การพัฒนาระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

วรรวิมล วรรณศิริ[1], พรเทพ อนุสสรนิติสาร[1*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2942-8555 ต่อ 1676 โทรสาร 0-2579-6804 E-mail *fengpta@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งในภาคธุรกิจ ภาคอุตสาหกรรม และกลุ่มนักวิจัย แต่เนื่องจากมีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจากสภาวะการแข่งขันที่มีในปัจจุบัน จึงส่งผลให้ต้องมีเครื่องมือที่นำข้อมูลจากระบบแผนที่มารองรับการพัฒนาทางด้านการขนส่ง เพื่อการวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งให้เกิดประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งผ่านเครือ ข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) ซึ่งจะสามารถช่วยวิเคราะห์เส้นทางเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และต้นทุนไม่สูง งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ประกอบธุรกิจขนาดเล็ก (Small and Medium Enterprises: SMEs) ซึ่งเป็นธุรกิจที่มีบทบาทสำคัญ และมีจำนวนมากในภาคธุรกิจ นอกจากนี้กลุ่มผู้ศึกษาค้นคว้า และวิจัยในด้านนี้ ยังสามารถนำระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งนี้เป็นเครื่องมือพื้นฐาน ในการพัฒนาอัลกอริทึมที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เส้นทางเดินรถ; แผนที่กูเกิล; เครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโลจิสติกส์เป็นองค์ประกอบสำคัญของภาคธุรกิจ การเดินรถขนส่งเป็นส่วนหนึ่งของโลจิสติกส์ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในสภาวะการแข่งขัน ณ ปัจจุบัน ส่งผลให้มีงานวิจัยทางด้านโลจิสติกส์เป็นจำนวนมากเกิดขึ้น เพื่อรองรับการเติบโตของภาคธุรกิจตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว นักวิจัยจึงพยายามพัฒนาวิธีการแก้ไขปัญหาการเดินรถขนส่งด้วยกระบวนการตามอัลกอริทึมต่างๆ แต่เนื่องจากงาน วิจัยบางส่วนที่นำมาพัฒนายังไม่ได้นำเอาข้อมูลจริง หรือระบบแผนที่ในสถานการณ์ปัจจุบันมาประยุกต์ใช้เท่า ที่ควร จึงส่งผลให้บางครั้งการประมวลผลที่ได้ยังไม่เต็มประสิทธิภาพ

การเปิดบริการแผนที่กูเกิลสำหรับประเทศไทย เป็นส่วนประกอบพื้นฐานสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้มีผู้หันมาใช้งานแผนที่กูเกิลอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีระบบแผนที่และภาพถ่ายจากดาวเทียมคุณภาพดีครอบ คลุมทั่วโลกในมาตราส่วนต่างๆ ที่สามารถนำระบบแผนที่มาประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดี สำหรับการพัฒนางานวิจัยในแต่ละสาขา ทำให้การพัฒนาเพื่อต่อยอดจากสิ่งที่กูเกิลให้บริการไว้แล้วจึงเป็นงานที่น่าสนใจ ซึ่งไม่ต้องลงทุนจัดหาทรัพยากร หรือทำการเก็บข้อมูลที่เป็นเรื่องยากสำหรับระบบแผนที่ และราคาแพงมาใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดการเชื่อมโยงระบบแผนที่มาประยุกต์ใช้ เพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สำหรับเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งของกลุ่มผู้ ประกอบการธุรกิจขนาดเล็ก (Small and Medium Enterprises: SMEs) และสำหรับนักวิจัยทางด้านโลจิส- ติกส์จะมีเครื่องมือพื้นฐานเพื่อคำนวณหาค่าเมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) จากระบบแผนที่กูเกิลด้วยข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน ซึ่งเมตริกซ์ระยะทางเป็นพื้นฐานในการจัดเส้นทางของการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) นักวิจัยจึงสามารถนำอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาไว้

มาทดสอบบนระบบวิเคราะห์เส้นทางการเดินรถขนส่ง งานวิจัยนี้จึงใช้เป็นเครื่องมือช่วยในพัฒนาอัลกอริทึม และประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์ได้

2. บทความปริทัศน์และทฤษฎีพื้นฐาน

2.1. แผนที่กูเกิล (Google Maps)

แผนที่กูเกิลเป็นเป็นเว็บแอปพลิเคชั่น (Web Application) ซึ่งเว็บแอปพลิเคชั่นนี้ได้ถูกริเริ่มขึ้นโดยบริษัทกูเกิล (Google Inc.) ให้ Lars and Rasmussen J. เป็นผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ และแอปพลิเคชั่นนี้ได้เริ่มให้ใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 2005 โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย ซึ่งแผนที่กูเกิลได้ใช้เป็นภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) และเอ็กเอ็มแอล (XML) เป็นหลัก แต่ผู้ที่จะนำแผนที่กูเกิล [13] ไปใช้เพื่อเป็นองค์ประกอบของหน้าเว็บ (Web Page) ต้องอาศัยเอพีไอของแผนที่กูเกิล (Google Maps API) ซึ่งเว็บแอปพลิเคชั่นของแผนที่กูเกิลที่เปิดให้ใช้บริการได้ให้บริการแผนที่เพื่อหาตำแหน่ง หรือเส้นทางการเดินทาง โดยอาศัยการปักหมุด (Push Pin) การป้อนค่าละติจูดและลองจิจูด หรือการป้อนตำแหน่งสถานที่ลงบนแผนที่กูเกิลก็จะแสดงเส้นทาง และสามารถเลือกเส้นทางในการเดินทางได้ เช่น การเดินทางด้วยเดินเท้า การเดินทางด้วยรถ ซึ่งจะแสดงเส้นทาง พร้อมทั้งระยะทาง และเวลาในการเดินทาง ทั้งยังสามารถเลือกตำแหน่ง เพื่อให้แสดงละติจูดและลองจิจูด เพื่อทำการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานที่นั้น หรือเก็บเป็นฐานข้อมูล (Database) และสามารถเลือกให้แสดงภาพที่มีลักษณะถ่ายจากดาวเทียมเพื่อความเสมือนจริง หรือเลือกมุมมองอื่นที่แผนที่กูเกิลเปิดให้บริการ นอกจากนั้นยังมีการแสดงอัตราส่วนในแผนที่ เพื่อเปรียบเทียบกับสถานที่จริงในอัตราส่วนต่างๆ

