจุดรับนั้นเข้ายังเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 4 การจัดจุดรับลำดับที่เหลือ

ปฏิบัติตามขั้นตอน 3 ต่อไปจนกระทั่งถึงขีดจำกัดในการรับ จึงเปลี่ยนรถคันใหม่เข้าแทน

ขั้นตอนที่ 5 ระบบรายงานผล

ระบบทดสอบประมวลผลตามขั้นตอน 1-4 จำนวน 50 ครั้ง และรายงานผล 5 ครั้งที่ให้ค่าประหยัครวมสูงสุด

1.2.2 การประยุกต์เทคนิคกวาด (Sweep Method) มีหลักการพื้นฐาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กวาดจุดที่ระบุเป็นจุดแรกใน Master Route ระบบจะตรวจสอบความสามารถ

ในการกวาดทิศทางทวนเข็มและทิศทางย้อนเข็มีการเลือกใช้รถ จะสุ่มใช้รถที่ระบุให้บริการได้ในวันที่ตรงกับ Master Route วันนั้นๆ โดยไม่เกินพิกัดบรรทุกของรถ

ขั้นตอนที่ 2 กวาดข้อเสนอใน Master Route

ตรวจสอบจุดรับที่อยู่ใน Master Route ที่ยังไม่ถูกกวาด ระบบจะสุ่มกวาดในทิศทางใดทิศทางหนึ่งก่อน หากกวาดในทิศทางใดแล้วยังไม่เต็มคันรถ ระบบก็จะกวาดย้อนกลับ แต่หากเกินพิกัดรถหรือพบว่าไปกวาดจุดรับที่เป็น Master Route ในวันอื่นก็จะหยุดการกวาด การเลือกใช้รถระบบจะสุ่มใช้รถที่ระบุให้บริการได้ในวันที่ตรงกับ Master Route วันนั้นๆ โดยไม่เกินพิกัดบรรทุกของรถ

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากการกวาดเสร็จสิ้นระบบจะจัดลำดับการรับขยะในเส้นทาง โดยใช้เทคนิคหาค่าประหยัค

ขั้นตอนที่ 4 ระบบจะทดสอบประมวลผลเทคนิคกวาดตามขั้นตอน 1-3 จำนวน 50 ครั้ง และรายงานผล 5 ครั้งที่ให้ค่าประหยัครวมสูงสุด

### 1.3 การวางแผนจัดรถรับขยะ

การนำชุดข้อมูลทดลองคำนวณด้วยระบบสนับสนุนการวางแผนที่ได้ออกแบบขึ้น การรายงานผลจะแสดงผลการจัดเส้นทางโดยเทคนิคหาค่าประหยัค (Saving Algorithm) และเทคนิคกวาด (Sweep) พบว่าเมื่อผู้วิจัยนำชุดข้อมูลทั้งหมด ผลการประมวลผลผลลัพธ์โดยเทคนิคหาค่าประหยัค จะไม่คำนึงถึง Master Route ถือเป็น

จุดอ่อนของวิธีนี้ แต่ผลจากเทคนิค Sweep ซึ่งจะ รายงานผลโดยคำนึงถึง Master Route ดังนั้น ขั้นตอนการวางแผนจัดรถรับขยะ โดยระบบ สนับสนุนการวางแผน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าชุดข้อมูลข้อเสนอขาย ขยะและรถบรรทุกที่สามารถให้บริการได้ทั้งชุด ข้อมูล ประมวลผลการจัดเส้นทางด้วยระบบที่ ออกแบบ

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบผลการจัด เส้นทางแต่ละเทคนิค พิจารณาเส้นทางที่ให้ค่า ประหยัดมาก และไม่ขัดต่อข้อจำกัดด้าน Master Route จากผลการจัดเส้นทางทั้ง 2 เทคนิค

