

**ANALYSIS AND DESIGN OF BLOOD DISTRIBUTION
IN BANGKOK METROPOLITAN REGION: A CASE STUDY FOR
THE NATIONAL BLOOD CENTER, THAI RED CROSS SOCIETY**

PAPASSORN SUKABOON

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
(INDUSTRIAL ENGINEERING)
FACULTY OF GRADUATE STUDIES
MAHIDOL UNIVERSITY
2013**

COPYRIGHT OF MAHIDOL UNIVERSITY

Thesis
entitled

**ANALYSIS AND DESIGN OF BLOOD DISTRIBUTION
IN BANGKOK METROPOLITAN REGION: A CASE STUDY FOR
THE NATIONAL BLOOD CENTER, THAI RED CROSS SOCIETY**

.....
Ms. Papassorn Sukaboon
Candidate

.....
Asst. Prof. Somchai Pathomsiri,
Ph.D. (Transportation Systems
Engineering and Planning)
Major advisor

.....
Assoc. Prof. Duangpun Singkarin,
Ph.D. (Manufacturing Engineering
and Operation)
Co-advisor

.....
Asst. Prof. Warakorn Charoensuk,
Ph.D. (Electrical Engineering)
Co-advisor

.....
Prof. Banchong Mahaisavariya,
M.D., Dip Thai Board of Orthopedics
Dean
Faculty of Graduate Studies
Mahidol University

.....
Asst. Prof. Thanakorn Naenna,
Ph.D. (Engineering Science)
Program Director
Master of Engineering Program in
Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Mahidol University

Thesis
entitled

**ANALYSIS AND DESIGN OF BLOOD DISTRIBUTION
IN BANGKOK METROPOLITAN REGION: A CASE STUDY FOR
THE NATIONAL BLOOD CENTER, THAI RED CROSS SOCIETY**

was submitted to the Faculty of Graduate Studies, Mahidol University
for the degree of Master of Engineering (Industrial Engineering)

on
March 26, 2013

.....
Ms. Papassorn Sukaboon
Candidate

.....
CDR. Ubonwon Charoonruangrit,
M.D., Dip Thai Board of Clinical Pathology
Chair

.....
Asst. Prof. Somchai Pathomsiri,
Ph.D. (Transportation Systems
Engineering and Planning)
Member

.....
Asst. Prof. Warakorn Charoensuk,
Ph.D. (Electrical Engineering)
Member

.....
Assoc. Prof. Duangpun Singkarin,
Ph.D. (Manufacturing Engineering
and Operation)
Member

.....
Prof. Banchong Mahaisavariya,
M.D., Dip Thai Board of Orthopedics
Dean
Faculty of Graduate Studies
Mahidol University

.....
Lect. Worawit Isarangkul,
M.S. (Technical Management)
Dean
Faculty of Engineering
Mahidol University

ACKNOWLEDGEMENTS

This research project is supported by the Office of the Higher Education Commission (OHEC) and Mahidol University under the National Research Universities initiative. Facilities and analytical tools were kindly provided by the Transportation, Traffic and Logistics EXpert Center (T-LEX Center), Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University. Special thanks go to officials and the administrators of the National Blood Center (NBC), The Thai Red Cross Society, for all the great cooperation and assistance during the course of this research. I hope the knowledge I have learned from them for developing the redesigned blood distribution in this thesis will benefit their operation in return

I also would like to express deep appreciation to Assistant Professor Dr. Somchai Pathomsiri, my academic advisor, for his useful concepts in compiling this thesis that will eventually benefit the operations of the NBC in the short and long runs. I very much thank my co-advisors; namely, Associate Professor Dr. Duangpun Singkarin and Assistant Professor Dr. Warakorn Charoensuk for their constructive comments and suggestions. Last but not Least, I thank Dr. Ubonwon Charoonruangrit, the Deputy Director of the National Blood Center, Thai Red Cross Society very much for serving as the chairperson on my thesis examination committee.

Finally, I thank my family, friends, and all involved persons at Mahidol University who have been always supportive and standing by me all the time. Particularly, I am enormously indebted to my father and mother who have been continuously giving me great support for my study and this research.

Papassorn Sukaboon

ANALYSIS AND DESIGN OF BLOOD DISTRIBUTION IN BANGKOK
METROPOLITAN REGION: A CASE STUDY FOR THE NATIONAL BLOOD
CENTER, THAI RED CROSS SOCIETY

PAPASSORN SUKABOON 5237553 EGIE/M

M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)

THESIS ADVISORY COMMITTEE: SOMCHAI PATHOMSIRI, Ph.D.,
DUANGPUN SINGKARIN, Ph.D., WARAKORN CHAROENSUK, Ph.D.

ABSTRACT

This research was initiated to analyze and design a better blood distribution system from the National Blood Center (NBC) to hospitals in Bangkok Metropolitan Region. Based on the field data and analysis, there are about 80 hospitals dispatching a variety of vehicles for more than 100 trips daily to pick up blood at the NBC. It is obvious that such distribution creates many empty movements from both front- and back-haul, when compared to the total vehicle capacity. As a result, the total cost of the current blood distribution is as high as 26,031,533 Baht per year. Therefore, this study developed a program a more efficient blood distribution system by using a saving algorithm to solve the efficient routing. The objective was to minimize distance or travel time of blood distribution. The routes were designed by using maximum travel time as a constraint, and the total distance decreased by more than 50% so that the average distance is 960 km/day. The fleet of vehicles that is needed for blood distribution should have 12 vehicles. Each vehicle can deliver blood for two trips per day, which are during 09.00-12.00 a.m. and 01.00-04.00 p.m. before returning to the NBC. Therefore, this new system has been proven to be beneficial in reducing the number of empty trips and save energy.

KEY WORDS: BLOOD / NATIONAL BLOOD CENTER / DISTRIBUTION /
BLOOD SUPPLY CHAIN / HEURISTIC

275 pages

การวิเคราะห์และออกแบบการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล กรณีศึกษา:
ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย

ANALYSIS AND DESIGN OF BLOOD DISTRIBUTION IN BANGKOK METROPOLITAN
REGION: A CASE STUDY FOR THE NATIONAL BLOOD CENTER, THAI RED CROSS
SOCIETY

ปภััสสร สุขาบุรณ์ 5237553 EGIE/M

วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : สมชาย ปฐมศิริ, Ph.D., ดวงพรรณ ศฤงคารินทร์, Ph.D.,
วรากร เจริญสุข, Ph.D.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วิเคราะห์และออกแบบการกระจายโลหิต จากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ให้กับโรงพยาบาลต่างๆ ในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล การวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบัน พบว่า ในแต่ละวันมีโรงพยาบาลประมาณ 80 แห่งส่งรถมาขอรับโลหิต แต่ละเที่ยวได้รับโลหิตไปน้อยมาก เมื่อเทียบกับความจุของรถ จึงเห็นได้ชัดเจนว่าทุกวันจะมีปริมาณรถเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นมากมายทั้งขาไปและขากลับ ทำให้เกิดต้นทุนอันสืบเนื่องมาจากระบบการกระจายโลหิตตามสภาพปัจจุบันสูงถึง 26,031,533 บาท/ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมสำหรับจัดเส้นทางการกระจายโลหิต ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบ Saving algorithm ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และใช้เวลาในการประมวลผลน้อย สามารถกำหนดข้อจำกัดทางด้านระยะทางหรือระยะเวลาในการเดินทางได้ตามที่ต้องการ ผลลัพธ์เส้นทางที่ได้ทำให้ระยะทางหรือระยะเวลาขนส่งรวมต่ำที่สุด การจัดเส้นทางใหม่โดยใช้ข้อจำกัดด้านระยะเวลาเดินทางนั้นสามารถลดระยะทางลงไปมากกว่า 50% โดยเฉลี่ย 960 กม./วัน ผู้รถที่ใช้ควรมีอย่างน้อย 12 คัน ขนส่งโลหิต 2 เที่ยว/วัน คือ ช่วงเวลา 09.00-12.00 น. และ 13.00-16.00 น. จากนั้นกลับมายังศูนย์ฯ ซึ่งจะช่วยลดจำนวนเที่ยวเปล่าและประหยัดพลังงานในการขนส่งได้เป็นอย่างมาก

CONTENTS

	Page
ACKNOWLEDGEMENTS	iii
ABSTRACT (ENGLISH)	iv
ABSTRACT (THAI)	v
LIST OF TABLES	x
LIST OF FIGURES	xiv
CHAPTER I INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Objective	4
1.3 Scope of the research	4
CHAPTER II LITERATURE REVIEW	5
2.1 Blood service	5
2.1.1 Characteristics of blood service in Thailand	5
2.1.2 Characteristics of blood service in other countries	7
2.2 Blood distribution problems	10
2.3 Blood transportation: research and practice	12
2.4 Vehicle routing management for regular product delivery	15
2.4.1 Exact algorithm	16
2.4.2 Heuristics	17
CHAPTER III RESEARCH METHODOLOGY	25
3.1 Research data	25
3.1.1 Characteristics of required data	25
3.1.2 Methods for data collection	26
3.2 Analytical tools	28
3.3 Mathematical model and solution approach	29
3.4 Data analysis	30
3.5 The assessment of transportation cost	32

CONTENTS (cont.)

	Page
3.5.1 Analysis on transportation cost occurring during blood distribution	33
3.5.2 Designing new routing for blood distribution	34
3.6 Research procedure	34
CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSION	38
4.1 Case study	38
4.2 Data collection	39
4.2.1 Data from the NBC	40
4.2.2 Secondary data	45
4.3 The blood supply chain in Thailand	53
4.3.1 Recruitment and collection of blood	55
4.3.2 Testing, processing and storage of blood	62
4.3.3 Distribution of blood and blood products to hospitals in network	64
4.3.4 Using blood components	65
4.4 Blood distribution in Bangkok Metropolitan Region (BMR)	66
4.5 Data analysis	76
4.5.1 Blood demand	76
4.5.2 Travel distance	78
4.5.3 Travel speed	85
4.5.4 Capacity	86
4.6 Assessment of the current transportation cost	86
4.6.1 Fixed costs	87
4.6.2 Variable costs	89
4.6.3 Opportunity cost	91
4.6.4 Total cost	93

CONTENTS (cont.)