2.2. เอพีไอของแผนที่กูเกิล (Google Maps API)

เอพีไอ (API: Application Programming Interface) คือ การติดต่อระหว่างโปรแกรมของผู้ใช้งานกับโปรแกรมอื่น เพื่อให้สามารถติดต่อระหว่างโปรแกรมที่ต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ ก็คือการที่นำระบบแผนที่กูเกิลมาใช้บนหน้าเว็บของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง โดยติดต่อขอรหัสเอพีไอของแผนที่กูเกิล [12] เพื่อทำการเชื่อมต่อระหว่างหน้าเว็บที่พัฒนาโปรแกรมขึ้นกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ของระบบแผนที่จากกูเกิล เอพีไอของแผนที่กูเกิลจะช่วยให้ผู้ต้องการพัฒนาโปรแกรมที่อาศัยข้อมูลจากระบบแผนที่ สามารถแทรกแผนที่กูเกิลเข้าไปเป็นองค์ประกอบหนึ่งในหน้าเว็บ จากการเขียนรหัส (Code) ด้วยภาษาเอชทีเอ็มแอล (HTML) และจาวาสคริปต์ ไม่เช่นนั้นทางด้านเซิร์ฟเวอร์ของกูเกิลจะไม่อนุญาตให้นำระบบแผนที่มาแสดงบนหน้าเว็บของผู้ใช้ หรือใช้ในการคำนวณได้ เอพีไอของแผนที่กูเกิลมีคำสั่ง และฟังก์ชันในการนำมาประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย มีการแสดงข้อมูลของระบบแผนที่ในลักษณะการปักหมุด ซึ่งสามารถกำหนดให้แสดงระบบแผนที่พร้อมข้อมูลของตำแหน่งที่ทำการปักหมุด หรือแสดงลักษณะระบบแผนที่แบบเส้น (Polyline) แบบพื้นที่ (Polygon) หรือแบบภาพ (Ground Overlay)

เนื่องจากเอพีไอของแผนที่กูเกิลเป็นโปรแกรมรหัสเปิด (Open Source Program) ในภาษาจาวาสคริปต์ ดังนั้นผู้ใช้ที่เป็นนักพัฒนาโปรแกรมสามารถเข้าไปดูรายละเอียดของรหัสโปรแกรมได้สะดวก รวมทั้งสามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขโปรแกรมได้ในภาษาจาวาสคริปต์ ทำให้เอพีไอของแผนที่กูเกิลมีผู้ใช้กันอย่างแพร่ หลาย ประกอบกับเหตุผลสำคัญที่สนับสนุน คือ ระบบแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียมคุณภาพดี การนำเสนอระบบแผนที่ครอบคลุมพื้นที่ต่างๆ รวมถึงในประเทศไทย และจากระบบโลกกูเกิล (Google Earth) ที่มีการเปิดบริการก่อนแผนที่กูเกิลนั้นเป็นที่นิยม และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันในวงกว้าง

สำหรับยูอาร์แอล (URL: Uniform Resource Locator) ในการยื่นคำขอรับรหัสเอพีไอของแผนที่กูเกิล [12] คือ www.google.com/apis/maps/signup.html

2.3. แมชอัปแผนที่กูเกิล (Google Maps Mashup)

แมชอัป (Mashup) เป็นวิธีการสร้างแอปพลิเคชั่นที่ต้องการ โดยการนำข้อมูลจากเว็บแอปพลิเคชั่นหลายที่มาประยุกต์ใช้ สำหรับนักพัฒนาแอปพลิเคชั่นที่ต้องการสร้างเว็บเซิร์ฟเวอร์ประเภทที่สามารถพัฒนา แก้ไข หรือเพิ่มเติมได้ แมชอัปที่กล่าวถึงกันมากในแวดวงนักพัฒนาแอปพลิเคชั่นที่ใช้บนอินเทอร์เน็ตมีองค์ ประกอบอย่างน้อย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นเอพีไอ และทรัพยากรสนับสนุนจากเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการ และส่วนที่ 2 คือ โปรแกรมและทรัพยากรของผู้พัฒนาแอปพลิเคชั่น ซึ่งในงานวิจัยนี้ ก็คือการนำแผนที่กูเกิลผนวกใช้บนหน้าเว็บของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง ในการจัดทำแมชอัปแผนที่กูเกิล ระดับขั้นต้นต้องใช้ความรู้พื้นฐานในการสร้างหน้าเว็บด้วยภาษาเอชทีเอ็มแอล การเขียนโปรแกรมจาวาสคริปต์ ความรู้เรื่องการแผนที่ และภูมิศาสตร์ ดังนั้นแมชอัปแผนที่กูเกิลจะหมายถึงหน้าเว็บที่นักพัฒนาเว็บไซต์สร้างขึ้นให้มีส่วนประกอบของระบบแผนที่ ที่สามารถทำงานแบบโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ โดยอาศัยพื้นฐานระบบแผนที่จากเซิร์ฟเวอร์ของกูเกิล และมีข้อมูลแผนที่ของผู้พัฒนาซ้อนทับในลักษณะปักหมุด หรือลักษณะอื่นตามความต้องการของผู้พัฒนาแอปพลิเคชั่น

