# การวิเคราะห์และออกแบบระบบการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล กรณีศึกษาสำหรับศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย

# Analysis and Design of Blood Transportation in Bangkok Metropolitan Region A Case Study for the National Blood Center, Thai Red Cross Society

สมชาย ปฐมศิริ [1] ปภัสสร สุขาบูรณ์ [2]


## บทคัดย่อ

ในแต่ละวัน มีความต้องการใช้โลหิตจำนวนมากสำหรับการรักษาชีวิตมนุษย์ การได้รับโลหิตอย่างรวดเร็วและปลอดภัย จะช่วยให้การรักษาของแพทย์มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ต้นทุนการกระจายโลหิตก็เป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึง สำหรับในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลนั้น โรงพยาบาลแต่ละแห่งที่ต้องการใช้โลหิตจะต้องส่งรถไปรับโลหิตเองโดยตรงที่ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย โดยเฉลี่ยแล้วแต่ละวันจะมีโรงพยาบาล 74 แห่งส่งรถนานาชนิดมาขอรับโลหิตจากศูนย์ฯ วันละหลายเที่ยว แต่ละเที่ยวได้รับโลหิตไประหว่าง 1 ถึง 300 ถุง ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก อันเนื่องจากเป็นการวิ่งไปแล้ววิ่งกลับทันที รถแต่ละคันบรรทุกโลหิตได้น้อยมากเมื่อเทียบกับความจุของรถ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา วิเคราะห์ปัญหาการขนส่งโลหิตที่เกิดขึ้น และทำการออกแบบระบบขนส่งเสียใหม่ โดยอาศัยหลักการบริหารศาสตร์และแนวคิดด้านโลจิสติกส์จำลองปัญหาเป็นการจัดระบบเส้นทางการขนส่ง ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกของ Clark and Wright ในการแก้ปัญหา ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริงพบว่าระบบที่เสนอสามารถช่วยให้การขนส่งโลหิตในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลลดจำนวนเที่ยวและระยะทางการขนส่งได้ มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งให้สูงขึ้นอีก 68.53% ซึ่งทำให้ต้นทุนการกระจายโลหิตลดต่ำลง นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะแนวทางเพื่อการลงทุนที่เหมาะสมอีกด้วย


**คำสำคัญ :** ขนส่ง, การกระจาย, โลหิต, ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ, ฮิวริสติก


## Abstract

Everyday, the demand for blood is enormous in order to save lives. Quick and safe blood service is crucial for the efficiency of medical treatment. However, distribution cost of blood should be of important as well. In Bangkok Metropolitan Region, the individual hospital needs to send its vehicle to pick up the requested blood at the National Blood Center (NBC), Thai Red Cross Society. On average, there are approximately 74 hospitals sent various kinds of vehicles to wait and pick up blood between 1 – 300 units from the NBC. With the current individual pick-up system, the transportation cost is excessive due to too many empty trips. This research paper presents the results from the study and analysis of the current blood transportation system. The new design is proposed based on the management science and business logistics


[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[2] ผู้ช่วยวิจัยและนักศึกษาปริญญาโทสาขาวิศวกรรมและการจัดการโลจิสติกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

concept. The problem is modeled as the vehicle routing problem (VRP) and solved by the Clarke and Wright's heuristic method. By testing with the real data, the results show that a lot of trips and total distance can be saved. Potentially, the transport efficiency could be increased by 68.53%. The paper also discusses about the business model for implementing such concept at the NBC.

**Keywords :** Transportation, distribution, blood, supply chain, National Blood Center, heuristic

## 1. บทนำ

โลหิตเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงอยู่ของชีวิตมนุษย์ ในแต่ละวันสังคมไทยมีความต้องการใช้โลหิตจำนวนมากสำหรับช่วยเหลือผู้ป่วย ผู้ประสบอุบัติเหตุ การผ่าตัดและเก็บสำรองไว้ใช้ในยามฉุกเฉินในโรงพยาบาลต่างๆ ทั้งของรัฐบาลและเอกชน การจัดหาโลหิตให้เพียงพอกับความต้องการใช้ เป็นภาระหน้าที่ความรับผิดชอบโดยตรงของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย (National Blood Center, Thai Red Cross Society) ซึ่งเป็นองค์กรอิสระไม่หวังผลกำไร

ศูนย์ฯ ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของห่วงโซ่อุปทานโลหิตเชื่อมโยงรับโลหิตจากผู้บริจาค (Donor) ทางด้านต้นน้ำ (Upstream) ของห่วงโซ่ ทำการคัดกรอง ตรวจสอบคุณภาพให้ได้มาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดในระดับสากล คัดแยกจัดเก็บโลหิตเป็นอย่างดี ก่อนที่จะทำการขนส่งไปถึงผู้ป่วยในโรงพยาบาลที่ปลายน้ำ (Downstream) โดยเฉลี่ยศูนย์ฯ ต้องการรับบริจาคโลหิตวันละ 1,500 ถุง สำหรับใช้ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล และสนับสนุนโรงพยาบาลในส่วนภูมิภาค

ตลอดความยาวของห่วงโซ่อุปทานโลหิต มีกิจกรรมโลจิสติกส์เกิดขึ้นมากมาย การขนส่งโลหิตออกจากศูนย์ฯ ไปถึงผู้ป่วยที่โรงพยาบาลปลายทางเป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญมาก การขนส่งโลหิตสามารถแบ่งเป็นสองส่วนตามพื้นที่และลักษณะการขนส่ง ได้แก่ 1) ในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล และ 2) ในส่วนภูมิภาค [1] ในส่วนแรกนั้น หน้าที่การขนส่งโลหิตเป็นของโรงพยาบาลที่ร้องขอใช้โลหิตจะต้องเป็นผู้จัดรถมารับโลหิตที่ศูนย์ฯ เอง สำหรับการขนส่งในส่วนหลัง เป็นภาระหน้าที่ของศูนย์ฯ ที่จะต้องขนส่งโลหิตไปส่งยังภาคบริการโลหิตและโรงพยาบาลตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ [1, 2]