	Page
4.7 Re-designing blood distribution	93
4.7.1 Input preparation	94
4.7.2 Mathematical model and solution approach	98
4.7.3 Program development	99
4.7.4 Program testing	100
4.7.5 Routing design for blood distribution in BMR	101
4.7.6 Comparison of transportation costs	129
4.8 Summary	132
CHAPTER V CONCLUSIONS	141
5.1 Blood distribution in Thailand (BMR): Current and practice issues	141
5.2 Designing of an efficient blood distribution system	143
5.3 Fair price for outsourcing blood distribution service	145
5.4 Policy implication	146
5.5 Recommended future research	147
REFERENCES	150
APPENDICES	155
Appendix A Daily blood demand by hospital during July 6-12, 2010	156
Appendix B Program testing with three examples	167
Appendix C Results from route rearrangement for blood distribution (Constrained by maximum distance) during July7-12, 2010	175
Appendix D Results from route rearrangement for blood distribution (Constrained by maximum travel time) during July 7-12, 2010	195

CONTENTS (cont.)

		Page
APPENDICES (cont.)		
Appendix E	Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 7-12, 2010	215
Appendix F	Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 7-12, 2010	227
Appendix G	A certificated of best-paper award (honorary mention) from the National Conference on Industrial Engineering 2010	239
Appendix H	A publication in the National Conference on Industrial Engineering 2010	240
Appendix I	A publication in the IE Network Conference 2011	246
Appendix J	A publication in the Journal of Engineering, RMUTT	251
Appendix K	A publication in the 8 th National Transport Conference	261
Appendix L	A publication in the International Conference on Industrial Engineering and System 2013 (ICIESM 2013), Barcelona, Spain, February 27-28, 2013	268
BIOGRAPHY		274

LIST OF TABLES

Table	Page
2.1 Characteristics of blood service in certain countries	7
2.2 Blood transportation: research and practice	12
2.3 Characteristics of vehicle routing problems	15
2.4 Examples of researches conducted to solve various vehicle routing problems	20
4.1 Hospitals in the blood service network	48
4.2 Temperature ranges of blood components to be controlled during the storage	64
4.3 Temperature ranges of blood components to be controlled during the transportation	75
4.4 Price by blood type	76
4.5 Blood demand based on field survey during July 6 – 12, 2010	77
4.6 An example of the distance matrix	84
4.7 Travel distance and time during July 6-12, 2010	84
4.8 Assessment of fixed cost for blood distribution in BMR	89
4.9 Assessment of the variable cost for blood distribution in BMR	90
4.10 Assessment of the opportunity cost of vehicles	91
4.11 Assessment of the opportunity cost of vehicles	92
4.12 Example of blood demand during 6 th – 12 th July 2010	98
4.13 Computing times derived from testing the program by specifying the maximum distance of 100 km.	107
4.14 Computing times derived from testing the program by specifying the maximum travel time of three hours	110
4.15 Blood demand during July 6-12, 2010	112
4.16 The blood expense during July 6-12, 2010	113

LIST OF TABLES (cont.)

Table	Page
4.17 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 6 th July 2010	118
4.18 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 6 th July 2010	124
4.19 Comparison of costs between the current system and the new system when constrained on 100-km maximum distance	130
4.20 Comparison of costs between the current system and the new system when constrained three-hour maximum travel time	131
4.21 Summary of routing design by using 100-km maximum distance as the constraint	133
4.22 Summary of routing design by using three-hour maximum travel time as the constraint	133
4.23 Schedule route constrained on 100-km maximum distance	136
4.24 Schedule route constrained three-hour maximum travel time	138
A.1 Blood demand during 6 th – 12 th July 2010	157
B.1 Demand for products by customer	167
B.2 Distance matrix for the nine-node example (kilometers)	167
B.3 Distance matrix for the ten-node example (kilometers)	169
B.4 Saving matrix from the calculation	170
B.5 Quantities of products to be picked up at each point	171
B.6 Demand for product by customer: Example B.3	172
B.7 Distance matrix for the seven-node example (kilometers)	173
C.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 7 th July 2010	176
C.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 8 th July 2010	180

LIST OF TABLES (cont.)

Table	Page
C.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 9 th July 2010	184
C.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 10 th July 2010	187
C.5 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 11 th July 2010	190
C.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 12 th July 2010	192
D.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 7 th July 2010	196
D.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 8 th July 2010	199
D.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 9 th July 2010	202
D.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 10 th July 2010	206
D.5 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 11 th July 2010	209
D.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 12 th July 2010	211
E.1 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 7 th 2010	216
E.2 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 8 th 2010	218
E.3 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 9 th 2010	220

LIST OF TABLES (cont.)

Table	Page
E.4 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 10 th 2010	222
E.5 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 11 th 2010	224
E.6 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 12 th 2010	225
F.1 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 7 th 2010	228
F.2 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 8 th 2010	230
F.3 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 9 th 2010	232
F.4 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 10 th 2010	234
F.5 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 11 th 2010	236
F.6 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 12 th 2010	237

LIST OF FIGURES

Figure	Page
1.1 Characteristics of blood distribution in BMR by the NBC	3
3.1 The interface of DNR Garmin version 5.04.0001	31
3.2 The assessment of transportation cost	33
3.3 Procedures for conducting the research	36
4.1 The head quarter building	39
4.2 An officer is explaining about methods for packing blood	41
4.3 Meeting with NBC's administrators and key persons	42
4.4 The researcher is interviewing the operational staff	43
4.5 A participative observation performed with the NBC's officers at Mochit bus terminal	44
4.6 A participative observation with the NBC's officers at Don Muang Airport	44
4.7 The blood was delivery to blood bank of a network hospital	45
4.8 DNR Garmin to convert coordinates of the hospitals from KML format to the Shapefile format	46
4.9 Parameters for setting projection in DNR Garmin	47
4.10 Locations of hospitals in the NBC network in Bangkok Metropolitan Region	48
4.11 The blood supply chain in BMR	54
4.12 The amount of blood required in 20 th July 2010	55
4.13 Procedures of blood donation on the board at the NBC	56
4.14 Donors fill in the form of donated blood	57
4.15 Donors are waiting for their queues in front of the blood donor selection room	58
4.16 Blood donor registration	59
4.17 Donors are waiting for their queues to have their blood drawn	60

LIST OF FIGURES (cont.)

Figure	Page
4.18 Relaxing and taking a rest after donating blood	61
4.19 The process of centrifugation and filter whole blood	63
4.20 The blood bank of the NBC	64
4.21 The vehicles was send to receive blood directly from the NBC	65
4.22 Procedures of blood distribution	66
4.23 The blood receiving and distributing processes of the NBC and the hospitals in the blood service network	67
4.24 The blood request form of the NBC	70
4.25 The basket for putting the blood request form together with the hospital card	71
4.26 Some examples of blood containers from hospitals in the blood service network	71
4.27 Scanning blood bags with a barcode scanner before giving to the hospital staff	72
4.28 An ambulance that came to pick up blood at the NBC	73
4.29 A car of a hospital that came to pick up at the NBC	74
4.30 A pick up that came to pick up blood at the NBC	74
4.31 A motorcycle of a hospital that came to pick-up blood at the NBC	75
4.32 The Layer Properties of the Network Dataset layer	79
4.33 Selecting load locations of origins and destinations	80
4.34 Determining the load locations of origins and destinations	81
4.35 An example of the O-D connection between the NBC and Thonburi hospital	82
4.36 The attribute table of the route dataset with the information on travel distances and times	83
4.37 Speed zones as determined by distances away from the Victory Monument	85
4.38 Designing process for the better blood distribution system	94
4.39 The database with details of the hospitals in the blood service network	95
4.40 An example of the distance matrix stored in the database	96

LIST OF FIGURES (cont.)

Figure	Page
4.41 An example of the time matrix stored in the database	97
4.42 The interface of the program for designing blood distribution routes	99
4.43 The window of developer program	102
4.44 User interface of the program for designing blood distribution routes	103
4.45 Constraints on routing	104
4.46 Display for default constraints	105
4.47 The trend of computing times constrained by the maximum distance of 100 km	108
4.48 The trend of computing times by the maximum travel time of three hours	111
4.49 Unit cost of the distribution expense	111
4.50 The message box that appears after the program has finished running	115
4.51 Resulting routes for blood distribution	116
B.1 Selecting customers and specifying their demands: example B.1	168
B.2 Results from designing product delivery routes by using the program: example B.1	169
B.3 Selecting customers and specifying their demands: example B.2	171
B.4 Results from designing product delivery routes by using the program, under the condition of 23-unit vehicle capacity	171
B.5 Results from designing product delivery routes by using the program, under the condition of 16-unit vehicle capacity	172
B.6 Selecting customers and specifying their demands: example 3	173
B.7 The result of route design for Example B.3	174
G.1 A certification of best paper award (honorary mention) from the National Conference on Industrial Engineering 2010	239

CHAPTER I

INTRODUCTION

1.1 Background

The National Blood Center (NBC), Thai Red Cross Society is responsible for national blood services and essential to the daily life of Thai people for a long time. The objective of blood donation is to supply to patients, injuries, surgeries and also stored for the future patients. Prior to being distributed to hospitals, donated blood needs to be examined to ensure that it passes standards of the Ministry of Public Health or the World Health Organization. Since the treatment result depends on quantity and quality blood; therefore, it should be the most fresh and safe. The screening process will test for blood types (using ABO system, Rh system, etc.), and blood diseases such as syphilis, hepatitis B (HBsAb), hepatitis C virus (HCV), aids (HIV), and so on. Donated blood can be decomposed to obtain suitable compositions for requirements of patients, which have three major compositions namely red blood cell, plasma, and platelets. In each day, the demand for blood products continues to increase (Delen et al, 2009). To provide a good service, the NBC should have the efficient process, especially regarding the aspect of blood transportation to patients.