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาผลของการจัด เส้นทางโดยระบบสำหรับข้อเสนอที่ยังไม่ถูก นำมาวางแผนแล้วพบว่าระบบน่าจะสามารถจัด เส้นทางใหม่ได้ พิจารณาจากค่าประหยัด ระยะทาง และค่าการใช้ประโยชน์จากพิกัดบรรจุ ผู้ใช้งานจะทำการนำเข้าข้อมูลใหม่ โดยลบข้อมูล นำเข้าของข้อเสนอที่ได้ทำการวางแผนเส้นทางไว้ แล้ว ซึ่งประกอบด้วยปริมาณขยะและรถบรรทุกที่ ให้บริการในวันนั้นๆ

ขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำข้อ 3 จนกระทั่งระบบ ไม่สามารถจัดเส้นทางได้อีกแล้ว หากมีข้อเสนอ ขายค้าง ให้ยกไปคำนวณรวมกับชุดข้อมูล ถัดไป

## 2. โครงสร้างและกระบวนการของระบบ

โครงสร้างและกระบวนการของระบบ สนับสนุนการวางแผนแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ การออกแบบส่วนการจัดการฐานข้อมูล การ ออกแบบขั้นตอนการวิเคราะห์ การออกแบบส่วน รายงานผล

### 2.1 การออกแบบส่วนการจัดการ ฐานข้อมูล

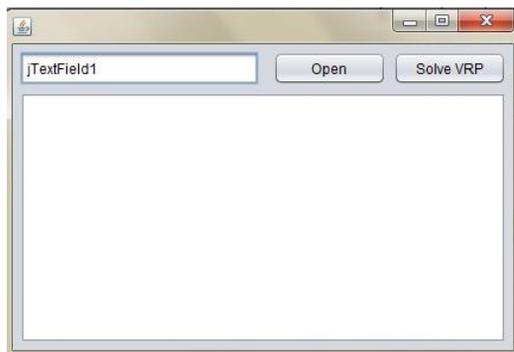
การออกแบบส่วนการจัดการ ฐานข้อมูลประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ การบันทึก ข้อมูลตั้งต้น และการกำหนดข้อมูลเพื่อการ พิจารณา ฐานข้อมูลที่ใช้ในวิจัยนี้เชื่อมต่อกับ Microsoft Excel มีรายละเอียดแต่ละส่วนงาน ดังนี้

- การบันทึกข้อมูลตั้งต้น ประกอบด้วย ข้อมูลระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างลูกค้า อ้างอิง จากโปรแกรม Google Earth อัตราส่วนความ สัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของขยะแต่ละประเภท

- การกำหนดข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วยลูกค้าที่อยู่ในเส้นทางหลัก (Master Route) ลูกค้าที่ระบุเป็นจุดรับแรก ข้อเสนอขายขยะของ ลูกค้าเป็นน้ำหนักของขยะของแต่ละประเภท และ รถบรรทุกที่สามารถให้บริการได้ในแต่ละวัน

## 2.2 การออกแบบขั้นตอนทำงานระบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ระบบง่ายต่อการใช้งาน ผู้ใช้เพียงอัปโหลดไฟล์เอกสารข้อมูลนำเข้า จากนั้นกดคำนวณ



ภาพที่ 2 หน้าจอการใช้งานระบบ

## 2.3 การออกแบบส่วนรายงานผล

ส่วนรายงานผล เป็นส่วนที่ระบบนำเสนอผลลัพธ์จากการคำนวณ โดยประยุกต์เทคนิค 2 เทคนิค คือ เทคนิคหาค่าประหัด และเทคนิค Sweep ระบบจะรายงานผลการจัดเส้นทาง 5 เส้นทางแรกในแต่ละเทคนิคที่ให้ค่าประหัดมากที่สุด แต่ละรายงานผลประกอบด้วยข้อมูลเส้นทางและรถรับ ระยะทางรวม ค่าประหัดน้ำหนักบรรทุก ปริมาตรบรรจุ และลูกค้าที่ยังไม่ถูกจัดเส้นทาง โดยรายงานในรูปแบบ ไฟล์เอกสาร Microsoft Excel