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาระบบการขนส่งโลหิตโดยศูนย์ฯ ในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากมุมมองด้านโลจิสติกส์ และทำการออกแบบปรับปรุงระบบขนส่งโลหิตตามหลักการบริหารศาสตร์ (Management Science) ให้มีความรวดเร็วและประหยัด เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น โดยไม่ทำให้คุณภาพและมาตรฐานด้านความปลอดภัยด้อยลง

## 2. ทบทวนงานวิจัย

### 2.1 ห่วงโซ่อุปทานโลหิต

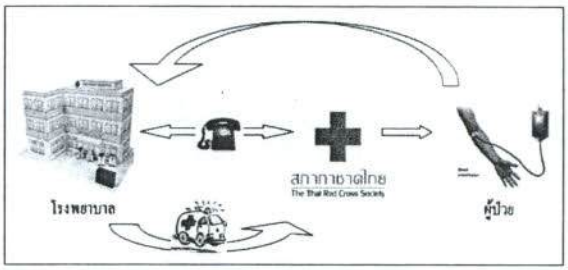
ห่วงโซ่อุปทานโลหิต เป็นขั้นตอนหรือกิจกรรมเชื่อมต่อกันตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ คือ เริ่มตั้งแต่โลหิตของผู้บริจาคโลหิตไปจนถึงผู้รับโลหิตขั้นสุดท้าย [3] ในห่วงโซ่อุปทานมีบุคลากรจำนวนมากเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ผู้บริจาคโลหิต แพทย์ พยาบาล เภสัชกร นักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ กว่าที่โลหิตจะถูกนำไปใช้งานได้จริงต้องผ่านกรรมวิธีต่างๆ มากมายหลายขั้นตอน ได้แก่ การเจาะเก็บโลหิต การคัดกรอง การแยกส่วนประกอบของโลหิต การตรวจคุณภาพ การจัดเก็บ และการจ่ายโลหิต แม้กระนั้น เมื่อโลหิตถูกส่งไปถึงโรงพยาบาลแล้ว ต้องตรวจสอบอีกขั้นหนึ่งว่าสามารถเข้ากันได้ (Cross-match) กับโลหิตของผู้ป่วยหรือไม่ จึงจะนำไปให้ผู้ป่วยได้ การทำงานในห่วงโซ่อุปทานโลหิตจึงมีความสลับซับซ้อนมากกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไปเป็นอย่างมาก [4] ต้องอาศัยความปราณีต ละเอียด รอบคอบสูงสุด เพราะความพลาดพลั้งอาจหมายถึงความเป็นความตายของผู้ป่วย

การบริหารจัดการระบบขนส่งโลหิตเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจมากในต่างประเทศ สภากาชาดของประเทศออสเตรียทำการวิเคราะห์การขนส่ง โดยใช้การจำลองสถานการณ์สำหรับจัดตารางเวลาของรถฉุกเฉิน [5] ขณะที่ประเทศอังกฤษจะส่งรถออกไปรับบริจาคตามบริษัทหรืออุตสาหกรรม จากนั้นนำกลับมาตรวจสอบที่สภากาชาด ถ้าโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตนั้น มีคุณภาพดีก็จะนำมาเก็บไว้ที่ธนาคารเลือดของศูนย์บริการโลหิต ด้วยวิธีเข้าก่อน-ออกก่อน (First-In First-Out, FIFO) จนกระทั่งมีการร้องขอโลหิต จากโรงพยาบาล จึงนำไปกระจาย การขนส่งโลหิตจะมีแบบแผนประจำโดยอาศัยหลักการบริหารศาสตร์ที่เรียกว่า Milk Runs และการส่งด้วยรถฉุกเฉินเพื่อความรวดเร็ว โดยมีดัชนีชี้วัดเป็นของเสีย/การหมดอายุ การขาดแคลน ด้านคุณภาพ และด้านการขนส่ง [6] เมื่อแนวโน้มความต้องการโลหิตเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดปัญหาโลหิตขาดแคลน นักวิจัยพยายามพัฒนาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ เช่น Logistic Regression Model ในการพยากรณ์จำนวนผู้บริจาค [7] การบริหารจัดการโลหิตคงคลังมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้งาน เช่น Barcode, RFID เป็นต้น ช่วยในการติดตามข้อมูลและรายงานอุณหภูมิ มีการแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีความผิดปกติของอุณหภูมิเกิดขึ้นที่ถุงโลหิต เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของโลหิตระหว่างการขนส่งไปให้โรงพยาบาล และการส่งโลหิตผิดชนิดให้กับผู้ป่วย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติของประเทศไทยก็มีการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการทำงานโลหิตให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิชาการด้านการแพทย์และสุขภาพ แต่สำหรับการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์แล้ว ยังมีจุดอ่อนอยู่บ้าง

### 2.2 การกระจายโลหิตโดยศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย จัดตั้งขึ้นเพื่อรับผิดชอบงานบริการโลหิตของประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดหาโลหิตไว้สำหรับช่วยเหลือผู้ป่วย ผู้ประสบอุบัติเหตุและเก็บสำรองไว้ใช้ในโรงพยาบาลต่างๆ ทั้งของรัฐบาลและเอกชน พื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลเป็นแหล่งจัดหาโลหิตที่สำคัญที่สุดของประเทศ ทั้งนี้เพราะว่าอัตราการบริจาคโลหิตของคนในกรุงเทพและปริมณฑลสูงกว่าจังหวัดอื่นๆ หลายเท่าตัว แต่ละปีศูนย์ฯ จัดส่งโลหิตประมาณ 43% ของที่ได้รับบริจาคทั้งหมดไปสนับสนุนภาคบริการโลหิตและโรงพยาบาลต่างๆ ในส่วนภูมิภาค [8] โรงพยาบาลที่ต้องการใช้โลหิตจากศูนย์ฯ จะต้องสมัครเป็นสมาชิกในเครือข่ายเสียก่อน