The NBC collects blood in order to distribute it to hospitals in various areas. There are two main areas that receive blood service from the NBC: Bangkok Metropolitan Region (BMR), and regional areas throughout the country. In case of regional areas, the NBC provides blood service to patients via 12 Regional Blood Centers (RBCs), the Special Regional Blood Center at Phuket, and hospitals that are members of the RBCs. In Bangkok, there is a high requirement of blood. About 57 percent of donated blood is supplied for hospitals around Bangkok Metropolitan Region (BMR). Meanwhile, the remaining 43 percent of the blood is supplied for the rest areas through hospitals and RBCs (Nuchprayoon, 2010). According to the process, doctors place orders for blood to the hospital for their patients. The hospital manager then places orders to the center (Katsaliaki, 2008). Afterward, the NBC will submit the request and prepare blood to

transfer by a vehicle from the hospital. Most of the vehicles are empty trips (See the distribution characteristic in Figure 1.1)

There are a lot of vehicles to pick up units of blood at the NBC every day. Each vehicle is usually empty for inbound trip and a little loaded for outbound. Thus, it wastes a lot amount of fuel per year. Moreover, a route might not be the shortest path because the selection of the route is usually based on experience. In addition, the drivers have to spend a long time to wait for only few blood units due to crowded queues from different hospitals. Instead of emergency treatment, the vehicles have to waste too much time and fuel for blood transportation.

Thus, the logistics for blood distribution should be improved. In theory, it can be improved to be a better blood distribution process. As a result, the study will cover a current process analysis, followed by the design of a new process which aims to increase the efficiency of the distribution problem. In conclusion, the purpose of research is not only to reduce a huge amount of fuel usage, but it will also improve the healthcare service in Thailand.

Figure 1.1 shows the blood distribution characteristics in Bangkok area. Suppose that there are only 11 hospitals (in fact, more than 130 daily) which dispatch their own vehicles to pick-up requested blood and/or blood products at the NBC. In effect, it shows that there are 11 empty trips (dash lines) of inbound vehicles because of unloaded vehicle (E label).

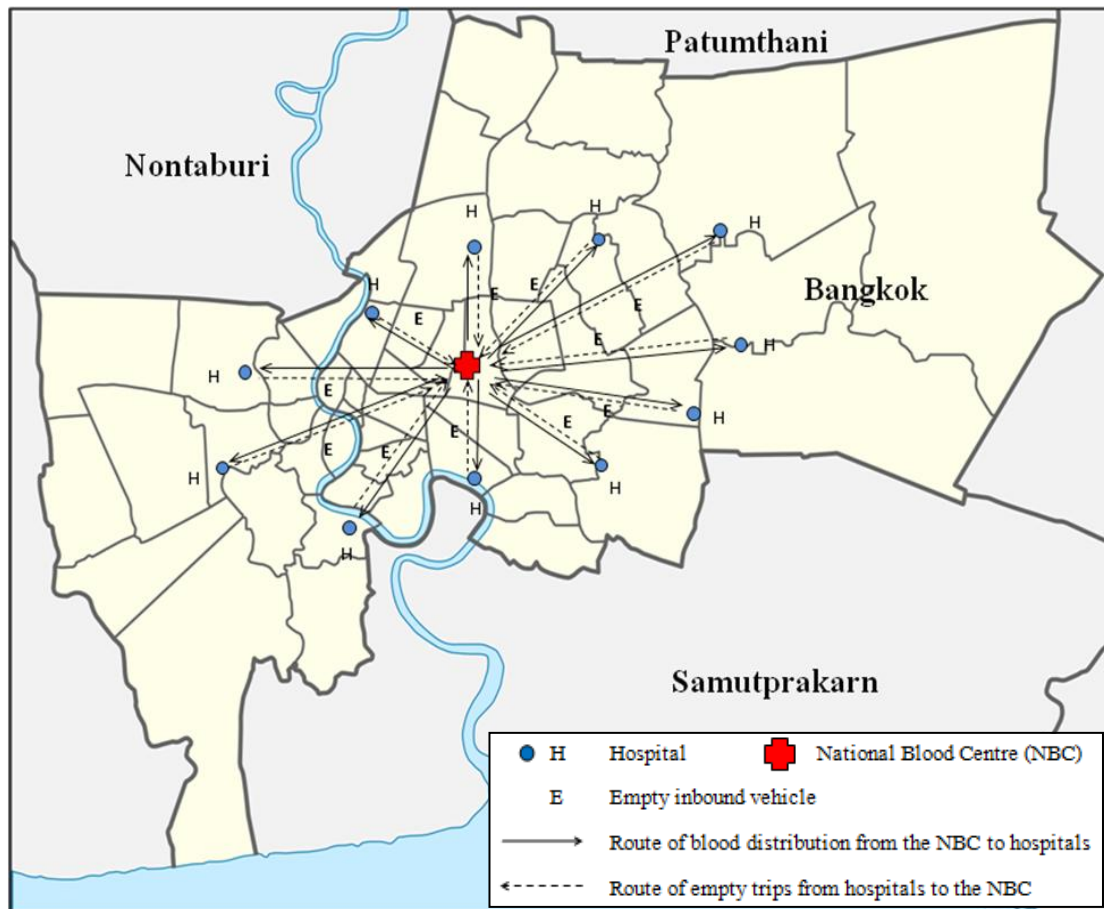


Figure 1.1 Characteristics of blood distribution in BMR by the NBC

In fact, there are over 100 hospitals that dispatch their vehicles to pick-up bloods products at the NBC daily. Some of them dispatch the vehicles twice a day. As a result, it leads to a huge waste of fuel and other medical resources. From the reasons above, the study will focus on a route analysis and re-design of a distribution system. Under a conceptual plan, the NBC may send its vehicles to deliver blood products at group of hospitals instead. However, the appropriate routing needs to be analyzed and designed so that the delivery also minimizes the total cost of distribution system. With the plan, it will save more energy and human resource. Furthermore, the blood distribution will be more efficient and increase an opportunity to save lives. Therefore, the study will be scoped to analyze and re-design a new blood distribution system in BMR.

1.2 Objective

This research has set up two main objectives namely;

- 1) To study the procedure of current blood distribution including its problems.
- 2) To analyze the problem and propose strategies in order to improve the distribution process which aim to reduce the number of empty transportation movements, save the energy and reduce the distribution cost.

1.3 Scope of the research

The unit of research is the National Blood Center, Thai Red Cross Society. The study will be focused on a blood distribution within Bangkok Metropolitan Region (BMR).

In this chapter, we have discussed about background and important issues regarding the blood distribution process by the NBC to its allied hospitals in BMR. The objectives are to analyze the problem and propose strategies in order to improve the distribution process. Ultimately, it aims to reduce the number of empty transportation movements, save the energy and reduce the distribution cost. The theories and existing researches will be reviewed in the next chapter, in order to be used as the guideline for conducting this research.

CHAPTER II

LITERATURE REVIEW

The main objectives of this research are to study working practices and current problems regarding blood distribution, to analyze data for solutions to the problems, and to propose the solution to reduce number of vehicles that travel without carrying blood, which will also help to save energy and cost of blood distribution from the National Blood Centre (NBC), Thai Red Cross Society to hospitals in its service network. Therefore, in order to gain knowledge and to have guidelines for conducting the research, it is important to study and review theories and researches relating to blood distribution service, vehicle routing management for regular product delivery, and problems of blood distribution.

2.1 Blood service

Supply chain of blood is connected from the upstream to the downstream. In other words, the service covers blood donation from donors until distributing blood to the final customers, who are patient. This requires effective management. Especially, the transportation of blood from the NBC to serve patients at the hospital is a very important task. The current blood distribution service has various forms of transportation. From reviewing previous researches, it was found that the characteristics of blood distribution service is different across countries

2.1.1 Characteristics of blood service in Thailand

From the past to the present, the NBC has direct responsibility to provide blood service to hospitals in its network, which include both public and private hospitals. The main objectives of blood service are to immediately help emergency patients and to store for emergency cases in those network hospitals. Each day, a great

quantity of blood products has been taken to use for treating patients. Service area under the responsibility of the NBC can be divided into two major areas; namely, Bangkok Metropolitan Region (BMR) and regional area in other provinces. Blood service for regional area has been conducted via 12 Regional Blood Centers (RBC), the Special Regional Blood Centre at Phuket province, and hospitals in the network, which are members of the NBC. Blood demand in Bangkok is very high when compared with the demand of all other provinces in the country. About 57 percents of all donated blood by the NBC is used with patients in BMR, while the remaining 43 percents is used in other provinces (Nuchprayoon, 2010). However, some of the blood is kept for patients with certain diseases, who can come to receive blood directly at the NBC.

Every year, there are a great number of patients that require blood for their treatment. The procedures to collect blood to meet such demands of patients are very complex and difficult (Reynolds et al, 2001) due to the insufficiency of blood and the short expiration period of blood (Hemmelmayer et al, 2008). Therefore, many countries such as Scotland, Italy, South Africa, etc., had to import blood for their patients. However, in Norway, the NBC of Norway can collect blood with greater quantity than domestic demands, and some amount can be exported, yielding some income that can be used to assist other kinds of blood services for hospitals in the country (Rock et al, 2000). In case of Thailand, the NBC is a charitable non-profit organization, thus it needs some support from the government. The NBC only needs to pay for expenses on blood bags, dry ice, and screening test solution, while a great amount of expenses on the remaining equipments are paid by the government. The NBC is therefore considered as a governmental organization whose responsibility is to provide blood services with standards and security. Each day, the NBC has to acquire at least 1,500 units of blood, or 42,000 units monthly (NBC, 2010), in order to provide sufficient blood to all member hospitals in the country. In addition, the NBC has processed remaining plasma and stored it in a solid form for additional services. Blood is distributed in various product forms that can be used for blood services and given to patients with special diseases. Overall system of operation of the NBC is controlled under ISO 9001: 2000 standard (NBC, 2004).

After having received blood from donation and prior to decomposition into red blood cells (erythrocytes), white blood cells (leucocytes), platelets, lymph, etc., the

NBC always screens all units of blood for diseases, even though this is not required by laws. The screening process is conducted to check blood quality, blood types (ABO, Rh, etc.), and blood diseases (syphilis, hepatitis B (HBsAb), hepatitis C virus (HCV), aids (HIV)). Some countries, such as US, Sweden, France, Canada, etc., (Rock et al, 2000) have a recheck system for certain diseases just like Thailand. After stirring and squeezing to separate compositions in the blood, those compositions will be stored at the proper temperature according to corresponding standards of each product.