### ผลการวิจัย

หลังการออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนจัดรถรับซื้อขยะรีไซเคิล ได้มีการทดสอบความถูกต้องของระบบที่ได้ออกแบบขึ้นโดยทดสอบนำชุดข้อมูล 5 ชุด จากข้อเสนอขายขยะ

ช่วงเวลา 25 กุมภาพันธ์ – 30 มีนาคม 2555 และชุดข้อมูลรถบรรทุกที่สามารถให้บริการได้ในช่วงวันที่ 6 มีนาคม – 9 เมษายน 2555 รวมข้อเสนอ 128 ราย ที่ยวรถบรรทุกทั้งหมด 74 เทียบดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ชุดข้อมูลนำเข้า

ชุดข้อมูล	ข้อเสนอขายขยะ		รถบรรทุกที่ให้บริการ	
	ช่วงเวลา	ข้อเสนอ (จำนวน)	ช่วงเวลา	เที่ยวรถ (เที่ยว)
ชุดที่ 1	25 ก.พ. - 2 มี.ค. 55	29	6 มี.ค. - 12 มี.ค. 55	14
ชุดที่ 2	3 มี.ค. - 9 มี.ค. 55	27	13 มี.ค. - 19 มี.ค. 55	16
ชุดที่ 3	10 มี.ค. - 16 มี.ค. 55	21	20 มี.ค. - 26 มี.ค. 55	12
ชุดที่ 4	17 มี.ค. - 23 มี.ค. 55	20	27 มี.ค. - 2 เม.ย. 55	16
ชุดที่ 5	24 มี.ค. - 30 มี.ค. 55	31	3 เม.ย. - 9 เม.ย. 55	16

ชุดข้อมูลนำเข้าทั้ง 5 ชุด ทดลองจัดเส้นทางด้วยพนักงาน และทดลองคำนวณด้วยระบบสนับสนุนที่ออกแบบขึ้น ซึ่งเขียนโดยภาษา JAVA เชื่อมต่อฐานข้อมูลบน Microsoft Excel การทดสอบใช้คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ Toshiba รุ่น Satellite Pro C40 ที่มีหน่วยประมวลผล Intel® Core™ i3-2310M CPU@2.10GHz หน่วยความจำ 2 GB และใช้ซอฟต์แวร์ Java บน Microsoft Excel ในการสร้างระบบ และหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (ภาพที่ 3 ตัวอย่างรายงานผลการจัดเส้นทางด้วยพนักงาน ชุดข้อมูลที่ 4 ภาคผนวก, ภาพที่ 4 ตัวอย่างรายงานผลการจัดเส้นทางด้วยระบบ ชุดข้อมูลที่ 4 ภาคผนวก)

ผลทดสอบระบบ ได้ทดสอบโดยเปรียบเทียบจำนวนข้อเสนอขายที่ถูกจัดรถรับ จำนวนเที่ยวรับ ค่าประหัด ระยะทางรวม น้ำหนักบรรทุก และปริมาตรบรรจุของการ

คำนวณโดยพนักงาน และการคำนวณโดยระบบที่ ออกแบบขึ้นด้วยเทคนิค Saving และการคำนวณ โดยเทคนิค Sweep ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 7 ตารางที่ 7 เปรียบเทียบผลของข้อมูลนำเข้า

จุดข้อมูล ชื่อเสนอ	ข้อเสนอที่ได้รับการจัดเส้นทาง (ราย)			รถบรรทุกที่ขยงจริง (เที่ยว)		
	ระบบสนับสนุน	วิธีเดิม	อัตราการ เปลี่ยนแปลง	ระบบสนับสนุน	วิธีเดิม	อัตราการ เปลี่ยนแปลง
จุดที่ 1	25	25	0	11	13	-2
จุดที่ 2	31	31	0	12	16	-4
จุดที่ 3	21	21	0	10	10	0
จุดที่ 4	20	20	0	10	13	-3
จุดที่ 5	31	29	2	14	14	0
รวม	128	126	2	57	66	-9