เมื่อใดก็ตามที่มีผู้ป่วยต้องการใช้โลหิต แพทย์จะทำการสั่งโลหิตโรงพยาบาลต้นสังกัดจะส่งเอกสารร้องขอใช้โลหิตไปยังศูนย์ฯ [2] สำหรับพื้นที่บริการในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล โรงพยาบาลจะต้องส่งรถไปรับโลหิตเองที่ศูนย์ฯ ซึ่งอยู่บริเวณถนนอังรีดูนังต์ รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการติดต่อขอใช้โลหิตจากศูนย์ฯ



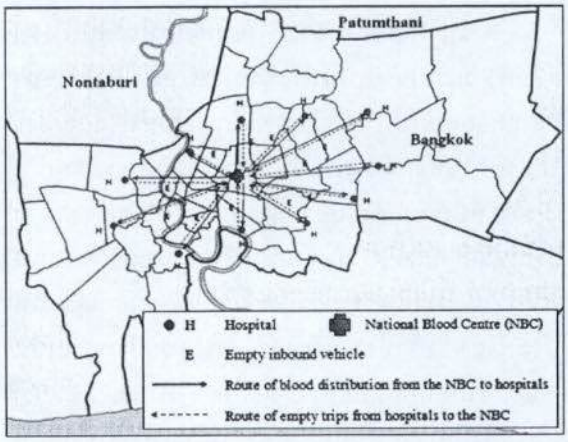

**รูปที่ 2** ขั้นตอนการขอใช้โลหิตจาก
ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

**รูปที่ 3** รถที่มาจอดรอรับโลหิต
ณ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

**รูปที่ 4** เจ้าหน้าที่จากโรงพยาบาลที่รอรับโลหิตหน้าเคาน์เตอร์จ่ายโลหิตในศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

ในแต่ละวันศูนย์ฯ ได้รับการร้องขอใช้โลหิตเป็นจำนวนมากจากโรงพยาบาลเครือข่ายในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล สภาพที่เห็นอยู่เป็นประจำ ณ บริเวณห้องจ่ายโลหิตก็คือ รถจำนวนมากจากโรงพยาบาลซึ่งถูกส่งมารับโลหิต (รูปที่ 3) คนขับรถจำนวนมากที่รอคอยหน้าเคาน์เตอร์จ่ายโลหิต (รูปที่ 4) และเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ ไม่กี่คนที่ต้องคอยให้บริการลูกค้าจำนวนมากในเวลาเดียวกัน

เมื่อพิจารณาจากมุมมองด้านโลจิสติกส์ จะพบว่าระบบการขนส่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันไม่อาจเรียกได้ว่ามีประสิทธิภาพอย่างที่ควรจะเป็น รูปที่ 5 เป็นตัวอย่างง่ายๆ สำหรับอธิบายความไม่มีประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น ในรูปนี้สมมติว่า มีโรงพยาบาลที่ต้องการใช้โลหิตเพียง 11 แห่ง โรงพยาบาลแต่ละแห่งจะต้องส่งรถไปรับโลหิตเอง ทำให้มีรถวิ่งไปที่ศูนย์ฯ ทั้งสิ้น 11 คัน และต้องวิ่งเป็นจำนวน 11 เส้นทาง (ตามเส้นประ) รถเหล่านี้เกือบทั้งหมดจะเป็นรถเปล่ามิได้บรรทุกอะไรทั้งสิ้น (ตัวอักษร E) เมื่อได้รับโลหิตแล้ว ขากลับจึงบรรทุกโลหิตกลับไปยังโรงพยาบาล ดังนั้นทุกครั้งที่วิ่งไปรับโลหิตจะมีเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นหนึ่งเที่ยวเสมอ ส่วนการวิ่งรถขากลับนั้นก็เป็นการวิ่งรถเกือบจะเที่ยวเปล่าเช่นกัน เนื่องจากบรรทุกถุงโลหิตจำนวนเพียงน้อยนิดเมื่อเทียบกับความจุและปริมาตรของรถขนส่ง โดยรวมแล้วจึงมีจำนวนเที่ยววิ่งรถที่สูญเปล่ามากถึง 11 เที่ยว




**รูปที่ 5** ลักษณะการกระจายโลหิตโดยศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

ในสภาวะความเป็นจริง อาจจะมีโรงพยาบาลขอใช้โลหิตจากศูนย์มากเกือบ 100 แห่งต่อวัน ความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นจริงจะมากมายกว่าในตัวอย่างนี้หลายเท่าตัว โดยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมาจากค่าใช้จ่ายในการใช้รถ ค่าจ้างพนักงานขับรถ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าเสียโอกาส [2] ที่สำคัญคือรถขนส่งเหล่านี้ส่วนมากเป็นรถพยาบาล ซึ่งมีคุณค่ามากกว่ารถขนส่งสินค้าทั่วไปดังนั้นเพื่อช่วยปรับปรุงระบบการกระจายโลหิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบการขนส่งโลหิตเสียใหม่ อาศัยหลักการบริหารศาสตร์และแนวคิดทางธุรกิจผสมผสาน เปลี่ยนแนวคิดจากการมารับ (Pick-up) โลหิตที่ศูนย์ฯ เป็นการไล่เวียนไปส่ง (Delivery) โลหิตให้กับโรงพยาบาลทุกแห่งที่อยู่ตามเส้นทางร่วมกัน โดยศูนย์ฯ จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการกระจายโลหิต (Distribution Center, DC) เพื่อเป็นการลดเที่ยวการขนส่งให้น้อยลง และลดความแออัดของลานจอดรถที่ศูนย์ฯ และความคับคั่งของบริการหน้าเคาน์เตอร์ห้องจ่ายโลหิต เป็นการประหยัดทรัพยากรและยกระดับคุณภาพการให้บริการโลหิต