2.1.2 Characteristics of blood service in other countries

Other countries may have different characteristics of blood distribution service due to differences in size of structure, location, budget, laws, social, and political background. Characteristics of blood service in certain countries from past research are summarized in Table 2.1.

Table 2.1 Characteristics of blood service in certain countries

Country	Research	Summary of blood service
USA	Gregor et al (1982); Jinxin (2003)	<p>The American Red Cross (ARC) has 36 Blood Service Divisions nationwide that collect, bring-back, test, maintain a small central supply of blood, and distribute within their designated regions. The ARC distributes blood from its inventory on a FIFO and a consignment basis to the regional hospitals in response to their demands. Routine orders arrive randomly from morning till late afternoon. Emergency orders may arrive at any time.</p> <p>This study used a simulation model and suggested that the center leases a fleet of vehicles to be used in delivering the blood. Succeeding stops are scheduled up to a maximum of five, after which the vehicle returns to the center.</p>

Table 2.1 Characteristics of blood service in certain countries (Cont.)

Country	Research	Summary of blood service
England	Katsaliaki and Brailsford (2007)	The National Blood Service (NBS) for England and North Wales consists of 15 Process, Testing and Issuing (PTI) Centers that serve 316 hospitals by routinely scheduling deliveries on the daily basis. The service is free of charge to the hospital. The center distributes blood from its inventory on a FIFO basis. Typically the NBS fills the routine orders of several hospitals in one round trip at the same time of the day
Austria	Hemmelmayr et al (2008)	Blood products are crucial for hospitals, as they are required for surgeries and for the treatment of patients with chronic illnesses. The logistics department at the Austrian Red Cross faced with a situation in which a set of hospitals requires regular deliveries of certain products. Most of blood products are delivered to the set of hospitals on regular delivery routes, but some are delivered through other channels. The distribution routes are planned manually, no routing software is used.
France	Rock et al (2000)	The blood service in France consists of blood collection, preparation and delivery of blood components, which are the responsibility of Blood Transfusion Centers. Blood components are given to patients only on prescription by a physician.
Japan	Ikeda (2002)	Japan is self-sufficient in blood which has a monopoly on blood collection from non-remunerated voluntary donors through Red Cross Blood Centers. The donors fill out a donor

Table 2.1 Characteristics of blood service in certain countries (Cont.)

Country	Research	Summary of blood service
		<p>application form about themselves (name, age, sex, address, etc.) and their health. Then a nurse collects the blood from the donor according to the doctor's instructions. Conditions of apheresis are decided according to the circulation volume, hematological data and physical condition of the donors.</p> <p>There are 77 RBCs that collect whole blood and separate into red cells and plasma. The separation step includes centrifugation, separation, labeling and packaging. The blood products are delivered to the distribution department and stored until distribution in response to orders placed by medical facilities.</p>
Scotland	Sappountzis, (1984); Rock et al (2000)	The Blood Transfusion Service (BTS) procures, draws, processes, stores and distributes blood in the hospitals. Products are distributed via the network of five Regional Transfusion Centers, which are part of the Scottish National Blood Transfusion Service to the local hospital blood banks
Finland	Rytila et al (2006)	The Blood Service in Finland is an operationally and financially independent and non-profit organization within the Finland Red Cross. It is the nationwide blood service provider that collects blood and processes it through preparation, testing, separating whole blood and distribution to hospitals.

2.2 Blood distribution problems

In UK, US, France, and Norway, some management and control on blood service operation is under the responsibility of the central organization (Rock et al, 2000). This is similar to the case of the National Blood Centre, Thai Red Cross Society in Thailand. The Thai NBC acts like a distribution center (DC), with responsibilities to procure, screen, store, and distribute blood to hospitals in the blood service network and regional blood centers. Supply chain of blood is connected from the upstream to the downstream. In other words, the service covers blood donation from donors until distributing blood to the final customers, who are patient (Ryttila and Spens, 2006). The whole process involves the arrangement for blood donation, taking blood from donors, separating compositions of blood, screening for blood quality, storing blood, and distributing blood. The blood supply chain has various problems, and the problems are very complex (Sime, 2005) since it may determine life or death of patients. It is obvious that number of population has direct impact on the blood supply chain. With high population, blood demand is also high (Currie et al, 2004; Ryttila and Spens, 2006), resulting in the insufficiency of blood. Some solutions are needed in order to acquire more blood. Prospective number of donors can be predicted by applying some models such as Logistic Regression (Sime, 2005).

Approaches for stimulating people to donate blood can be summarized as 3R, which comprises Recruitment (finding new donors), Retention (keeping existing donors), and Reward (giving awards to donors). With these three approaches, donors will be satisfied to donate their blood (Leigh et al, 2007), and the members will donate blood regularly. Blood donation requires quite intensive screening. The donors must be verified that they are healthy, not being in the group of risky people, and must have been interviewed for preliminary screening. After the blood has been donated, it has to be kept for six hours (Jinxin, 2003) before conducting screening test with all units of donated blood. The screening test will check the blood quality, blood group (with ABO system and Rh system), and blood diseases (syphilis, HbsAg, HVC, and HIV). After the blood has passed the test and met the corresponding standards, it will be stored and waited for being distributed to hospitals according to their proportion of demands (Sapountzis, 1984) and according to the ability of the NBC. Temperature is controlled to match certain compositions of blood. According to previous researches,

new technologies were used to control and monitor blood storing, such as barcode and RFID, which could help to monitor the blood, report temperature, and warn automatically in case of abnormality of temperature in the blood bag (Li et al, 2005). These approaches are important for preventing deteriorated quality of blood during transportation to hospitals and preventing wrong delivery (wrong blood types) to patients (Kim et al, 2007). During transportation, it is very difficult to control temperature to be in the specified range of each blood composition, while the blood distribution system tries to keep quality and security of blood all the time throughout transportation (Anthony and Britten, 1987; Jacobs et al, 1996). Therefore, problems regarding blood distribution should receive serious attention. Quality control during transportation and proper route management should be considered.

In UK, blood donation vehicles are sent out to service blood from donors in companies, industries, or general organizations. The donated blood will then be brought back to the British Red Cross Society. If blood quality is good enough, the blood will be stored in the Blood Bank of the Blood Centre using First In First Out (FIFO) approach. Blood will then be distributed to 14 Regional Blood Centers (Rock et al, 2000). Blood will be given to member hospitals upon requests. Blood delivery is conducted both routinely with Milk Runs operation and upon request using cars.

In Austria, the Austrian Red Cross Society uses models for scheduling blood delivery transported by emergency ambulances. The application software used was Arena (Koch and Weigl, 2003). Such these problems of blood distribution are found in several other countries such as US and Canada. These countries try to arrange schedule and vehicle routes with same objectives, which are to minimize cost, to minimize distance, and to reduce waiting time of vehicles that come to receive blood (Jinxin, 2003).

Similarly, Thailand also faces problems of blood distribution. There are many vehicles sent out daily from hospitals to receive blood from the NBC, resulting in very high distribution cost. These expenses occur with resources used for blood distribution service, such as ambulances from the network hospitals, drivers of those ambulances, fuel and so on. Therefore, guidelines on solutions for improving efficiency of blood delivery are needed in order to reduce expenses and losses that occur from current blood distribution.

2.3 Blood transportation: research and practice

Blood transportation in other countries has a variety of approaches due to differences in the organizational size, location, area, budget, etc. The review provides a guideline and useful information for comparison and improvement consideration. Characteristics of blood transportation in certain countries from past research are summarized in Table 2.2.

Table 2.2 Characteristics of blood transportation in certain countries

Country	Distributor	Characteristics
USA (Rock et al, 2000; Gregor et al, 1982)	Plasma product uses all channels distribution including blood centers, and drug wholesalers.	The center leases a fleet of vehicles to be used in blood delivery. The vehicles in operation vary with the shift (07.00-15.00, 15.00-23.00, 23.00-07.00) in weekday and weekend. For hospitals in the outlying areas, blood is sent by intercity bus. The center fills order of the closest hospital as the first stop on a trip. The second stop is the hospital with an order closest to the first stop, after which the vehicle returns to the center.
England (UK Biobank, 2011)	The outsource service is the TNT courier.	The sample transport boxes are packed and placed for collection in a designated area. TNT carrier provides all UK Biobank Assessment Centers with pre-addressed consignment notes. Center's staff completes a TNT consignment note by inserting the date and attaching a barcode in each individual transport box, prior to collection. The TNT collects all transport boxes and delivers them to the

Table 2.2 Characteristics of blood transportation in certain countries (cont.)

Country	Distributor	Characteristics
		UK Biobank Co-ordinating Center at 07:30 a.m. in the following morning.
Finland (Ryttila et al, 2006)	Bloods are distributed from the central warehouse or directly from department at the Blood Transfusion Center (BTC)	At the Regional Blood Transfusion Centers (RBTCs), blood is distributed directly from the distribution department. In generally, the BTC only distributes blood to larger hospitals but it also has smaller hospitals as customers. Smaller hospitals and health care centers receive the blood needed from larger hospitals.
Scotland (Rock et al, 2000; National Services Scotland, 2012)	Blood distribution by Scottish National Blood Transfusion Service (SNBTS)	Each hospital blood bank receives regular deliveries of blood components by SNBTS vehicles. Requests can be placed by telephone or fax. In case of emergencies, the drivers are on call to respond anytime of the day or night. Regionally, products are distributed through the network of five Regional Transfusion Centers, which are part of the SNBTS to the local hospital's blood bank for all products manufactured by the SNBTS.
Austria (Hemmelmayr et al, 2008)	Blood is distributed directly from the logistics department at the Austrian Red Cross (ARC)	The blood bank of the Austrian Red Cross serves 55 hospitals. Most of the blood products are delivered to the hospitals on regular delivery routes. The delivery routes are planned manually; no routing software or geographic

Table 2.2 Characteristics of blood transportation in certain countries (cont.)

Country	Distributor	Characteristics
		information system is used. Hospitals have to request the delivery of blood products one day in advanced. The service area is classified into four regions. The fixed routes for visiting the hospitals in a region have emerged over time. The ARC leases a small fleet of vehicles to deliver blood products. As the size of a bag with a blood product is very small, the vehicle capacity is never restricting and therefore ignored.
South Africa (Rock et al, 2000)	Use of blood service by Blood Transfusion Service (BTS)	Blood and blood products are distributed through the Blood Transfusion Service situated within the major hospitals in the country. From the blood banks, the blood is delivered directly to the user. Bloods are also distributed by the Blood Transfusion Services to hospital wards for the patient, or as stock items to the hospital laboratory.