จากตารางที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบ ผลของข้อมูลนำเข้าที่ได้จากการจัดเส้นทางโดย พนักงาน กับผลของการจัดเส้นทางที่ได้จากระบบ ที่ออกแบบขึ้น ระบบที่ออกแบบสามารถจัดรถรับ ขยะจากข้อเสนอขายขยะได้ทั้งหมดทุกรายจากผู้ เสนอขาย 128 ราย โดยใช้รถบรรทุกลดลง 9 เที่ยว คิดเป็น ร้อยละ 13.64

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลของค่าประหยัดและ ระยะทางรวม

จุดข้อมูล ชื่อเสนอขาย	ค่าประหยัด (กิโลเมตร)			ระยะทาง (กิโลเมตร)		
	ระบบสนับสนุน	วิธีเดิม	อัตราการ เปลี่ยนแปลง	ระบบสนับสนุน	วิธีเดิม	อัตราการ เปลี่ยนแปลง
จุดที่ 1	349.8	226.5	123.3	440.8	501.85	-61.05
จุดที่ 2	370.8	325.9	44.9	433.85	581.95	-148.1
จุดที่ 3	229.2	219.5	9.7	334.4	361.9	-27.5
จุดที่ 4	198.6	157.5	41.1	308.4	349.5	-41.1
จุดที่ 5	406.2	274.8	131.4	586.8	528.85	57.95
รวม	1554.6	1204.2	350.4	2104.25	2324.05	-219.8

จากตารางที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบ ผลของค่าประหยัดและระยะทางรวม ที่ได้จากการ จัดเส้นทางโดยพนักงาน กับผลของการจัดเส้นทาง ที่ได้จากระบบที่ออกแบบขึ้น ระบบที่ออกแบบ สามารถจัดรถรับขยะ โดยมีค่าประหยัดเพิ่มขึ้น 350.4 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 29.1 โดยใช้ ระยะทางรวมลดลง 219.8 กิโลเมตร คิดเป็น ร้อย ละ 10.5

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลของน้ำหนักบรรทุกและ ปริมาตรบรรจุ

จุดข้อมูล ชื่อเสนอขาย	ร้อยละการใช้ประโยชน์ ที่คิดบรรจุ			ร้อยละการใช้ประโยชน์ ที่คิดบรรจุ		
	ระบบสนับสนุน	วิธีเดิม	อัตราการ เปลี่ยนแปลง	ระบบสนับสนุน	วิธีเดิม	อัตราการ เปลี่ยนแปลง
จุดที่ 1	0.58	0.49	0.10	0.87	0.75	0.11
จุดที่ 2	0.55	0.52	0.03	0.85	0.83	0.01
จุดที่ 3	0.48	0.48	0.00	0.77	0.77	0.00
จุดที่ 4	0.48	0.43	0.05	0.76	0.68	0.08
จุดที่ 5	0.58	0.50	0.08	0.90	0.78	0.12
รวม	0.54	0.49	0.05	0.84	0.77	0.07

จากตารางที่ 9 แสดงผลการเปรียบเทียบ ผลของน้ำหนักบรรทุกและปริมาตรบรรจุ ที่ได้ จากการจัดเส้นทางโดยพนักงาน กับผลของการจัด เส้นทางที่ได้จากระบบที่ออกแบบขึ้น ระบบที่ ออกแบบสามารถจัดรถรับขยะ โดยมีน้ำหนัก บรรทุกเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5 และปริมาตรบรรจุที่ เพิ่มขึ้น ร้อยละ 7

## สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนจัดรถรับขยะรีไซเคิลด้วยเทคนิคหาค่าประหยัด (Saving Algorithm) และเทคนิคกวาด (Sweep Approach) เพื่อให้ได้ระยะทาง ปริมาตรบรรจุ และน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสม หลังทดสอบระบบที่ออกแบบด้วยข้อมูลข้อเสนอขาย จำนวน 5 ชุด ระหว่างวันที่ 25 กุมภาพันธ์ – 30 มีนาคม 2555 และรถบรรทุกที่สามารถให้บริการได้ระหว่างวันที่ 6 มีนาคม – 9 เมษายน 2555 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการจัดเส้นทางแบบเดิมนั้น ระบบสามารถสนับสนุนการจัดรถรับขยะด้วยระยะทางที่สั้นกว่า 219.8 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.5 และปริมาตรบรรจุเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 และน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ข้อเสนอแนะของวิจัยครั้งนี้ คือ ผลการวางแผนจัดรถรับขยะ ที่ได้จากการประมวลผล

## เอกสารอ้างอิง

- ณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์. (2553, กันยายน-ธันวาคม) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง-พัสดุคงคลัง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 20 (30), 544-551.
- ณกร อินทร์พุง. (2548). การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในอุตสาหกรรมขนส่งและลอจิสติกส์(1) .กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- สุธี ศรีเพ็ชรดำนนท์. (2536). แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Billy E. Gillett & Leland R. Miller. (1974, March-April). A Heuristic Algorithm For The Vehicle-Dispatch Problem. **Operation Research**. 22(2), 340-349.

ของระบบที่ออกแบบด้วยเทคนิคหาค่าประหยัด และเทคนิคกวาด ในงานวิจัยครั้งนี้ อาจไม่ใช่ผลดีที่สุด เป็นเพียงแนวทางช่วยสนับสนุนการวางแผนจัดรถรับขยะให้มีแบบแผนยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้การนำไปใช้จริงยังต้องคำนึงถึงสถานการณ์แวดล้อม เช่น การจราจร อีกด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. มาโนช โลหะเตพานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ป้าอา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนตลอดมา ตลอดจนขอขอบพระคุณบริษัทกรณีตัวอย่างที่เอื้อเฟื้อข้อมูล

- Bodin, L. & B. Golden. (1981, October). Classification in vehicle routing and scheduling. **Networks** 11(2), 97-108.
- Clarke, G. & J. Wright. (1964, August). Scheduling of Vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operation Research** 12(4), 568-581.
- Golden, B., T. Magnanti & H. Nguyen. (1977). Implementing Vehicle Routing Algorithms. **Networks**. 7, 113-148.
- Rosenkrantz, R, Stearns, R., & Lewis, P. (1977). An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. **Siam Journal of Computing** 6(3), 563-581.
- Solomon, M. (1987, March-April). Algorithms for Routing and Scheduling Problems with Time window Constraints. **Operation Research** 35(2), 254-265.

ภาคผนวก

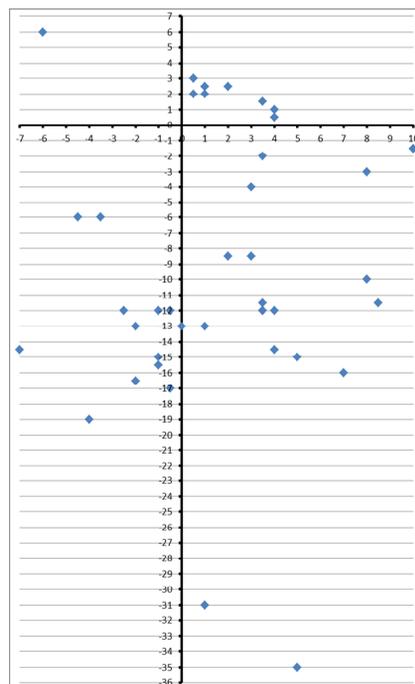
ตารางที่ 1 ลูกค้ำที่เสนอขายขยะและข้อจำกัดเวลารับ