### 2.3 แนวทางวิเคราะห์ออกแบบการขนส่งโลหิต

สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับการขนส่งโลหิตของศูนย์ฯ

มีลักษณะคล้ายคลึงมากกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) ซึ่งสามารถเขียนเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ แต่การแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ไม่อาจทำได้ หรือถ้าแก้ได้บ้างก็ต้องใช้เวลานานมาก ไม่ทันต่อการใช้งาน ทางเลือกที่จำเป็นและยอมรับกันอย่างแพร่หลายคือ การหาคำตอบแบบประมาณ (Approximation Methods) ด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristic) แบบต่างๆ ซึ่งถึงแม้ว่าจะไม่ได้รับคำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็ช่วยให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด (Near Optimal Solution) ในเวลาอันรวดเร็ว ทำให้การทำงานดำเนินต่อไปได้อย่างไม่ติดขัด วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่ขาดมุมมองที่กว้างไกล เนื่องจากมุ่งหวังที่จะแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเป็นหลัก ดังนั้นในทางปฏิบัติวิธีฮิวริสติกบางอย่าง ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาให้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้ เนื่องจากมีข้อด้อย เช่น วิธี Sweep Approach จะไม่สามารถจัดสรรเส้นทางได้ดีหากศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้ตั้งอยู่ใจกลางกลุ่มลูกค้า [9]

วิธี Nearest Neighborhood เมื่อจัดเส้นทางจนถึงจุดส่งสุดท้ายแล้วก็จะต้องเชื่อมเส้นทางกลับมายังที่ศูนย์ ซึ่งในบางครั้งระยะทางช่วงสุดท้ายนี้ยาวไกลมากจนทำให้คำตอบที่ได้ไม่มีคุณภาพ สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีฮิวริสติกที่เรียกว่า Saving Algorithm ซึ่งเสนอโดย Clarke and Wright [10] เนื่องจากเป็นวิธีการจัดเส้นทางขนส่งที่เรียบง่ายใช้ได้ผลดีกับปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนลูกค้ามาก (โรงพยาบาล) เช่นงานวิจัยนี้ ใช้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบน้อย ได้รับความนิยมยอมรับกันอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลานานสามารถนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ไม่ยาก จึงมีความสะดวกและสามารถประยุกต์ใช้งานได้จริง

## 3. ระเบียบวิธีวิจัย

### 3.1 ขอบเขตการศึกษา

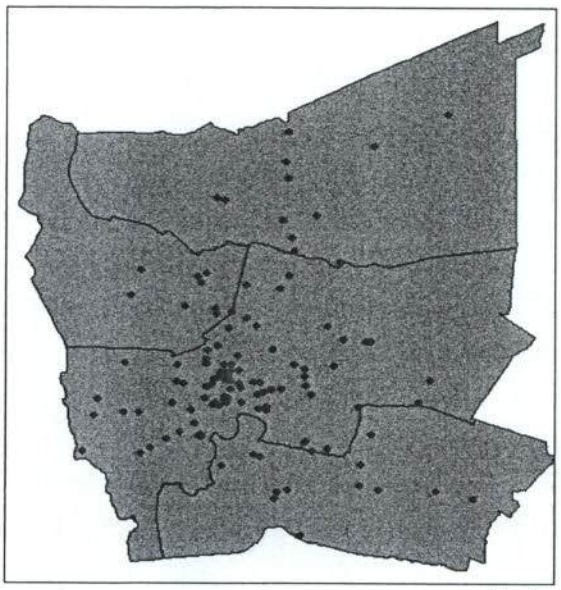
งานวิจัยนี้ศึกษา วิเคราะห์และออกแบบระบบการขนส่งโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ กับโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งมีสมาชิกโรงพยาบาลทั้งหมด 131 แห่ง รูปที่ 6 แสดงการกระจายของตำแหน่งโรงพยาบาลในเครือข่ายบนแผนที่ดิจิตอลของระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ

### 3.2 ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ลักษณะของบรรจุภัณฑ์โลหิต วิธีการขนส่ง ประเภทและชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งโลหิต ซึ่งบ่งบอกถึงขีดความสามารถในการบรรทุก และอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ที่ตั้งของโรงพยาบาลที่ร้องขอใช้โลหิต เส้นทางการขนส่ง พฤติกรรมการขนส่ง เช่น เวลาการเข้ารับบริการ ความหนาแน่น แหล่งของข้อมูลส่วนมากได้มาจากการสังเกตุเอง และการสอบถามจากเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ และผู้ที่มารอรับโลหิต

2) ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ลักษณะเนื้อหาในแบบฟอร์มขอใช้โลหิต สถิติการขอใช้โลหิต รายชื่อโรงพยาบาลสมาชิกแผนที่ดิจิตอลแหล่งของข้อมูลได้มาจากฐานข้อมูล วารสาร หนังสือ เว็บไซต์ รายงานวิจัย บทความวิชาการทั้งในและต่างประเทศ คู่มือการทำงาน และหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



**รูปที่ 6** ตำแหน่งโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

### 3.3 ตัวแบบคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหา

การออกแบบระบบการขนส่งโลหิตโดยการจัดเส้นทางการขนส่งให้มีเที่ยววิ่งน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เป็นปัญหา VRP ที่น่าสนใจมาก ปัญหาลักษณะนี้สามารถประยุกต์กับงานจริงมากมายในทางธุรกิจ และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าเป็นปัญหาคณิตศาสตร์ที่ยากมากต่อการแก้ปัญหาให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีฮิวริสติก Saving Algorithm ของ Clarke and Wright [10] ในการหาคำตอบ