2.4 Vehicle routing management for regular product delivery

Vehicle routing is an important management problem regarding finding and arranging optimum routes for delivering products to customers. Vehicle routing management must consider objectives of product delivery and produce the highest efficiency with lowest transportation expense. Travel time, distance, availability of vehicles, and several other factors are needed to be considered for managing routes. The routes should be designed so that all delivery destinations will be reached in proper order so that the work will be completed as specified. Characteristics of vehicle routing problems can be classified as shown in Table 2.2.

Table 2.3 Characteristics of vehicle routing problems

Problems	Categories
Number of vehicles	- one vehicle - Several vehicles
Number of warehouses	- one warehouse - Several warehouses
Origins of demands	- Node (locations of customers) - Arc (routes to customers) - Nodes and arcs
Time windows (limitation of time)	- Soft time windows (non-strict timing) - Hard time windows (strict timing) - None
Vehicle capacity	- All the same - Different - Unlimited
Types of operation	- Pickup only - Delivery only - Mixed
Objectives	- To minimize distance - To minimize cost

Table 2.3 Characteristics of vehicle routing problems (cont.)

Problems	Categories
	<ul style="list-style-type: none"> - To minimize number of vehicles - To minimize delivery time - To maximize customers' convenience

For optimal vehicle routing management, all of the factors or requirements in Table 2.2 should be considered together. Results from solving the problem by considering one requirement might be different from results when considering another requirement. Decision makers should know details of the problems very well and understand theories for solving the problems in order to be able to choose the optimum solution. Answers to vehicle routing problems also require consideration on all these conditions. In the past, manual work is required in order to solve vehicle routing problems. Experience of the route manager is very important so that the selected route can minimize complexity and cost of product delivery. However, recent problems of vehicle routing management are large and too complex to be solved efficiently with manual work. Computer is therefore applied to solve problems. With computers, complicated problems can be solved in a short time. This technology can truly be applied efficiently in real situation of route management. There are currently two types of methods for applying computer to solve vehicle routing problems, as follows;

2.4.1 Exact algorithm

The results from applying this principle are the optimal solution. However, this method can only be applied to simple or small problems. The computing uses of processing efficiency, large random access memory, and it take longer to process. The sizes of the problems that can be solved from this method are limited. Hence, it is not very popular. Methods that use exact algorithm principle include mathematical models, dynamic programming, Branch and Bound, and integer programming.

2.4.2 Heuristics

Solutions resulted from heuristics do not have to be the optimal solution. Problem solving methods with heuristic principle has three good points. First, the heuristic will always produce a feasible solution if one exists. Second, the heuristic always give a very good solution or near optimal solution. Third, the heuristic methods can solve large problems within reasonable computation time (Butt and Cavalier, 1994). Gilbert Laporte et al. (2000) has studied about approaches to find answers of Vehicle Routing Problem (VRP) with heuristics and concluded that these methods could be categorized into two groups. The first group is the classical heuristics, of which solutions cannot be improved. The second group is the modern heuristics, of which solutions can be improved to achieve the best answer. Comparing among methods in the classical heuristics, the method of Clarke and Wright (1964) required least time for operation. Meanwhile, in case of modern heuristics, the method of Granular Tabu Search (GTS) had the minimum error. Heuristic is a type of methods popularly used in researches. These methods do not require so much complicated calculation, thus little time is needed for data procession. However, the answer or the solution from applying heuristic may not be the optimal solution to that problem. There are various methods that use heuristic principle for solving problems. Some of these methods developed in the past time are easy to be applied. Here are some examples of popular and convenient-to-use heuristics.

1) Saving algorithm.

By far the best-known approach to the VRP problem is the “saving” algorithm of Clarke and Wright (1964). To find a solution to a problem using this algorithm, saving value, which indicates amount of resources that can be saved, will be calculated. Possible routes will be arranged to meet delivery requirements. Demands along each created route must not exceed loading capability of vehicles. An advantage of this approach is that distance matrix values can be directly used for operation, making it a very convenient approach. However, a disadvantage of this method is that it requires quite much time for arranging routes. Saving algorithm (Clarke and Wright, 1964; Laporte et al, 2000) is a calculation method that compares distance saving. The simple rule used in this approach is to search for delivery points that help saving the expenses. This method links two points together rather than

separating them with separate routes. Consider a depot D and n demand points. Suppose that initially the solution to the VRP consists of using n vehicles and dispatching one vehicle to each one of the n demand points. Saving algorithm follows these steps of calculation for finding solutions (Larson and Odoni, 1981).

Step 1 Calculate the savings $S(i, j) = d(D, i) + d(D, j) - d(i, j)$ for every pair (i, j) of demand points.

Step 2 Rank the saving $S(i, j)$ and list them in descending order of magnitude. This entry in the list (the largest $S(i, j)$)

Step 3 For the saving $S(i, j)$ under consideration, include link (i, j) in a route if no route constraints will be violated through the inclusion of (i, j) in a route, and if:

a. Either, neither i nor j have already been assigned to a route, in which case a new route is initiated including both i and j .

b. Or, exactly one of the two points (i, j) has already been included in an existing route and that point is not interior to that route (a point is interior to a route if it is not adjacent to the depot D in the order of traversal of points), in which case the link (i, j) is added to that some route.

c. Or, both i and j have already been included in two different existing routes and neither point is interior to its route, in which case the two routes are merged.

Step 4 If the saving list $S(i, j)$ has not been exhausted, return to Step 3, processing the next entry in the list; otherwise, stop: the solution to the VRP consists of the routes created during step. Any points that have not been assigned to a route during Step 3 must each be served by a vehicle route that being at the depot D visits the unassigned point and returns to D .

2) Sweep method

The sweep algorithm is a method for clustering customer into groups so that customers in the same group are geographically close together and can be served by the same vehicle. In general, if any stop has demand greater than or equal to the capacity of the vehicle, then assign a vehicle to pick up customers at that stop in the amount equal to the capacity of the vehicle and leave the rest of the demand for the regular sweep steps. The sweep algorithm uses the following steps.

Step 1 Locate the depot as the center of the two-dimensional plane

Step 2 Compute the polar coordinates of each customer with respect to the depot

Step 3 Start sweeping all customers by increasing polar angle

Step 4 Assign each customer encompassed by the sweep to the current cluster

Step 5 Stop the sweep when adding the next customer would violate the maximum vehicle capacity

Step 6 Create a new cluster by resuming the sweep where the last one left off.

Step 7 Repeat steps 4 – 6, until all customers have been included in a cluster.

3) Route-First-Cluster Second method.

This method is operated by arranging order of destinations of the trip first. The principle used for arranging is by considering proximity between areas of destinations. After the arrangement is completed, routes can then be designed. Each route must be able to respond to demands and must not exceed loading capability of vehicles. An advantage of this method is that route arrangement is quite simple, while a disadvantage is that this approach is not suitable for problems that delivery points are too far apart.

4) Cluster-First-Route Second method.

This method is quite similar to the Sweep Method. However, the difference is that, instead of arranging routes by considering areas of destinations, this method uses angles for arrangement. An advantage of this approach is about its simplicity that makes it the easiest method for grouping routes. However, its disadvantage is that the data preparation process is highly time consuming, since it requires calculating for angles of each point comparing to the origin point.

Examples of researches relating to Vehicle Routing Problem (VRP) and their methods applied for solving the problems are described in Table 2.3.

Table 2.4 Examples of researches conducted to solve various vehicle routing problems

Research	Characteristics of research	Research summary
Clarke and Wright (1964)	Manage routes of vehicles with various sizes. Products were delivered out of just one distribution center.	Heuristic principle with Clarke and Wright Algorithm method was used for arranging saving values and for integrating product delivery points into the same route in order to minimize delivering distance. For example, delivering points of customer 1 and those of customer 2 are combined in the same route. With this approach, the number of trucks and quantity of products in each truck can be determined.
Toth and Vigo (1997)	The problem is about arranging the best schedule for providing emergency services to patients in urban areas.	Heuristic principle with Insertion method was used to find feasible solutions. The calculation required little amount of time. This approach could be used to solve big problems.
Danzig and Ramser (1959)	Arranging the optimum route for gasoline delivery	This research used linear programming method, which resulted in an optimal solution.
Gillett and Miller (1974)	The objective is to arrange vehicles and routes so that overall delivering distance is minimized.	Heuristic principle with Sweep Algorithm was used to solve the problem. Limitations were about weight and travel distance of each vehicle.

Table 2.4 Examples of researches conducted to solve various vehicle routing problems (cont.)

Research	Characteristics of research	Research summary
Taniguchi and Shimamoto (2004)	This research concentrated in route management and vehicle scheduling in urban areas using Intelligent Transport Systems (ITS) for urban areas.	Heuristic principle with Genetic Algorithm was used to solve the problem in order to minimize transportation cost. Trucks that have left the warehouse for delivering products to customers must return to the warehouse after the delivery.
Bartholdi et al (1983)	The objective is to arrange routes for delivering food to 200 elderly people.	The problem was solved by arranging route with Traveling Salesman Problem (TSP). Displacement of each elderly person was used for arranging routes. The result was not very satisfying due to several limitations that caused delays in problem solving process.
Montreeborriruk (2006)	The research is about arranging routes for taking raw milk from milk plants, which must be within 200 kilometers. The problem was that each truck could not carry milk at full loading, and the transportation cost was high.	Two problem solving methods were used. 1. By using the mathematical model, the solution was the optimal. However, this approach could only be used with small problems. 2. By using Meta-Heuristic method, large problems were solved.
Laporte et al (2000)	The research is a survey of heuristics for solving the Vehicle Routing Problems.	Heuristics were used to solve problems. The methods were categorized into two types; i.e.,

Table 2.4 Examples of researches conducted to solve various vehicle routing problems (cont.)