ลูกค้ำ	ความถี่/เดือน (ครั้ง)	ข้อจำกัดในการ รับ	พิคค้ำที่ตั้ง	ลูกค้ำ	ความถี่/เดือน (ครั้ง)	ข้อจำกัดในการ รับ	พิคค้ำที่ตั้ง
P <sub>1</sub>	4	-	(3.5,-11.5)	P <sub>22</sub>	1	ก่อน 16.00	(-3.5,-6)
P <sub>2</sub>	4	-	(1,2)	P <sub>23</sub>	2	ก่อน 16.00	(8,-3)
P <sub>3</sub>	4	-	(2,-8.5)	P <sub>24</sub>	1	-	(0,-13)
P <sub>4</sub>	4	-	(3.5,-12)	P <sub>25</sub>	1	-	(-2.5,-12)
P <sub>5</sub>	4	-	(4,1)	P <sub>26</sub>	1	-	(5,-15)
P <sub>6</sub>	4	-	(3.5,-2)	P <sub>27</sub>	1	-	(0.5,2)
P <sub>7</sub>	4	ก่อน 10.00	(-2,-13)	P <sub>28</sub>	1	ก่อน 15.00	(1,-31)
P <sub>8</sub>	4	ก่อน 10.00	(8,-10)	P <sub>29</sub>	1	ก่อน 16.00	(-1,-12)
P <sub>9</sub>	4	ก่อน 18.00	(8.5,-11.5)	P <sub>30</sub>	1	-	(-7,-14.5)
P <sub>10</sub>	4	ก่อน 10.00	(1,-13)	P <sub>31</sub>	2	-	(7,-16)
P <sub>11</sub>	2	ก่อน 18.00	(2,2.5)	P <sub>32</sub>	1	-	(4,0.5)
P <sub>12</sub>	4	ก่อน 16.00	(4,-12)	P <sub>33</sub>	2	-	(1,2.5)
P <sub>13</sub>	2	-	(3.5,-12)	P <sub>34</sub>	2	-	(10,-1.5)
P <sub>14</sub>	1-2	ก่อน 18.00	(3,-4)	P <sub>35</sub>	1	-	(-0.5,-12)
P <sub>15</sub>	2-3	-	(-4,-19)	P <sub>36</sub>	1	-	(10,-1.5)
P <sub>16</sub>	1-2	ก่อน 16.00	(3,-8.5)	P <sub>37</sub>	2	-	(-1,-15)
P <sub>17</sub>	1	ก่อน 18.00	(-2,-16.5)	P <sub>38</sub>	2	-	(13,-1.5)
P <sub>18</sub>	2	-	(-6,6)	P <sub>39</sub>	2	-	(-4.5,-6)
P <sub>19</sub>	1	ก่อน 18.00	(0.5,3)	P <sub>40</sub>	2	-	(-0.5,-17)
P <sub>20</sub>	1-2	ก่อน 16.00	(3.5,1.5)	P <sub>41</sub>	1	-	(-1,-15.5)
P <sub>21</sub>	1-2	ก่อน 16.00	(5,-35)	P <sub>42</sub>	2	-	(4,-14.5)



ตารางที่ 3 ค่าประหยัดของลูกค้าหลักที่จัดเป็น Master Route

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P1	P1	P1
P1												
P2	2.7											
P3	19.	-										
P4	27.	-	16.									
P5	7.7	5.8	7.7	7.6								
P6	14.	4.6	14.	14.	16.							
P7	20.	-	15.	20.	8.3	11.						
P8	21.	1.1	18.	21.	9.8	13.	18.					
P9	22.	0.6	19.	22.	12.	14.	19.	30.				
P1	22.	-	14.	22.	7.3	10.	25.	14.	20.			
P1	27.	1.3	18.	27.	10.	12.	21.	22.	23.	22.		
P1	21.	-	16.	21.	9.5	12.	28.	15.	20.	22.	22.	