Saving Algorithm พยายามรวมลูกค้า(โรงพยาบาล) หลายๆ รายให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางเดียวกันให้มากที่สุดตราบเท่าที่รถยังสามารถบรรทุกได้ การตัดสินใจว่าควรจะรวมเอาโรงพยาบาลหนึ่งๆ เข้ามาในเส้นทางเดียวกันหรือไม่ พิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนรวม (ระยะทาง) ระหว่างการแวะไปส่งโลหิตให้กับโรงพยาบาลเพิ่มขึ้น กับการวิ่งกลับมายังศูนย์โดยทันทีหากพบว่าการแวะส่งโลหิตทำให้ต้นทุนรวมลดลง (Saving) ก็ให้รวมโรงพยาบาลดังกล่าวนั้นเข้ามาในเส้นทางการขนส่งเดียวกัน Saving Algorithm จึงเป็นการเชื่อม 2 โรงพยาบาลเข้าสู่เส้นทางเดียวกันให้ได้มากที่สุดแทนการแยกกันส่งคนละเส้นทาง (หรือคนละเที่ยวนั่นเอง) หลักการคำนวณของ Saving Algorithm มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เลือกตำแหน่งที่เป็นศูนย์กลางกระจายโลหิต (Distribution Center) แล้วกำหนดเป็นจุดส่งที่ 0 ในที่นี้คือศูนย์การบริการโลหิตแห่งชาตินั่นเอง

2) คำนวณหาค่าการประหยัดที่จะผนวกเป็นเส้นทางเดียวกันของคู่โรงพยาบาล i ใดๆ ไปยังโรงพยาบาล j ใดๆ ($S_{ij}$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $C_{oi} + C_{oj} - C_{ij}$ ทั้งนี้ C หมายถึงต้นทุนค่าขนส่ง

3) เรียงลำดับค่าการประหยัด ($S_{ij}$) ที่คำนวณได้จากมากไปน้อย

4) เลือกค่าการประหยัดมากที่สุดจากคู่โรงพยาบาล i และ j โดยที่ i และ j ต้องไม่ซ้ำกัน จากนั้นสร้างเส้นทางย่อยโดยเชื่อมโรงพยาบาล i และ j เข้าด้วยกัน

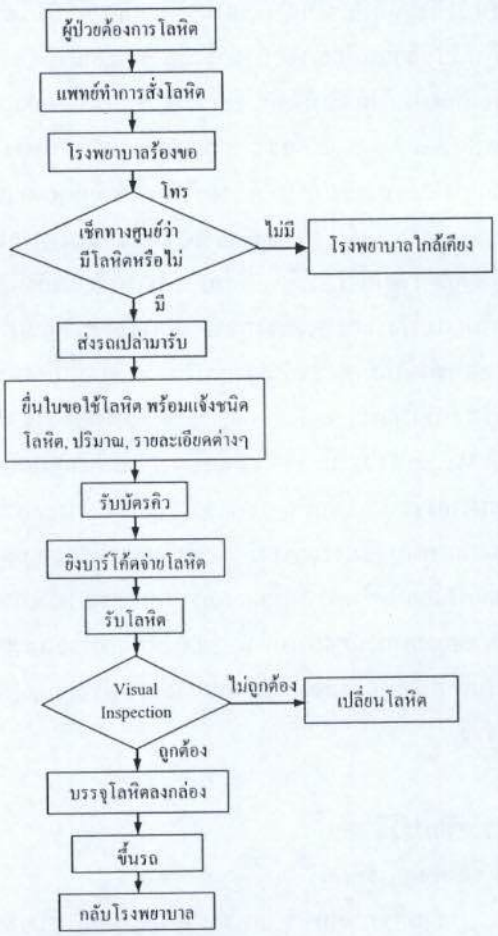
5) ทำการคำนวณตามข้อ 3) และ 4) ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกโรงพยาบาลที่มาขอรับโลหิต

ในที่สุดจะได้ผลลัพธ์เส้นทางการขนส่งซึ่งครอบคลุมทุกโรงพยาบาลตามที่ต้องการ

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ปริมาณความต้องการใช้โลหิต

กระบวนการกระจายโลหิตนั้น เริ่มจากผู้ป่วยมีความต้องการใช้โลหิต แพทย์จึงทำการสั่งโลหิตผ่านทางโรงพยาบาลต้นสังกัดให้ร้องขอโลหิตไปยังศูนย์ฯ ตามแบบฟอร์มที่กำหนด ศูนย์ฯ ทำการตรวจสอบกับคลังว่ามีโลหิตเพียงพอให้เบิกจ่ายหรือไม่ หากมีพอ โรงพยาบาลจะจัดส่งรถไปยังศูนย์ฯ เพื่อรอรับโลหิตที่ห้องจ่ายโลหิต ผู้ที่มารับโลหิตจะยื่นเอกสารใบขอใช้โลหิต จากนั้นรอคิวเรียกชื่อ รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนทั้งหมดที่เกิดขึ้น




**รูปที่ 7** ขั้นตอนการรับ - จ่ายโลหิตของศูนย์ฯ และโรงพยาบาลเครือข่าย

เมื่อถึงคิว ผู้ที่มารับโลหิตจะนำภาชนะมาบรรจุ โดยเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ จะจัดเตรียมโลหิต และยิงบาร์-โค้ดจ่ายให้กับผู้ที่มารับ จากนั้นตรวจสอบว่าได้รับโลหิตและผลิตภัณฑ์ของโลหิตตรงตามที่ขอมาหรือไม่ พร้อมทั้งตรวจสอบทางกายภาพ เช่น จำนวนโลหิต การรั่วของถุง เป็นต้น โลหิตที่ได้รับไปแต่ละครั้งอาจจะไม่เพียงพอกับความต้องการหรือเท่ากับยอดโลหิตที่ร้องขอมา เนื่องจากศูนย์ฯ ต้องสำรองไว้สำหรับโรงพยาบาลอื่นๆ หรือในกรณีฉุกเฉิน ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของเจ้าหน้าที่จ่ายโลหิตของศูนย์ฯ เมื่อได้รับโลหิตเรียบร้อยแล้ว นำโลหิตกลับไปยังโรงพยาบาลต้นสังกัด เพื่อใช้รักษาผู้ป่วยต่อไป