ขั้นตอนในการดำเนินการจัดการแมชอัปแผนที่กูเกิล มีดังนี้ ขั้นแรกยื่นขอรหัสเอพีไอของแผนที่กูเกิล สำหรับยูอาร์แอลของเว็บไซต์ที่ต้องการพัฒนา โดยจะนำแผนที่กูเกิลไปแทรกไว้ จากนั้นเขียนโปรแกรมสร้างหน้าเว็บที่ใช้เอพีไอของแผนที่กูเกิล เพื่อแทรกแผนที่กูเกิลเป็นองค์ประกอบของหน้าเว็บ

2.4. การเขียนโปรแกรม

สำหรับการเขียนรหัสเพื่อให้แสดงหน้าเว็บ การคำนวณ และการเก็บฐานข้อมูล จะอาศัยโปรแกรมแก้ไขข้อความ (Text Editor) ชื่อว่า อิดิทพลัส (Edit Plus) ทั้งนี้ผู้ที่เริ่มการเขียนรหัสอาจจะใช้โปรแกรมโน๊ตแพด (Notepad) ที่ติดตั้งมาพร้อมกับระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดว์ (Microsoft Window) ซึ่งจะมีในเครื่องคอมพิวเตอร์พื้นฐาน แต่ในที่นี้ขอแนะนำโปรแกรมอิดิทพลัส เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สะดวก เหมาะกับการเขียนรหัส เช่น โปรแกรมมีการแสดงเลขบรรทัด มีสีของรหัสต่างกันเพื่อสื่อว่าเป็นรหัสสำหรับการเขียนคำสั่งใด และมีการเตือนเวลาสะกดคำสั่งไม่ถูกต้อง สำหรับงานวิจัยนี้จะอาศัยภาษาหลักดังนี้

- เอชทีเอ็มแอล (HTML: Hypertext Markup Language) เป็นภาษาหลักที่ใช้ในการสร้างหน้าเว็บ หรือข้อมูลอื่นที่เรียกผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) เพื่อทำการร้องขอ หรือตอบสนอง ซึ่งตัวรหัสจะแสดงโครงสร้างของข้อมูล

- จาวาสคริปต์ (JavaScript) เป็นภาษาสคริปต์ ส่วนมากใช้ในหน้าเว็บเพื่อประมวลผลข้อมูลฝั่งไคลเอนต์ (Client)

- พีเอชพี (PHP Hypertext Preprocessor) เป็นภาษาของฝั่งเซิร์ฟเวอร์ สำหรับจัดทำเว็บไซต์ และแสดงผลในรูปแบบเอชทีเอ็มแอล เป้าหมายหลักของพีเอชพี คือ นักพัฒนาเว็บไซต์สามารถเขียนหน้าเว็บที่มีการตอบสนองได้รวดเร็ว

- เอสคิวแอล (SQL: Structured Query Language) เป็นภาษาที่ใช้ในการสอบถามสำหรับการจัดการฐานข้อมูล เพื่อสร้าง แก้ไข หรือเรียกใช้ฐานข้อมูล โดยภาษาเอสคิวแอลจะมีระบบจัดการฐานข้อมูลชื่อ มายเอสคิวแอล (MySQL)

- ซีเอสเอส (CSS: Cascading Style Sheets) เป็นภาษาสไตล์ชีต ใช้ในการจัดรูปแบบของเอกสารที่เขียนบนหน้าเว็บ

3. รายละเอียดของข้อมูลอ้างอิงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

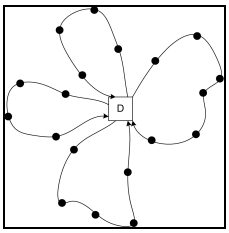
ระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง เป็นเครื่องมือสำหรับประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ดังนั้นเมื่อนักวิจัยนำระบบวิเคราะห์เส้นทางการเดินรถไปประยุกต์ใช้ จึงต้องอาศัยหลักการ และกระบวนการแก้ปัญหาทางด้านการขนส่ง เพื่อนำอัลกอริทึมมาทดสอบบนระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถ ดังนั้นต้องอาศัยพื้นฐานของทฤษฎีด้านการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP)

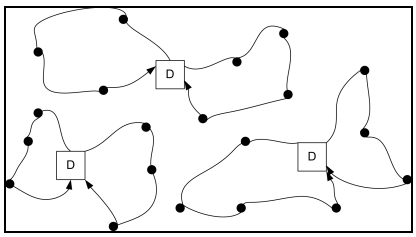
G. B. Dantzig and J. H. Ramser [4] ได้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด เรียกว่า ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) ในปี ค.ศ. 1959 เพื่อขนส่งสินค้าหรือวัตถุดิบจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางที่มีจำนวนหลายจุดหมาย และมีลักษณะกระจายตัวต่างกัน เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดนั้นๆ ซึ่งจุดหมายปลายทางจะต้องได้รับสินค้าครบตามความต้องการ และต้องจัดให้มีระยะทางรวมสั้นที่สุด วิธีการนี้จะอยู่บนพื้นฐานของกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

โดยทั่วไปจะนำปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) [7] ซึ่งเป็นปัญหาแบบเอ็นพี - ฮาร์ด (NP - Hard) มาจัดเส้นทางการเดินรถ เพื่อให้ผ่านครบทุกจุดหมายที่ต้องการส่งทั้งหมด n จุด เพียงครั้งเดียว แต่สำหรับปัญหาการเดินรถของพนักงานขายจะไม่มีข้อจำกัดด้านการบรรทุกของยานพาหนะ ซึ่งในสถานการณ์จริงนั้นการขนส่งต้องมีข้อจำกัดต่างๆ ดังนั้นการนำปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งมาประยุกต์ใช้กับการขนส่งนั้นจึงเหมาะสมกว่า ในการนำมาพัฒนาระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขน ส่งของผู้วิจัย

ลักษณะรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง [10] จะมี 2 ลักษณะ คือ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีคลังสินค้าเดียว (Single-Depot Vehicle Routing Problem: SDVRP) และปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีหลายคลังสินค้า (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) ซึ่งรูปแบบของปัญหามีลักษณะดังรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1: แบบมีคลังสินค้าเดียว



รูปที่ 1.2: แบบมีหลายคลังสินค้า

ในงานวิจัยจะอาศัยการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีข้อจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริง เมื่อนำระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถไปประยุกต์ใช้ โดยความยากง่ายจะแปรผันตามขนาดของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง สามารถเขียนรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ [11] ได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ Minimize $$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\sum_{K=1}^{K} C_{ij} X_{ij}^{k} \quad (1)$$

เงื่อนไขข้อจำกัด $$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} X_{ij}^{k} d_i \le Q^{k} \quad 1 \le k \le K, \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} X_{ij}^{k} C_{ij} \le T^{k} \quad 1 \le k \le K, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{k} = \sum_{j=1}^{N} X_{ji}^{k} \le 1 \quad \text{for } i=0 \text{ and } k \in \{1,...,k\} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{k} \le K \qquad \text{for i=0} \qquad (5)$$

เมื่อ C_{ij} คือ ระยะทางจากจุด i ไปจุด j

K คือ จำนวนของยานพาหนะทั้งหมด

k คือ ยานพาหนะลำดับที่ k

N คือ จำนวนของลูกค้า

Q^k คือ ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ k

T^k คือ ระยะทางสูงสุดที่ยานพาหนะสามารถเดินทางได้ของยานพาหนะ k

d_i คือ จำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้า i

$X_{ij}^{K} \in 0$ และ 1 (i≠j; i,j∈0, 1, …, N) คือ ในกรณีเดินทางจากจุด i ไปจุด j จะให้ X_{ij}^{K} มีค่าเป็น 1 ถ้าเป็นกรณีอื่นให้มีค่าเป็น 0

โดยที่ ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ มีเป้าหมาย คือ ต้องการระยะทางรวมของทุกเส้นทางมีผลลัพธ์ต่ำที่สุด

ฟังก์ชั่นเงื่อนไขข้อจำกัด คือ ถ้ายานพาหนะ k ส่งจากจุด i ไปจุด j ตามจำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้า ณ จุดนั้น ผลรวมของความต้องการสินค้าในเส้นทางนั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ k, กำหนดให้ระยะทางรวมในเส้นทางของยานพาหนะ k จะต้องไม่เกินระยะทางของยานพาหนะ k ที่สามารถเดินทางได้, กำหนดให้ทุกเส้นทางจะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้า, และจำนวนเส้นทางทั้งหมดที่ใช้ในปัญหาจัดเส้นทางเดินรถขนส่งต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนรวมของยานพาหนะทั้งหมด

3.2. วิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วน (Route first – Cluster Second Methods)

Beasley [3] พัฒนาวิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วน เพื่อนำมาแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่ง ซึ่งวิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วนมีลักษณะเป็นแบบ 2-เฟส (2-phases) ขั้นตอนการแก้ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ด้วยวิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วน มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1. ส่วนที่ 1 การจัดเส้นทาง

การจัดเส้นทางเริ่มโดยให้คลังสินค้า (Depot) เป็นจุดเริ่มต้น และเคลื่อนที่ไปยังลูกค้า (Customer) ในตำแหน่งอื่นๆ เพื่อให้ครอบคลุมทุกตำแหน่งของลูกค้า และกลับมาสิ้นสุดยังคลังสินค้า โดยแต่ละตำแหน่งของลูกค้าจะเดินทางผ่านได้เพียงครั้งเดียว ซึ่งลักษณะการจัดเส้นทางนี้มีลักษณะตรงกับการจัดเส้นทางของปัญหาการเดินรถของพนักงานขาย [7] ในงานวิจัยนี้อาศัยฮิวริสติกส์การหาตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด (Nearest-neighbour Heuristic: NN Heuristic) [7] สำหรับการพิจารณาเพื่อจัดเส้นทางจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง

3.2.2. ส่วนที่ 2 การแบ่งส่วน

เริ่มต้นจากคลังสินค้าเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ได้จัดตามส่วนที่ 1 โดยพิจารณาความต้องการสินค้าของลูกค้าในแต่ละตำแหน่ง เพื่อส่งสินค้าให้ได้ตามความต้องการ และต้องคำนึงถึงความสามารถของยาน พาหนะ ถ้าเกินความสามารถของยานพาหนะให้กลับไปยังคลังสินค้า จากนั้นเริ่มต้นทำซ้ำดังขั้นตอนส่วนที่ 2 จนครบทุกตำแหน่งของลูกค้าที่จัดไว้ตามเส้นทางในส่วนที่ 1

3.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพฉัตร และคณะ (2551) กล่าวถึง การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งด้วยวิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วนด้วยการนำข้อมูลและสถานที่จริงของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบ โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อจะลดระยะทางการรถเก็บขยะและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บขยะภายในมหาวิทยาลัย ผลที่ได้ คือ สามารถลดระยะทางได้ 17.33% และลดต้นทุนคิดเป็น 20.32%

Keenan (2008) กล่าวถึง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ช่วยให้เทคนิคการแบ่งกลุ่มเส้นทางมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้ามาช่วยแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ สำหรับการจัดกลุ่มข้อมูลเส้นทาง โดยตัวแปรที่สำคัญก็ คือ ความเร็วและความสามารถในการบรรทุกของรถ ผลจากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าเทคนิคระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถช่วยประมาณเส้นทาง สถานที่ และความสามารถของรถสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถได้ละเอียดและใกล้เคียงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับสถานการณ์จริงได้ดียิ่งขึ้น