ภาพที่ 1 ตัวอย่างรายงานผลการจัดเส้นทางด้วยพนักงาน ชุดข้อมูลที่ 4

Transfer Date	Path No	Truck Id	Node ID	Weight	Volume	Path saving	Total Weight	Weight Util.	Total Volume	Volume Util.	Path Distance
27-Mar	1	T2	P31	1,140	8.30	0	1140	0.38	8.30	0.61	37.6
27-Mar	2	T2	P14	1,110	6.11	0	1110	0.37	6.11	0.45	24
28-Mar	3	T2	P10	1,070	9.26	14.2	1190	0.40	10.67	0.78	31.2
28-Mar			P3	120	1.41	0					0
28-Mar	4	T2	P29	1,120	6.93	7.7	1650	0.55	9.35	0.68	42.1
28-Mar			P11	530	2.41	0					0
29-Mar	5	T1	P27	670	4.78	0	670	0.45	4.78	0.71	3.2
29-Mar	6	T1	P16	690	4.06	0	690	0.46	4.06	0.61	20.2
29-Mar	7	T2	P7	870	7.50	28.8	1640	0.55	11.63	0.85	39.4
29-Mar			P15	770	4.14	0					0
29-Mar	8	T2	P42	1,280	8.94	0	1280	0.43	8.94	0.65	35.8
30-Mar	9	T1	P4	150	1.76	55	570	0.38	5.46	0.81	28.4
30-Mar			P13	300	2.28	0					0
30-Mar			P1	120	1.41	0					0
30-Mar	10	T1	P12	770	3.49	0	770	0.51	3.49	0.52	28.8
1-Apr	11	T1	P2	120	1.41	21.8	390	0.26	4.58	0.68	23.8
1-Apr			P6	150	1.76	0					0
1-Apr			P5	120	1.41	0					0
1-Apr	12	T1				0					0
2-Apr	13	T1	P8	180	1.83	30	530	0.35	5.40	0.81	35
2-Apr			P9	350	3.57	0					0
2-Apr	14	T1				0					0
2-Apr	15	T2									
2-Apr	16	T2									
รวม						157.50	11,630	0.43	82.77	0.68	349.50

ภาพที่ 2 ตัวอย่างรายงานผลการจัดเส้นทางด้วยระบบ ชุดข้อมูลที่ 4

Transfer Date	Path No	Truck Id	Node ID	Weight	Volume	Path saving	Total Weight	Weight Util.	Total Volume	Volume Util.	Path Distance	Technique
27-Mar	1	T2	P16	690	4.06	19.2	1970	0.66	13.00	0.95	36.8	Sweep-2
			P42	1280	8.94							
27-Mar	2	T2	P29	1120	6.93		1120	0.37	6.93	0.51	28	Sweep-2
28-Mar	3	T2	P10	1070	9.26	14.2	1190	0.40	10.67	0.78	31.2	Sweep-1
			P3	120	1.41							
28-Mar	4	T2	P31	1140	8.30		1140	0.38	8.30	0.61	37.6	Sweep-2
29-Mar	5	T1					0		0.00			
29-Mar	6	T1					0		0.00			
29-Mar	7	T2	P7	870	7.50	28.8	1640	0.55	11.63	0.85	39.4	Sweep-1
			P15	770	4.14							
29-Mar	8	T2					0	0.00	0.00	0.00		
30-Mar	9	T1	P12	770	3.49	0	770	0.51	3.49	0.52	28.8	Sweep-1
30-Mar	10	T1	P1	120	1.41	55	570	0.38	5.46	0.81	28.4	Sweep-1
			P13	300	2.28							
			P4	150	1.76							
1-Apr	11	T1	P11	530	2.41	31.8	800	0.53	5.59	0.83	28.2	Sweep-2
			P5	150	1.76							
			P6	120	1.41							
1-Apr	12	T1	P2	120	1.41	3.1	790	0.53	6.19	0.92	7.5	Sweep-2
			P27	670	4.78							
2-Apr	13	T1					0		0.00			
2-Apr	14	T1					0		0.00			
2-Apr	15	T2	P8	180	1.83	46.5	1640	0.55	11.51	0.84	42.5	Sweep-1
			P9	350	3.57							
			P14	1110	6.11							
2-Apr	16	T2					0		0.00			
รวม						198.60	11,630	0.48	82.77	0.76	308.40	