**ตารางที่ 1** ปริมาณความต้องการโลหิต

| วัน/เดือน/ปี | จำนวนโรงพยาบาล | จำนวนเที่ยว | จำนวนโลหิต (ถุง) | ระยะทาง (กม.) |
|---|---|---|---|---|
| 06/07/53 | 72 | 75 | 2,324 | 1,957 |
| 07/07/53 | 84 | 94 | 2,453 | 2,520 |
| 08/07/53 | 83 | 92 | 2,465 | 2,599 |
| 09/07/53 | 80 | 89 | 2,417 | 2,534 |
| 10/07/53 | 69 | 75 | 1,577 | 1,884 |
| 11/07/53 | 54 | 62 | 1,176 | 1,317 |
| 12/07/53 | 78 | 87 | 2,824 | 2,224 |
| รวม | 520 | 574 | 15,236 | 15,035 |
| เฉลี่ย | 74 | 82 | 2,176 | 2,148 |

ในแต่ละวัน มีรถจำนวนมากจากโรงพยาบาลเครือข่ายมารับโลหิตที่ศูนย์ฯ และมีจำนวนเที่ยวไม่เท่ากัน โรงพยาบาลบางแห่งอาจส่งรถมารับโลหิตมากกว่าหนึ่งเที่ยวต่อวัน จากการเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 6 – 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 สรุปได้ว่าจำนวนโรงพยาบาล จำนวนเที่ยวรถ และปริมาณความต้องการใช้โลหิตเป็นไปตามตารางที่ 1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้ว ในแต่ละวันจะมีโรงพยาบาล 74 แห่งขอใช้โลหิต คิดเป็น 82 เที่ยววิ่ง ศูนย์ฯ ต้องจ่ายโลหิต 2,176 ถุง นอกจากนี้ ยังทำการบันทึกเวลารอคอยรับโลหิต ซึ่งพบว่าโดยเฉลี่ยต้องรอนานถึง 56 นาที/คัน หรือรวมทั้งสิ้น 4,592 นาทีต่อวัน (ประมาณ 82 ชั่วโมง) การออกแบบระบบขนส่งที่ดี จะสามารถช่วยลดความสูญเสียนี้ได้มาก

### 4.2 การออกแบบปรับปรุงระบบการขนส่งโลหิต

Saving Algorithm ต้องการข้อมูลป้อนเข้า 4 ประการ ได้แก่ ตำแหน่งของศูนย์กลางการกระจาย (ในที่นี้ คือ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ) ระยะทางระหว่างศูนย์ฯ และโรงพยาบาลทั้งหลาย หรือ Travel Distance Matrix ปริมาณความต้องการใช้โลหิต และความจุของรถงาน วิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลแผนที่ดิจิตอลจากชุดข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ด้านเส้นทางคมนาคม (Transport Fundamental Geographic Data Set, TFGDS) ของสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม เมื่อกำหนดข้อมูลรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์ฯ และโรงพยาบาลเครือข่ายทั้งหมดลงบนแผนที่ดิจิตอลแล้ว สามารถคำนวณ Travel Distance Matrix, $d_{ij}$ ได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (Geographic Information System, GIS) ArcMap รุ่น 9.3 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ระยะทางที่สั้นที่สุดตามโครงข่ายถนนระหว่างจุด (ศูนย์ฯ หรือโรงพยาบาล) i และ j ใดๆ ตารางที่ 2 แสดงลักษณะตัวอย่างของผลลัพธ์ โดยการสมมุติว่าต้นทุนค่าขนส่ง C แปรผันตามระยะทาง ในที่นี้จึงใช้ $d_{ij}$ เป็นตัวแทนของต้นทุนค่าขนส่ง C

**ตารางที่ 2** ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างศูนย์ฯ และโรงพยาบาลในเครือข่าย (หน่วยเป็นเมตร)

| $d_{ij}$ | ปลายทาง | 0 | 1 | .. | 131 |
|---|---|---|---|---|---|
| เริ่มต้น | สถานที่ | ศูนย์ฯ | 001001 | : | 104206 |
| 0 | ศูนย์ฯ | 0 | 163 | .. | 18,870 |
| 1 | 001001 | 377 | 0 | .. | 18,930 |
| .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| 131 | 104206 | 18,863 | 19,134 | .. | 0 |

โดยกำหนดให้

ศูนย์ฯ = ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ (0)

001001 = โรงพยาบาลที่ 1

001101 = โรงพยาบาลที่ 2

...

104206 = โรงพยาบาลที่ 131

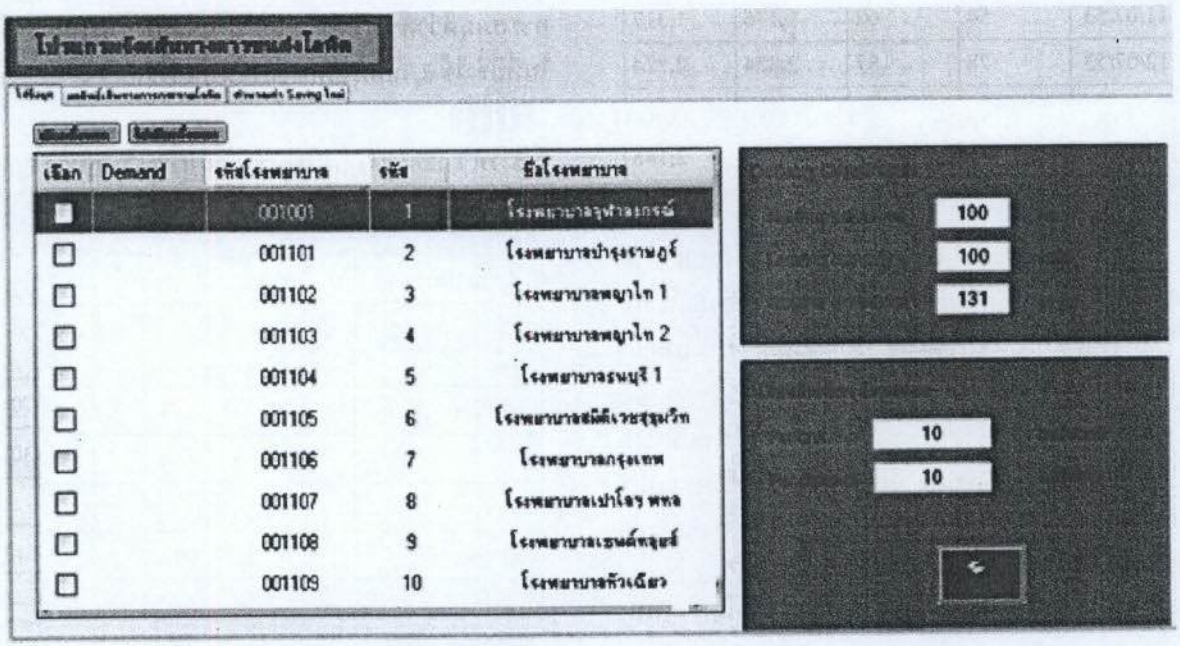
สำหรับข้อมูลปริมาณความต้องการใช้โลหิตของแต่ละโรงพยาบาลได้มาจากการสำรวจภาคสนามและสรุปไว้ในตารางที่ 1 ในการวิเคราะห์จะกำหนดให้ใช้รถตู้เป็นรถขนส่งต้นแบบ ซึ่งสามารถบรรทุกโลหิตได้ไม่เกิน 600 ถุง