Hamacher (2010) กล่าวถึง การนำวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งมาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากการนำน้ำมันที่เหลือจากการทอดอาหาร ซึ่งเป็นผลดีในด้านโลจิสติกส์ คือ จะลดต้นทุนในการเก็บน้ำมันทั้งจากผู้ผลิตและการขนส่งไปยังคลังสินค้าไบโอดีเซล รูปแบบของเส้นทางการเดินรถขนส่งได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากแผนที่กูเกิล โดยอาศัยซอฟต์แวร์ AIMMS เป็นเครื่องมือสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ รวมกับการหาค่าที่ดีที่สุดจากโปรแกรม CPLEX ซึ่งการป้อนข้อมูล และการแสดงผลจะอยู่เก็บไว้ในไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่าที่ดีที่สุดของต้นทุนด้านโลจิสติกส์อยู่ที่ 0.11 ดอลลาร์ต่อลิตร โดยมีค่าใช้จ่ายทั้งหมดเฉลี่ยเพียง 15.1% ของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

4. ผลของการวิเคราะห์วิจัย

ในการนำระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งมาใช้นั้น ต้องติดตั้งโปรแกรมเพื่อช่วยให้สามารถใช้ระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1. วิธีการใช้ระบบการวิเคราะห์

4.1.1. การติดตั้งโปรแกรมแอปเซิร์ฟ (AppServ)

ในการจัดทำให้ระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งสามารถทำงานได้ ผู้ใช้ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมแอปเซิร์ฟ [2] โดยในโปรแกรมแอปเซิร์ฟจะมีโปรแกรมย่อย คือ โปรแกรมอะแพชี (Apache) ภาษาพีเอชพี ภาษาเอสคิวแอล และพีเอชพีมายแอดมิน (phpMyAdmin) โดยโปรแกรมอะแพชี ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ติดตั้งเพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นทั้งไคลเอนต์ และเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) ในตัว (ซึ่งปกติเครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นเพียงแค่ไคลเอนต์) ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอแนะนำให้ติดตั้งโปรแกรมแอปเซิร์ฟ เนื่องจากมีโปรแกรมย่อยทั้งอะแพชี พีเอชพี มายเอสคิวแอล และพีเอชพีมายแอดมินในการติดตั้งเพียงครั้งเดียว ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่จะเริ่มศึกษาการเขียนรหัส หรือการนำระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานใช้กับอัลกอริทึมอื่น

วิธีการเตรียมเพื่อติดตั้งโปรแกรม ให้ดาวน์โหลดโปรแกรมจากเว็บไซต์หลักของแอปเซิร์ฟ [2] ในที่นี้แนะนำเวอร์ชั่น 2.4x เนื่องจากเป็นเวอร์ชั่นที่มีความเสถียร เหมาะสำหรับนักพัฒนาที่ไม่ได้มุ่งเน้นที่จะใช้ฟังก์ชั่นใหม่ ขั้นตอนการติดตั้งผู้ใช้สามารถเลือกติดตั้งเฉพาะส่วนที่ต้องการได้ โดยโปรแกรมพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการนำระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งไปใช้ ต้องการให้ติดตั้งโปรแกรมดังนี้
(โดยการติดตั้ง และทำการตั้งค่าอย่างละเอียดสามารถดูได้จากเว็บไซต์หลักของแอปเซิร์ฟ [2])

- Apache HTTP Server คือ โปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นทั้งไคลเอนต์ และเซิร์ฟเวอร์ในเครื่องเดียวกัน
- MySQL Database คือ โปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูล (Database Server)
- PHP Hypertext Preprocessor คือ โปรแกรมที่ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานของภาษาพีเอชพี

- phpMyAdmin คือ โปรแกรมที่ใช้ในการบริหารจัดการฐานข้อมูลมายเอสคิวแอลผ่านเว็บไซต์ (ส่วนนี้อาจจะทำการติดตั้งหรือไม่ก็ได้)

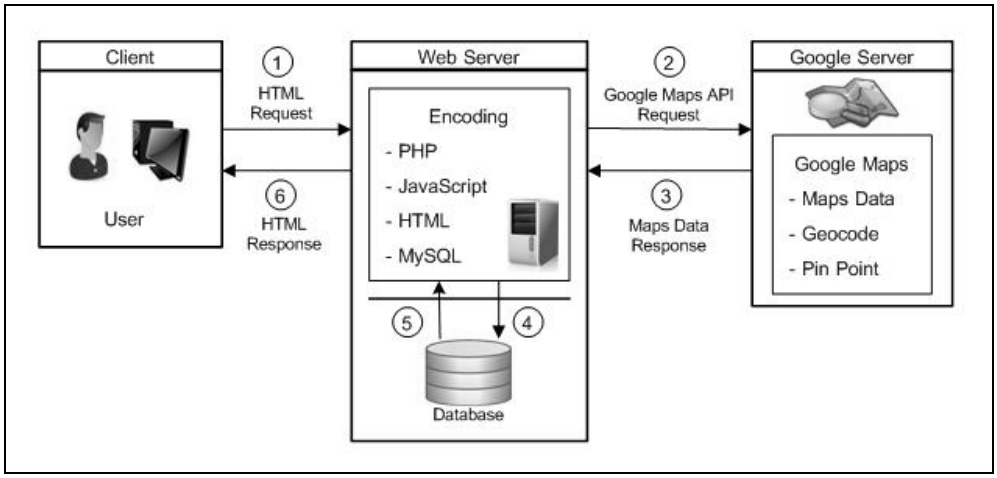
4.1.2. ทำการตรวจสอบรหัส

ในการเขียนรหัสก่อนนำไปใช้งานจริง ควรทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในเอแจ็กซ์แอปพลิเคชั่น (AJAX Application: Asynchronous JavaScript and XML Application) แต่เนื่องจากระบบการทำงานด้วยเอแจ็กซ์มีการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเบราว์เซอร์กับเว็บเซิร์ฟเวอร์จะเกิดขึ้นหลังฉาก ดังนั้นควรมีเครื่องมือช่วยในการตรวจสอบข้อมูล ซึ่งในที่นี้จะใช้ ฟิดเดลอร์ (Fiddler) [5]