Research	Characteristics of research	Research summary
	The paper compares several best known VRP heuristics.	classical and modern heuristics. Good solutions are obtained quickly by means of the Clarke and Wright (1964) and sweep algorithms. Better solutions can be obtained by means of tabu search heuristics which have proved to be the most successful metaheuristic approach.
Jinxin (2003)	The research tried to solve a vehicle routing problem that American Red Cross (ARC) wanted to retrieve blood and arrange routes with minimum transportation cost.	Vehicle routing problems with time windows (VRPTW) method was used. 99 sites were randomly selected for retrieving blood within 10 minutes of transportation.
Butt E. S. and Cavalier (1992)	The research problem is about trying to achieve maximum loading for one trip of a truck.	Heuristics were used to arrange routes and trips. Products were collected from nodes, which were located dispersedly throughout the specified area. Each node has different weight and volume of products to be collected. Limitations for this kind of problem are time and loading capacity of trucks in each trip.

Table 2.4 Examples of researches conducted to solve various vehicle routing problems (cont.)

Research	Characteristics of research	Research summary
Paessens (1988)	The research investigated a vehicle routing problem regarding solutions to save transportation cost.	Data resulted from various methods were compared regarding modifications using saving algorithm. Computing time of CPU was presented.
Suensilpong (2007)	The research developed a vehicle routing system for delivering breakfast to customers during 5 AM to 6:30 AM. Wages of truck drivers were paid monthly with a fixed rate.	Saving algorithm and A* search algorithm were used together. The solution was modified from the original vehicle routing management. Taxi motorcycles were selected as vehicles for product delivery. The objectives were to reduce number of vehicles and total travel distance in order to keep transportation cost low. The research found that the developed system was efficient and acceptable. The solution can be used to manage routes by using only a few vehicles and short overall travel distance.

From reviewing the theories and previous researches, it can be concluded that this study should use a heuristic method for solving routing problem. Although this type of methods may not result in the optimal solution, the solution will be a good one, as implied by Zanakis and Evan (1981). They recommended using heuristics instead of methods for finding optimal solutions. Heuristics are particularly appropriate for problems that are complicated to be solved in real practice due to many conditions or requirements. In such a situation, the solution obtained from optimization approaches might not be practical in real life. The truly reliable and

accurate solution cannot be obtained. Optimization methods may also consume too much time for calculation. However, heuristics may not be appropriate for certain situations. In practice, heuristics may not be able to solve problems with precise solution due to some disadvantages. For example, Sweep algorithm may be inefficient in routing if the product distribution center is not located at the central point and surrounded by customers. Heuristic methods somehow lack of wide vision, since these methods aim to solve currently encountered problems mainly. For example, route resulted from applying the Nearest Neighbor method for delivering products and returning to the NBC may be too long. In this case, the answer is considered as low quality. Therefore, for this research, the saving algorithm is selected since this method is popularly used for vehicle routing problem. This method is suitable for problems that have no limitation about number of vehicles and travel time (Laporte et al, 2000). The algorithm can be coded in any programming language for solving problems. That makes it very convenient in practice.

This chapter has described about theories and researches involving blood distribution service. It covered the characteristics and problems of blood service in Thailand and overseas as well as vehicle routing management in general. It was found that there are a lot of researches related to the blood distribution and vehicle routing problems elsewhere, but not in Thailand. There was only one research that conducted on blood distribution service (Tatthong, 2004). That research focused purely on vehicle routing problem. However, only 40 hospitals were studied in the research. It does not cover all the hospitals (over 100) in the network. Furthermore, there is no flexibility to add a new hospital into the network. In addition, little has been studied regarding the characteristics of blood supply chain.

The main objective of literature review in this chapter is to gain fundamental knowledge and guidelines for conducting this research in order to answer the objective regarding the supply chain of blood service and distribution management. The next chapter will discuss about research method used in the research as well as procedures for conducting the research in details.

CHAPTER III

RESEARCH METHODOLOGY

This research is about studying and analyzing for proper design of blood distribution routes. The process requires following appropriate steps in order to yield optimal results that can be used as guidelines for innovative blood distribution design. General relevant information, such as the information of the NBC, is also needed to be well understood so that internal problems of the NBC can be solved. The working procedures and relevant data can be categorized to be explained in six sections namely, data for the research, research tools, a guideline of solutions to the problems, data analysis, research procedures, and finally the research plan.

3.1 Research data

Data used in the research are important and influential for accuracy and reliability of research results. These data will provide facts that enable researchers to perceive issues of research problems. Good data should be accurate, clear, reliable, and relevant to problems of interest of the research. Data used in this research can be itemized as follows;

3.1.1 Characteristics of required data

Regarding data collection for this research, two types of data, i.e., primary data and secondary data, were collected in order to study current situation and problems on blood distribution. These research data were collected from two main sources.

1) Primary data were data obtained from interview, field survey, counting, measuring distance, or timing with a timer. These primary data to be used for data analysis consist of

- Equipment, tools, characteristics of utilized packages, as well as their delivering method.
- Types and characteristics of vehicles used for blood transportation. These data give information about loading capability and fuel consumption rate that can be useful for accurately assessing transportation cost.
- Locations of hospitals requesting for blood. This data is used to calculate for distance and time needed for blood delivery.
- Transportation routes
- Transportation characteristics such as service time, capacity
- Types of blood to be delivered
- Sizes of standard packages of currently used products
- Daily blood demand
- Quantity of blood in stock

2) Secondary data were data collected from previously collected data in various sources such as database, documents, books, websites, researches, international journals, user manuals, and so on. Secondary data for this research include:

- Blood request's documents
- Annual report of the NBC
- Data from relevant researches

3.1.2 Methods for data collection

The research started by studying general characteristics of the NBC in order to design forms for collecting relevant data and to prepare tools or equipment to be used for data collection. Pertinent data from other sources, such as international journals and documents of national blood service workshops were also collected. Then the prepared forms were used to collect field data at the NBC, started by interviewing internal staff of the organization. These following data were collected from them.

- 1) Internal characteristics of the NBC that provide information about working system of the staff

2) Size, volume, and capacity of vehicles used for blood distribution.

Methodology for collecting these data was as follows;

- Survey for types of vehicles used for blood distribution
- Count for number of vehicles used for blood distribution.

There are many vehicles sent from hospitals to receive blood from the NBC daily. Some vehicles transport blood several trips within a day. Therefore, for accuracy of the analysis, precise number of vehicles used for blood distribution is needed to be known.

- Measure volume of the vehicles, which implies ability of vehicles to be used for blood distribution. The volume was measured by using total width, total length, and blood-storing height of a vehicle.

- Measure area of space to place blood containers.

3) Collect data regarding blood products with these procedures of data collection.

- Investigate types of all blood products to be delivered.
- Investigate daily demands for each type of blood products.
- Investigate quantity of blood in the warehouse.

4) Collect data regarding blood distribution with these following procedures.

- Check number of equipment or tools used for blood delivery

- Investigate routes that hospitals in the blood service network used for coming to receive blood from the NBC.

- Find the transportation distance and time needed for distributing blood to hospitals.

3.2 Analytical tools

This research used existing tools of the researcher and the Transportation, Traffic and Logistics Expert Center (T-LEX Center), Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University. The tools can be divided into two categories as follows;

1) Hardware

- A desktop personal computer and a laptop PC were used. These computers used Intel Core I5 M520 @2.40 GHz CPU, with 4.00 GB of RAM. They are run under 64-bit system of Windows 7 Ultimate Operating System.

2) Software

- Microsoft Excel software was used for preliminary data preparation and analysis. This software store data of times and distances obtained from calculation with ArcGIS 9.3. These data will be used for further procedures of calculation including calculation for costs occurred during blood distribution.

- Microsoft Access software was also used in this research. This is relational database management software with capabilities to store data, process data, prepare forms for inputting data, design data queries, and make reports of data for printing out. However, this research used Microsoft Access mainly for preparing and storing database of preliminary data that will be accessed and processed by Visual basic 2008 software.

- Network Analyst Extension of ArcGIS 9.3 software was used for road network analysis to find distances and times for transporting blood between hospitals and the NBC. The software was determined to select the routes with shortest distances. Results from processing with the GIS software were distances, in meters, and times, in minutes, needed for traveling between the NBC and all hospitals in the blood service network.

- Google Earth is also used. Google Earth is an online application developed to view satellite images that can be overlaid with maps of cities, countries, roads, etc. Since the GIS data of road network in Bangkok Metropolitan region, Transport Fundamental Geographic Data Set (TFGDS), obtained from Permanent Secretariat Office of Ministry of Transportation, was incomplete; Google Earth was used to add locations of missing hospitals. Google Earth stores data in KML format,

which is not supported by ArcGIS 9.3. Therefore, the next software was used to convert the .kml file.

- DNR Garmin version 5.04.0001 was also used. Since the data required for calculating for distances and times using ArcGIS 9.3 had to be in Shapefile format, but the data of added locations of hospitals using Google Earth was in KML format, DNR Garmin was used to convert the .kml file to .shp file.

- Visual Basic 2008 for coding the algorithm to design appropriate routes for blood transportation. This research chose to use Visual Basic 2008 for this purpose due to its popularity and simplicity that is suitable for beginners of software development. Visual Basic 2008 has improved capability of enhancing processing speed, and can be used to connect with data stored in a database system.

3.3 Mathematical model and solution approach

After considering the research problem, it was found that the problem corresponds with vehicle routing problem (VRP). According to the literature review section, there are various solutions to solve such this problem. These solutions require computer programming capability for their processes, which make it difficult to solve the problem in real practice. Therefore, the methodology to solve VRP with heuristic will be used in this research since its mathematical principle is less complex than other techniques. Heuristic relies on some determined rules that are used to find an acceptable answer, even though that is not the optimal solution. From comparing problem-solving methods in the literature review section, saving algorithm will be used for the problem of this research because it is less time-consuming regarding data preparation than other techniques. Saving algorithm method is about calculating for solutions to save the distance of traveling. There are rules to find delivering points that will produce more saving by linking 2 points into the same route rather than separating routes. The process of this technique follows these steps.

- 1) Select a node that represents the central depot, and specify this node as the first Delivering Point.

- 2) Calculate for saving cost that will be derived from integrating routes of a pair of delivering point i to delivering point j (S_{ij}), which has value equal $C_{i1} + C_{1j} - C_{ij}$

- 3) Sort the saving values (S_{ij}) descendingly.