ข้อมูลทั้งหมดถูกบันทึกเป็นฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Access ในส่วนของการพัฒนา Saving Algorithm นั้น เขียนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Visual Basic 2008 ออกแบบให้มีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ที่เข้าใจง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ลักษณะของโปรแกรมที่ออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นหน้าจอของโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลพื้นฐานก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ออกแบบจัดเส้นทางขนส่ง ในหน้าจอนี้ผู้ใช้สามารถเลือกโรงพยาบาลที่ต้องการกระจายโลหิต กำหนดปริมาณความต้องการและข้อจำกัดต่างๆ เช่น ระยะทางขนส่งไกลที่สุดของแต่ละเส้นทาง ข้อจำกัดด้านน้ำหนักบรรทุก จำนวนจุดส่งตลอดเส้นทาง ได้ตามต้องการ ทำให้มีความยืดหยุ่นมากต่อการใช้งาน

เมื่อใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้คำนวณมูลค่าการประหยัด $S_{ij}$ ซึ่งวัดในหน่วยของระยะทาง (d) จะได้ผลลัพธ์ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ตัวอย่างการคำนวณค่าการประหยัด, เมตร

| คู่ โรงพยาบาล | $d_{oi}$ (เมตร) | $d_{jo}$ (เมตร) | $d_{ij}$ (เมตร) | $S_{ij}$ (เมตร) |
|---|---|---|---|---|
| $S_{1,2}$ | 913 | 4,780 | 3,153 | 2,540 |
| $S_{1,3}$ | 913 | 4,016 | 3,259 | 1,670 |
| .. | .. | .. | .. | .. |
| .. | .. | .. | .. | .. |
| .. | .. | .. | .. | .. |
| $S_{131,129}$ | 19,751 | 28,557 | 33,130 | 15,178 |
| $S_{131,130}$ | 19,751 | 41,997 | 47,832 | 13,916 |




รูปที่ 8 โปรแกรมการจัดเส้นทางการขนส่งโลหิต

ตัวอย่างของการจัดเส้นทางการขนส่งโลหิตสำหรับวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 โดยวิธีฮิวริสติก Saving Algorithm แสดงไว้ในตารางที่ 4 ซึ่งสรุปได้ว่าหากนำระบบขนส่งที่ออกแบบนี้ไปใช้งานในวันดังกล่าว จะต้องขนส่งโลหิตทั้งสิ้นเพียง 17 เที่ยว ระยะทางขนส่งรวม 793 กม. กลุ่มของโรงพยาบาลบนเส้นทางต่างๆ แสดงไว้อย่างละเอียดในตาราง

**ตารางที่ 4** ผลลัพธ์การจัดเส้นทางการขนส่งโลหิต

| เส้นทางที่ | เส้นทาง | ระยะทางรวม (เมตร) |
|---|---|---|
| 1 | 0-105-114-104-109-47-0 | 98,444 |
| 2 | 0-65-56-73-63-46-0 | 57,588 |
| 3 | 0-78-106-107-110-57-0 | 98,821 |
| 4 | 0-121-124-128-116-126-0 | 96,895 |
| 5 | 0-35-58-36-61-115-0 | 44,770 |
| 6 | 0-11-38-86-50-66-0 | 60,632 |
| 7 | 0-102-100-99-31-0 | 52,434 |
| 8 | 0-30-58-124-122-28-0 | 36,700 |
| 9 | 0-17-103-97-24-82-0 | 61,646 |
| 10 | 0-13-52-40-123-39-0 | 56,066 |
| 11 | 0-6-22-19-30-0 | 19,077 |
| 12 | 0-120-93-16-91-74-0 | 29,538 |
| 13 | 0-76-79-70-68-4-0 | 13,511 |
| 14 | 0-85-84-33-83-0 | 32,491 |
| 15 | 0-81-3-92-2-0 | 10,929 |
| 16 | 0-14-69-25-0 | 6,119 |
| 17 | 0-71-20-10-9-0 | 17,665 |
| ระยะทางรวม | | 793,326 |

หากเปรียบเทียบกับสภาพการขนส่งที่เกิดขึ้นจริงเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 ซึ่ง 84 โรงพยาบาล ในเครือข่าย (จากตารางที่ 1) ต้องส่งรถมายังศูนย์ฯ เพื่อรอรับโลหิต ระยะทางการวิ่งรถทั้งหมดสูงถึง 2,520 กม. เมื่อเทียบกับระบบขนส่งที่มีการจัดเส้นทางเสียใหม่ เห็นได้ชัดเจนว่ามีความประหยัดกว่ามาก จำนวนเที่ยววิ่งรถน้อยลงไป 67 เที่ยว ประหยัดระยะทางการขนส่งได้มากถึง 1,727 กม. หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้น 68.53% เห็นได้ชัดว่าหากมีการวิเคราะห์ออกแบบระบบขนส่งโลหิตเสียใหม่ จะสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งโลหิตได้อย่างมาก และช่วยให้ประเทศชาติประหยัดพลังงานในภาคการขนส่งอีกด้วย