Internet Explorer Developer Toolbar เป็นโปรแกรมในการช่วยตรวจสอบการแก้ไขรหัส เอชทีเอ็มแอล ซีเอสเอส จาวาสคริปต์ ได้ในขณะเรียกดูหน้าเว็บต่างๆ สำหรับเบราว์เซอร์ IE ตั้งแต่เวอร์ชั่น 8 ขึ้นไป สามารถเลือกได้จากแถบเครื่องมือ (Toolbar) แต่ผู้ใช้ตั้งแต่เวอร์ชั่น 8 ลงมาสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้จากเว็บไซต์ของไมโครซอฟต์ (สำหรับผู้ใช้ Firefox ให้โหลดโปรแกรมที่เรียกว่า Firebug [6] มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโปรแกรม Internet Explorer Developer Toolbar)

4.2. ขั้นตอนการทำงานของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง

การใช้ระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง ต้องทำการเก็บไฟล์รหัสไว้ในโฟล์เดอร์ AppServ > www และทำการเก็บไฟล์ฐานข้อมูลไว้ในโฟล์เดอร์ AppServ > MySQL > data โดยต้องทำการตั้งชื่อผู้ใช้ และรหัสผ่านในการเขียนรหัสให้ตรงกับการตั้งค่าในขั้นตอนการลงโปรแกรมแอปเซิร์ฟ การทำงานของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งตามรูปที่ 3 ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 3: แผนภาพขั้นตอนการทำงานของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง

ขั้นตอนที่ 1 ผู้ใช้ระบบซึ่งเป็นฝั่งไคลเอนต์ ต้องทำการพิมพ์ยูอาร์แอล ในแถบเบราว์เซอร์เพื่อเรียกข้อมูล โดยพิมพ์ลงในช่องยูอาร์แอลดังนี้ http://localhost/your_folder_name/your_file_name.html (การแสดงหน้าเว็บ ผู้ใช้ต้องเรียกจากเว็บเบราว์เซอร์โดยระบุยูอาร์แอล ถ้าดับเบิลคลิกที่ไฟล์ หรือเลือกคำสั่งเปิดที่ไฟล์จะไม่สามารถเปิดใช้งานหน้าเว็บได้) โดยเว็บเบราว์เซอร์ส่งข้อความเพื่อร้องขอ (Request) หน้าเพจ ดังหมายเลข 1 ในรูปแบบเอชทีเอ็มแอลผ่านไปยังฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งขั้นตอนนี้ทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์จะเริ่มทำงาน โดยทำการรันโปรแกรมตามฟังก์ชันการทำงานที่ผู้ใช้เรียกจากฝั่งไคลเอนต์

ขั้นตอนที่ 2 โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ทำงานอยู่ในเครื่อง (ในที่นี้เป็นโปรแกรมอะแพชี) เมื่อได้รับข้อความก็จะขอให้ตัวแปลรหัส (Encoding) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานอยู่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ จะทำการแปลงสารสนเทศให้กลายเป็นข้อมูล และจะทำการประมวลผลคำสั่งที่ถูกเรียกจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ ส่งข้อความเพื่อร้องขอเอพีไอของแผนที่กูเกิล (Google Maps API) ดังหมายเลข 2

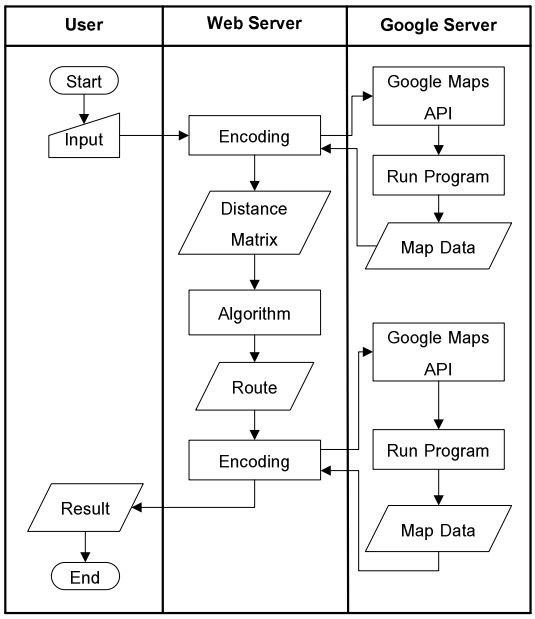
ขั้นตอนที่ 3 ฝั่งกูเกิลเซิร์ฟเวอร์จะทำการประมวลผล ตามข้อความที่ร้องขอจากฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ เพื่อนำข้อมูลแผนที่ พิกัดละติจูด ลองจิจูด และตำแหน่งที่ร้องขอ ส่งกลับไปยังฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็นข้อมูลเพื่อตอบสนอง (Response) ดังหมายเลข 3

ขั้นตอนที่ 4 ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์จะรับข้อมูลแผนที่กูเกิลมาเก็บเป็นฐานข้อมูล ดังหมายเลขที่ 4 และจะถูกดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลนี้ไปใช้ เมื่อมีการเรียกใช้จากรหัส ดังหมายเลข 5

ขั้นตอนที่ 5 เว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำการประมวลผล โดยการรันโปรแกรมตามรหัสที่ถูกตัวแปลภาษาเรียกใช้ ซึ่งอาจมีการติดต่อไปยังฐานข้อมูลเพื่อดึงข้อมูลมาใช้งาน หรือส่งข้อมูลไปเก็บ ซึ่งอาศัยระบบการจัดการฐานข้อมูล