- 4) Select the highest saving values from the pair of delivering point i and delivering point j without redundancy, then create a sub-route by linking between delivering point i and delivering point j .

- 5) Repeat step 3) and Step 4) until all delivering points have been processed.

3.4 Data analysis

After completing the data collection procedure, the next research procedure is to analyze for input parameters of mathematical models and transportation cost estimation. There are four necessary parameters; namely, travel speed, distance matrix, blood demand and capacity.

- 1) Travel Speed

To calculate travel speed, it requires the Transport Fundamental Geographic Data Set (TFGDS), which was prepared by the Permanent Secretariat Office of Ministry of Transport. The dataset was last updated in March 2007. This research used only the part of the dataset that covers the study area. However, since the dataset does not include all locations of hospitals shown in the list of the NBC, more coordinates of locations were manually added by using geographic capability of Google Earth. Once all locations of all hospitals were obtained, DNR Garmin software (Figure 3.1) was used to convert those coordinates into Shapefile format to be used for further process.

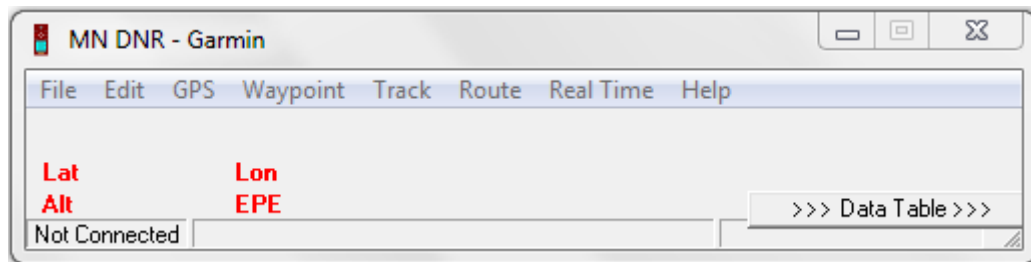


Figure 3.1 The interface of DNR Garmin version 5.04.0001

In order to approximate time needed for blood transportation with high accuracy, the real situation must be considered. In real situation of blood transportation, speed of blood-carrying vehicles may change according to road conditions. The speed is also affected by positions of the hospitals and distances needed for transportation. It is observed that, for long distance of transportation, drivers normally choose main roads that allow them to drive at higher speed than city roads and the selection of the route is based on their experience. Therefore, speeds to be used for this travel distance calculation are determined differently according to speed zones. The speed zones were determined by considering influence from external factors. For example, travel speed in the city area with traffic congestion is lower than the speed in suburb area. Distances from city area are used to determine speed zones as follows;

Distances within 0 – 20 kilometers, the average speed is 12 km/hr.

Distances within 20 – 40 kilometers, the average speed is 23 km/hr.

Distances within 40 – 60 kilometers, the average speed is 35 km/hr.

Distances within 60 – 100 kilometers, the average speed is 47 km/hr.

Then digital maps of roads within the area covering Bangkok, Samutprakan, Nonthaburi, and Pathumthani provinces were used to calculate for distances and times needed for transporting blood from the NBC to all hospitals in the blood service network. The calculation was conducted by using Network Analyst (Feature OD Cost Matrix) of ArcGIS software.

2) Distance matrix

The distance matrix or the Origin-Destination Cost Matrix represents travel distances that occur during transporting from all to all nodes in the network. The distance matrix was analyzed by using ArcGIS software. The data were in the TFGDS Shapefile. In order to use ArcMap Network Analyst to solve problems regarding transportation network, some data of the roads, such as average travel times, one-way streets, etc., has to be prepared. Network Analyst is also very useful for finding routes, service areas, Closet Facility, Origin-Destination Cost Matrix, with its ability to solve vehicle routing problems.

3) Blood demand

There are a lot of vehicles to pick up units of blood at the NBC every day. It is obvious that such distribution creates many empty movements from both front-and back-haul, as compared to the vehicle capacity. This part is to analyzing the blood demand, the number of hospitals and trips that the hospitals' vehicles came to pick up blood in the BMR.

4) Capacity

Based on the observation at the NBC, the types of pick up vehicles were recorded. There are several types of them. However, for routing analysis, the commercial version Toyota Commuter is selected as the representative for delivery service. The maximum capacity is in the range of 600-700 kg. In this research, the capacity is limited to 600 kg.

3.5 The assessment of transportation cost

This research is also conducted to assess all the costs from blood distribution activities. The costs involve all expenses during blood distribution. There are many factors that affect the costs for blood distribution activities. These factors include characteristics of the transporting route, travel distance, travel time, etc. The assessment of transportation cost was shown in Figure 3.2

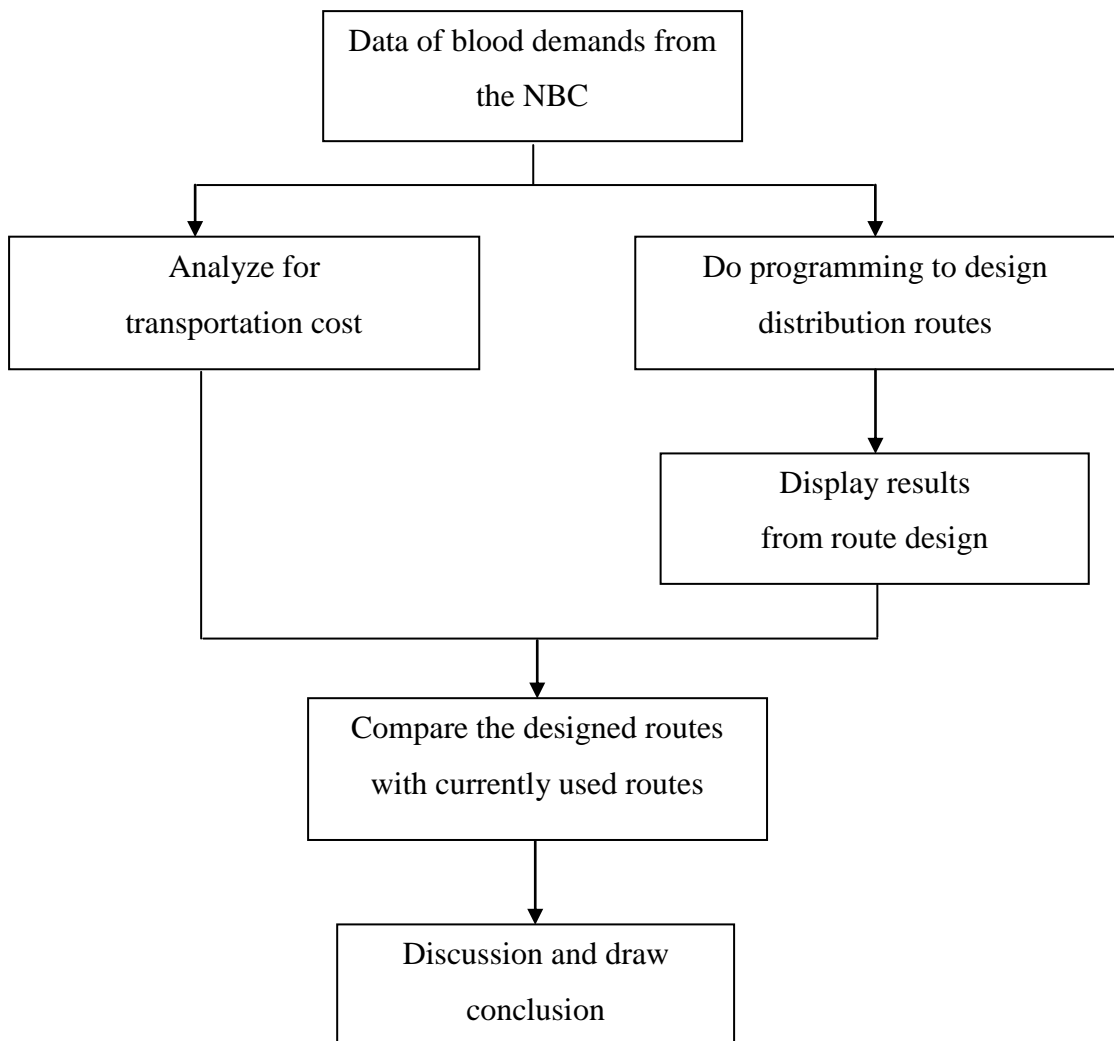


Figure 3.2 The assessment of transportation cost

3.5.1 Analysis on transportation costs occurring during blood distribution

After all required data have been collected; the next step is to analyze these data by following these procedures.

- 1) Analyze general characteristics of blood distribution and problems that arise during blood distribution of the society at present.
- 2) Geographic locations of the NBC and all hospitals in the blood service network were used for Travel Distance Matrix calculation by using ArcMap 9.3.
- 3) Collect data about blood types and blood demands in order to analyze for daily blood demands of hospitals in the network.
- 4) Distances and times resulted from the calculation were used for analyzing and assessing for costs that occur from current blood distribution. These

costs may consist of various expenses such as vehicle utilization cost, employee wage, fuel cost, and opportunity cost, etc.

3.5.2 Designing new routing for blood distribution

This analysis procedure has the objective to find better blood distribution than current practice. Steps for this analysis are as follows;

1) Suggest an idea about reducing number of vehicles that travel without carrying blood products that will reduce blood transportation cost and improve blood distribution service in the area of Bangkok Metropolitan Region for higher efficiency.

2) Analyze and design new blood distribution routes by using Microsoft Visual Basic 2008 to do programming in Visual Basic language for solving problems by heuristics method, i.e., saving algorithm.

3) Analyze to compare costs between current situation and the newly proposed blood distribution routing in order to assess the cost that may be saved from implementing the new design.

3.6 Research procedure

In order to do a research with an objective to improve blood distribution service of the NBC to all hospitals in their network, the research must follow certain procedures for achieving accurate results that will be useful for solving problems in the NBC. Details of research procedures are as follows;

1) Study and review relevant national and international journals and researches.

2) Define scope of the research by studying and collecting fundamental data. The research tools can then be selected for data analysis. The study area has also been defined to cover service area of the NBC and hospitals in the blood service network. The study area mainly covers Bangkok Metropolitan Region.