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาโซ่อุปทานโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย พบว่าระบบการขนส่งโลหิตที่ปฏิบัติกันอยู่ในปัจจุบันยังสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้อีกมาก การที่แต่ละโรงพยาบาลต้องวิ่งรถเที่ยวเปล่ามารอรับโลหิตไปจากศูนย์ฯ เสียทั้งเงิน เวลา และโอกาสในการนำรถขนส่งซึ่งส่วนมากเป็นรถพยาบาลไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น งานวิจัยนี้ใช้ความรู้ด้านบริหารศาสตร์และแนวคิดทางธุรกิจโลจิสติกส์มาออกแบบระบบขนส่งโลหิตให้มีจำนวนเที่ยวการขนส่งน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แทนที่แต่ละโรงพยาบาลจะต้องส่งรถมารับโลหิตเอง เปลี่ยนเป็นการกระจายโลหิตออกจากศูนย์กลางไปให้โรงพยาบาลต่างๆ ที่อยู่ตามเส้นทางร่วมกัน โดยจำลองปัญหาการขนส่งที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาการจัดเส้นทางและวิเคราะห์ด้วยวิธีฮิวริสติก Saving Algorithm ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริงพบว่าสามารถลดจำนวนเที่ยววิ่งขนส่งได้เป็นจำนวนมากถึง 67 เที่ยว ระยะทางขนส่งรวมลดลง 1,727 กม. เมื่อนำไปใช้งานจริงย่อมสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้อย่างแน่นอน

## 6. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ มุ่งมั่นที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของกิจกรรมต่างๆ ตลอดห่วงโซ่อุปทานศูนย์ฯ ได้ดำเนินการไปหลายแผนงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นกิจกรรมโลจิสติกส์ภายในองค์กร เช่น การจัดเก็บ การควบคุมคุณภาพ ซึ่งศูนย์ฯ สามารถบริหารจัดการได้อย่างมีมาตรฐาน ส่วนหนึ่งคงเป็นเพราะว่าบุคลากรมีความรู้ความสามารถตรงกับลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ อย่างไรก็ตาม

สำหรับงานด้านการขนส่งโลหิตนั้น เป็นศาสตร์ที่ต้องเรียนรู้เพิ่มทำให้การพัฒนาเป็นไปอย่างช้าๆ ประกอบกับภาระหน้าที่ความรับผิดชอบขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลนั้น เป็นของโรงพยาบาลในเครือข่าย ค่าใช้จ่ายมิได้เกิดกับศูนย์ฯโดยตรง ความเร่งรีบในการปรับปรุงจึงอาจจะไม่มากเท่าที่ควร เนื่องจากความประหยัดที่เกิดขึ้นไม่ได้ตกอยู่กับศูนย์ฯ แต่เป็นของโรงพยาบาล ศูนย์ฯ เองก็ไม่มีบุคลากรที่เชี่ยวชาญด้านการขนส่ง ดังนั้นแนวทางในการลงทุนจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ทางออกที่ดีที่สุด อาจจะเป็นการให้โรงพยาบาลในเครือข่ายร่วมกันรับผิดชอบมูลค่าการลงทุนในระบบที่ออกแบบไว้ และว่าจ้างบริษัทขนส่งหรือโลจิสติกส์ที่มีความชำนาญรับไปดำเนินการ ซึ่งหากเป็นเช่นนี้ ศูนย์ฯ ก็ไม่จำเป็นต้องรับภาระค่าใช้จ่ายในการลงทุน และทำให้ระบบที่ออกแบบไว้มีความเป็นไปได้สูงในการนำไปปฏิบัติ

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจาก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และมหาวิทยาลัยมหิดล ภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ขอบพระคุณแพทย์หญิงสร้อยสอางค์ พิกุลสด ผู้อำนวยการ นาวาโท แพทย์หญิง อุบลวัฒณ์ จรูญเรืองฤทธิ์ รองผู้อำนวยการ และเจ้าหน้าที่ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งระหว่างการสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม

## เอกสารอ้างอิง

[1] พรชนก โพธิ์บัณฑิตย์, สมชาย ปฐมศิริ, 2554. การวิเคราะห์รูปแบบและต้นทุนการกระจายโลหิตในประเทศไทย. **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการแห่งชาติ 2010.** 16 – 17 ธันวาคม 2553.

[2] ปภัสสร สุขาบูรณ์, สมชาย ปฐมศิริ, 2554. ประเด็นปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล กรณีศึกษาของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย. **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการแห่งชาติ 2010.** 16 – 17 ธันวาคม 2553.

[3] Rytila, J.S., Spens, K.M., 2006. Using simulation to increase efficiency in blood supply chain. **Management Research News,** 29 (12): 801-819.

[4] Sime S.L., 2005. Strengthening the service continuum between transfusion providers and suppliers: enhancing the blood services network. **Transfusion,** 45 (October): 206 – 223.

[5] Koch, O., Weigl, H., 2003. Modeling ambulance service of the Austrian Red. **Proceeding of the 2003 Winter Simulation.** [online] Available: http://www.informs-sim.org/ wsc03papers/ 217 .pdf (1 December 2011).

[6] Katsaliaki K., 2008. Cost-effective practices in the blood service sector. **Health Policy,** 86: 276 – 287.

[7] Bosnes V., Aldrin M., Heier H.E., 2005. Predicting blood donor arrival. **Transfusion,** 45 (February): 162 – 170.

[8] Nuchprayoon, C., 2010. National Blood Centre: Dream and reality, **National Annual Scientific Conference on Transfusion Medicine,** (March): 1 - 9.

[9] Laporte G., Gendreau M., Potvin J., Semet F., 2000 Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transactions in Operational Research,** 7: 285 – 300.

[10] Clarke, G., and J. W. Wright (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations Research 4** (12): 568 - 581.