ขั้นตอนที่ 6 ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลทั้งหมดที่ประมวลผลเสร็จสิ้น ตามที่ผู้ใช้ฝั่งไคลเอนต์ร้องขอกลับไปเพื่อตอบสนองด้วยภาษาเอชทีเอ็มแอล ดังหมายเลข 6 แล้วแสดงผลออกมาบนหน้าเว็บ ตามคำสั่งภาษาเอชทีเอ็มแอลที่กำหนดไว้ในเนื้อหานั้น

สำหรับการคำนวณเพื่อนำระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งที่ถูกพัฒนา ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งจะมีกระบวนการทำงานตามรูปที่ 4 ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 4: แผนภาพกระบวนการทำงานของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง

ขั้นตอนที่ 1 ผู้ใช้จะทำการปักหมุดตามตำแหน่งที่ต้องการบนแผนที่ของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง

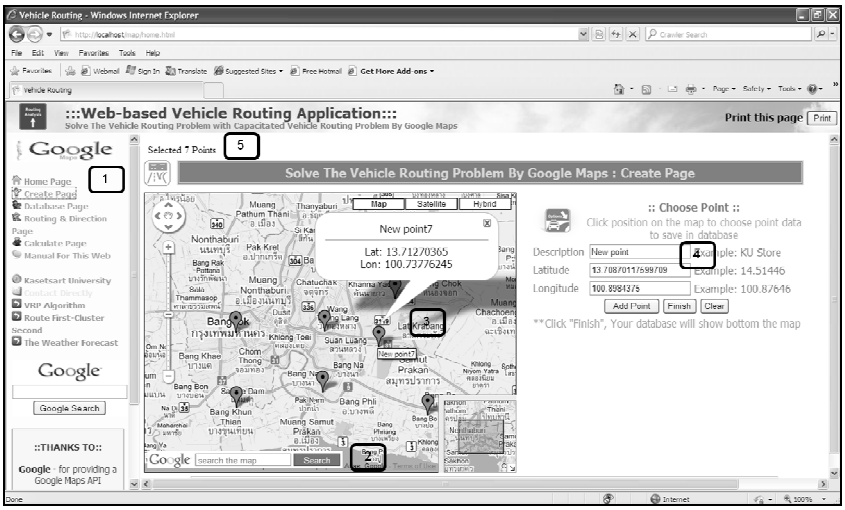
ขั้นตอนที่ 2 ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำการแปลงคำสั่งเพื่อทำการร้องขอข้อมูลจากกูเกิลเซิร์ฟเวอร์ กูเกิลเซิร์ฟเวอร์จะทำการรันโปรแกรม และส่งข้อมูลของระบบแผนที่กลับมายังเว็บเซิร์ฟเวอร์

ขั้นตอนที่ 3 ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำการรันโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าเมตริกซ์ระยะทาง และนำค่าเมตริกซ์ระยะทางไปคำนวณตามอัลกอริทึมที่เขียนโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 4 จะได้ผลลัพธ์จากการรันโปรแกรมตามอัลกอริทึม จากนั้นส่งข้อความร้องขอข้อมูลจาก กูเกิลเซิร์ฟเวอร์ เพื่อร้องขอข้อมูลเส้นทางจากระบบแผนที่ ซึ่งเป็นผลจากการรันโปรแกรมฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์

ขั้นตอนที่ 5 กูเกิลเซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลระบบแผนที่มายังฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์

ขั้นตอนที่ 6 ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์จะส่งผลลัพธ์กลับมายังฝั่งไคลเอนต์ เพื่อแสดงผลการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งบนหน้าเว็บเพจให้กับผู้ใช้ระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง



รูปที่ 5 หน้าเว็บไซต์ของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง

จากขั้นตอนการทำงานของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งข้างต้น หลังทำการติดตั้งและรันโปรแกรม ระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งจะทำการประมวลผล และแสดงออกมาบนหน้าเว็บไซต์ดังรูปที่ 5 การแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1 จะมีฟังก์ชั่นสำหรับการเชื่อมโยงสู่หน้าเว็บไซต์ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานไม่ต้องกลับสู่หน้าหลักทุกครั้ง พร้อมทั้งมีหน้าเว็บไซต์สำหรับอธิบายการใช้ระบบวิเคราะห์เส้นทางการเดินรถขนส่ง ดังหมายเลข 1

ส่วนที่ 2 ผู้ใช้สามารถปักหมุดบนแผนที่ยังตำแหน่งที่ต้องการ หรือป้อนชื่อสถานที่เพื่อหาตำแหน่งนั้นในกรณีที่ผู้ใช้ไม่ทราบตำแหน่งที่ตั้ง ในช่องหมายเลข 2 หลังจากปักหมุดจะแสดงหมุดและรายละเอียดของตำแหน่งนั้นดังหมายเลข 3 ซึ่งข้อมูลละติจูดและลองจิจูดจะแสดงในช่องหมายเลข 4 โดยข้อมูลที่ทำการกรอกจะถูกส่งไปเก็บยังฐานข้อมูล

ส่วนที่ 3 แสดงจำนวนหมุดทั้งหมดที่ผู้ใช้ปักบนแผนที่

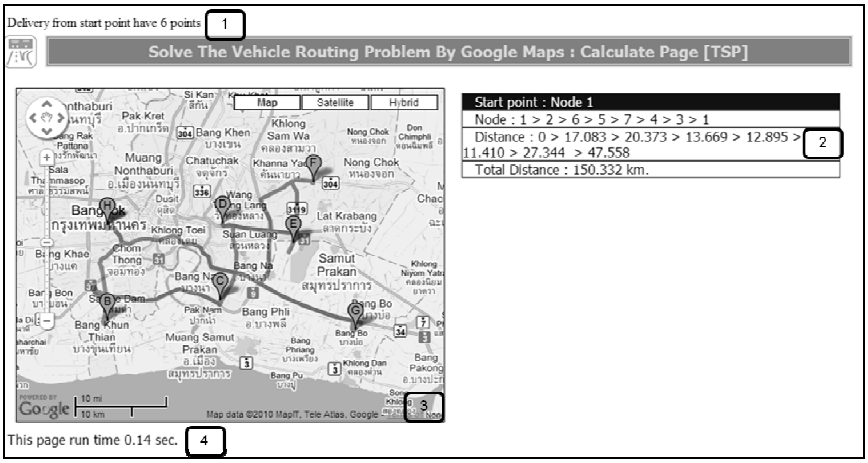
หลังจากทำการป้อนค่าและรันโปรแกรม ตามกระบวนการทำงานของระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น จะได้ผลการรันโปรแกรมดังรูปที่ 6 การแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์จะประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1 แสดงจำนวนทั้งหมดที่ต้องส่งจากจุดเริ่มต้น ดังหมายเลข 1

ส่วนที่ 2 แสดงผลลัพธ์โดยมีรายละเอียด คือ แสดงเส้นทางการขนส่งโดยเริ่มต้นจากจุดแรก (ในรูปจุดแรก คือ จุดที่ 1) วนไปจนครบทุกจุดจากนั้นจะกลับมายังจุดแรก และแสดงระยะทางรวมที่คำนวณได้ ดังหมายเลข 2

ส่วนที่ 3 แสดงผลลัพธ์เป็นเส้นทางบนแผนที่ ดังหมายเลข 3 (ซึ่งเป็นผลมาจากการคำนวณในส่วนที่ 2)

ส่วนที่ 4 แสดงเวลาในการรันโปรแกรมของหน้าเว็บไซต์ที่แสดงผล



รูปที่ 6 หน้าเว็บไซต์ที่แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณ

5. บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษางานวิจัย จะมีเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์เส้นทางเดินรถ สำหรับนักวิจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถ และนอกจากนี้ยังเกิดประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ประกอบ การขนาดเล็ก เพื่อช่วยวิเคราะห์เส้นทางในการขนส่งสินค้าของบริษัท ซึ่งระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งเป็นการวิเคราะห์ด้วยระบบแผนที่จริง และเป็นการลงทุนที่ไม่สูงสำหรับผู้ประกอบกิจการขนาดเล็ก

5.2. ข้อเสนอแนะ

ระบบการวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่งนี้เป็นเครื่องมือพื้นฐาน สำหรับนักวิจัยสามารถนำอัลกอริทึมที่ มาทดสอบผลลัพธ์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เนื่องจากการแก้ปัญหาต้องใช้เมตริกซ์ระยะทางเป็นพื้นฐาน ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถตอบสนองความต้องการนั้นได้ การพัฒนาอัลกอริทึมอื่นก็จะเป็นการต่อยอดของงานวิจัยนี้ และงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงผู้ประกอบการขนาดเล็กเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ช่วงเวลาในการขนส่งมีกรอบเวลาจำกัด ซึ่งจะกลายเป็นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีข้อจำกัด และมีกรอบเวลา (Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows: CVRPTW) หรือมีคลังสินค้าหลายคลังสินค้า ซึ่งจะกลายเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีหลายคลังสินค้า (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) เป็นต้น และเนื่องจากระบบแผนที่กูเกิลได้ให้บริการเวลาในการเดินทาง การจราจร และอาจจะนำความเร็วของการขับรถมาคำนวณด้วย ดังนั้นถ้านำสิ่งต่างๆ ข้างต้นมาพัฒนาร่วมกับระบบวิเคราะห์เส้นทางเดินรถขนส่ง จะส่งผลให้การประมวลผลเพื่อการนำมาประกอบการวิเคราะห์จะมีประสิทธิภาพ และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

[1] นพฉัตร วิริยานุกูล และคณะ, 2551, “การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการเส้นทางเดินรถเก็บขยะ,” การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 982-988.

[2] AppServ Open Project, “AppServ,” www.appservnetwork.com [23 July 2010].

[3] Beasley, J. E., 1983, “Rout First – Cluster Second Methods for Vehicle Routing,” OMEGA The Int. Jl of Mgmt Sci., Vol. 11, No. 4, pp. 403-408.

[4] Dantzig, G. B. and Ramser, J. H., 1959, “The truck Dispatching Problem,” Management Science, Vol. 6, No 1, pp. 80-91.

[5] Fiddler Web Debugging Proxy, “Fiddler,” www.fiddler2.com/fiddler2/version.asp [23 July 2010].

[6] Firebug Web Development Evolved, “Firebug,” www.getfirebug.com/downloads [23 July 2010].

[7] Ghiani, G. *et al.,* 2004, Introduction to Logistics Systems Planning and Control, John Wiley & Sons, Ltd.

[8] Hamacher, S., 2010. “Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils,” Bioresource Technology, Vol. 101, pp. 4415-4422.

[9] Keenan, P., 2008. “Modelling vehicle routing in GIS,” Oper Res Int J, Vol. 8, pp. 201–218.

[10] Laporte, G., 2004, “Transportation Logistics,” Lecture, University of Vienna, pp. 1-47.

[11] Lin, S. W. *et al*., 2009, “Applying hybrid meta-heuristics for capacitated vehicle routing problem,” Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp. 1505-1512.

[12] Sign Up for the Google Maps API, “Google Maps API Key,” www.google.com/apis/maps/signup. html [23 July 2010].

[13] Turner, C. *et al.,* 2006, Beginning Google Maps Applications with PHP and Ajax, Springer-Verlag New York, Inc.