3) Collect data to be used in the research. The collected data comprised two types of data namely, primary and secondary data. Population of the study, which including all hospitals in the blood service network, was investigated. Distances from

the hospitals to the NBC were assessed. Sources of these data were books, websites, researches, international journals, etc. Current situation of the NBC was also studied to design data collection forms and prepare research tools prior to data collection process.

4) Perform data analysis. After all required data have been collected; the next research procedure is to analyze current daily blood demand of all hospitals in the blood service network that will be used for designing new routes of blood distribution with these following steps.

- Input locations of all hospitals in the blood service network into the GIS application
- Analyze for costs that happen from using current transportation routes
- Analyze and design new distribution routes
- Analyze and assess how much cost that could be saved from using newly designed distribution routes when comparing with the current practice

5) Tools used for the research

- A desktop computer and a laptop computer
- Microsoft Excel and Microsoft Access
- GIS software (ArcGIS 9.3)
- Programming language software (Visual Basic 2008), for coding the algorithm to design newly appropriate blood distribution routing.

6) Summarize results and write a report. This is the final step of the research procedures. The report will present conclusion of the research. Utilized data and research results will be submitted to the advisor, and correction will be made as advised. Progress of the report will need to be submitted regularly. The completed report of the research will be submitted for publication or presentation according to the graduation requirement of the university. Then the thesis defense examination will be conducted. Finally, the thesis will then be published. All these procedures are shown in Figure 3.3.

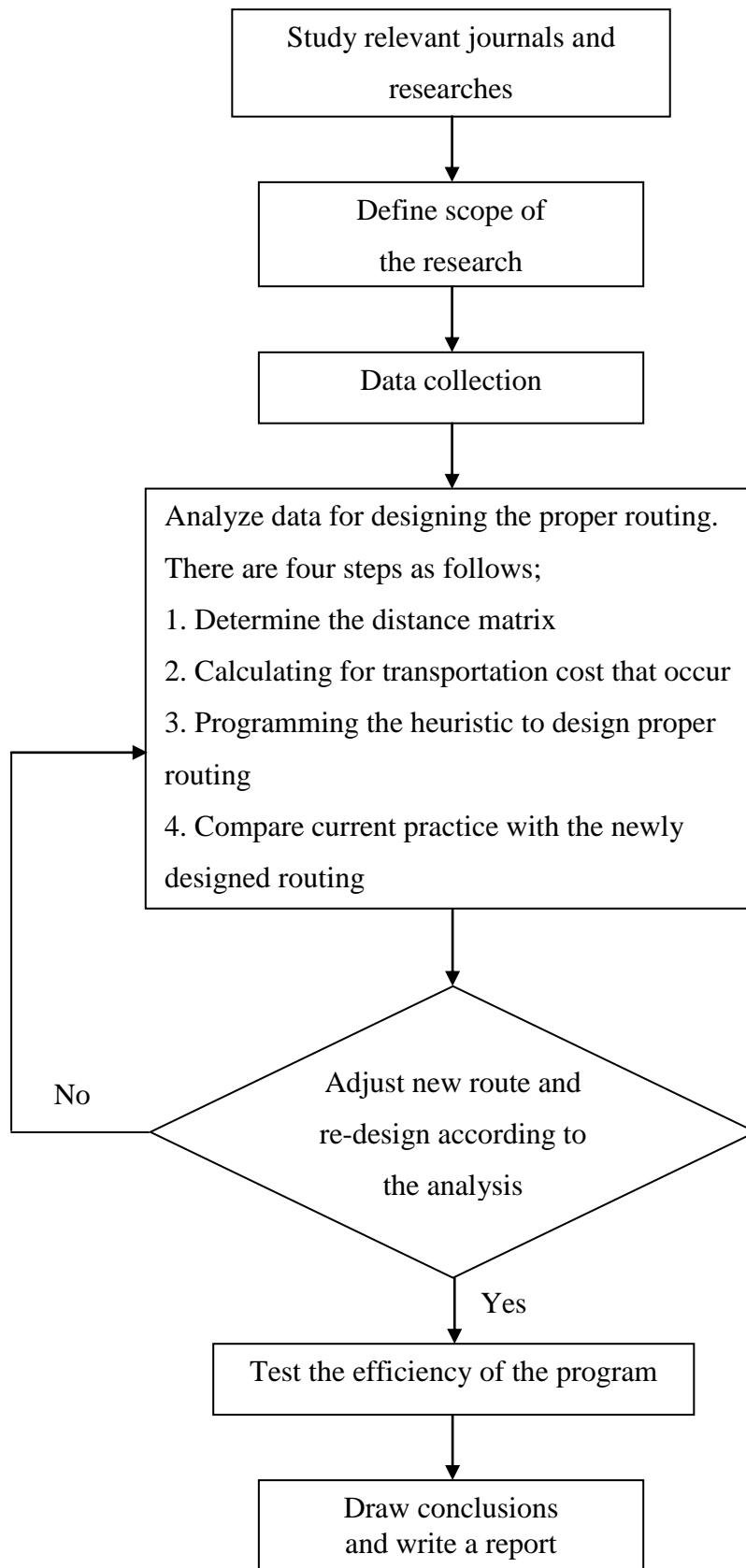


Figure 3.3 Procedures for conducting the research

This chapter has described about research methodology. It covers details on research data and research tools, which include locations of the NBC and hospitals in the blood service network, existing transportation routes, vehicles for blood transportation, and transportation characteristics, etc. Steps of data analysis, problem-solving methods, working procedures, and research plan have also been explained. The next chapter will describe about general conditions of blood distribution from the NBC and hospitals in its service network. Details on newly designed blood transportation routes will also be described in the next chapter.

CHAPTER IV

RESULTS AND DISCUSSION

This chapter presents results from the analysis. The discussion will emphasize on the results from implementing the research methodology and analyzing the blood distribution designs. For ease of understanding, this chapter explains by seven main topics; namely, case study, the blood supply chain, characteristics of blood distribution, characteristics of blood distribution in Bangkok Metropolitan Region (BMR), cost assessment, designed routes of blood distribution and summary. Details on each topic are presented herein.

4.1 Case study

The National Blood Centre (NBC), Thai Red Cross Society, is a charitable organization working on health care and medication. The NBC is located at 1871 Henri Dunant Road, Pathumwan, Bangkok, 10330. Figure 4.1 shows the NBC's head quarter building. Since its establishment in 1952, the Thai Red Cross Society has had status of juristic. Its function involves humanitarian charity work according to the principle of the International Committee of the Red Cross. According to the Thai Red Cross Society Act in 1918, the NBC shall be supported by the Thai government. The specified responsibility of the NBC is to work on blood procurement from blood donors and other sources. Thus the Ministry of Public Health assigned the NBC to take care of all kinds of blood services nationwide, with objectives to aid patients and accident victims, and to store some blood for all public and private hospitals in the blood service network.

Daily, there is high demand to use blood for patient treatment. With fast and secure blood provision, doctors can treat patients more efficiently, and have more chances to save their lives. In order to provide blood in a timely manner and with safe quality, the personnel in charge must be able carry out operational activities efficiently, especially the activities regarding management on blood delivery to patients. Comparing to other regions,

blood demand is very high in Bangkok. Approximately 57% of blood received from donation is used with patients in Bangkok, while the remaining 43% is transported to service patients in other provinces (Nuchprayoon, 2010). Blood distribution to patients in regional areas has been taken care by 12 Regional Blood Centers (RBCs) and hospitals in the blood service network who must be members of the NBC.



Figure 4.1 The head quarter building

4.2 Data collection

Data collection process for this research was conducted in order to study operations of blood service officers, to understand characteristics of blood distribution, and to study the current condition of existing problems. Data collection should be well-planned, fast and effective. The collected data should be accurate, precise, and

complete. Data collection process is very important since it is one of the beginning processes of research procedures. Efficient data collection will lead to successful patterns of data analysis, and will help the research become smooth and more efficient. Details on data collection and data features of this research are clarified in this section.

4.2.1 Data from the NBC

From studying operations of the NBC, it was found that the NBC has complex operations. It has to keep blood in the highest quality throughout the supply chain, which starts since the donor comes in the NBC for donating blood until the blood reaches the patient or the final consumer. The studied population includes hospitals in BMR that are network members of the NBC. In total, there are 131 hospitals as the research's population. Data obtained from the NBC include:

- 1) Characteristics of blood distribution and operations of the NBC's officers
- 2) Number and types of vehicles used for transporting blood. There are many vehicles being sent from many hospitals for receiving blood from the NBC.
- 3) Quantity of each type of blood required in each day to serve demands of the network hospitals

Data collection from the NBC starts by studying general data from relevant sources such as international journals, paper, documents, and reports from the workshops regarding national blood services, etc. Field surveys were then conducted to collect data at the NBC. There were several approaches in this research for collecting the required data as follow;

- 1) Field visits

Asst. Prof. Somchai Pathomsiri, the instructor for EGIE 514 of the Transportation Management and Physical Distribution class has arranged a field visit at the NBC. This event allowed the researcher and some other students to study procedures of blood flow and operations of officers. The operations begin since the point when blood donors come to donate blood until the final step at the NBC, which is distributing blood to hospitals in the network and RBCs. During the visit, officers of each department at the NBC took care and explained the work for the researcher team very well, as shown in Figure 4.2. From the field visit, existing problems of the

current situation have been witnessed. Interesting issues that were investigated in research include problems regarding blood quality, problems regarding logistics, problems regarding personal, and lack of staff. Causes of the problems, as explained by some officers, were overloaded work, the bureaucracy system, etc.



Figure 4.2 An officer is explaining about methods for packing blood

2) Meetings

After witnessing the existing problems, the topic of logistics problems is the main interest for this research. Subsequently, the researcher has contacted some administrators of the NBC and had series of meetings. The meetings were conducted in order to exchange opinions, to monitor some operations, to gain some knowledge, and to assess results obtained from the field visit, as shown in Figure 4.3. Opinions from officers in all departments of the NBC were inquired and collected. Knowledge from some personnel has also been collected as the additional information for the research. As for the next procedure of the research, some officers were appointed to have in-depth interviews for knowing details of the problems. According to the

meetings and interviews, it became even more obvious that the blood supply chain still has many problems to be solved and improved. Some problems are serious and needed to be addressed urgently. Logistics researchers are required to help solving the problem.



Figure 4.3 Meeting with NBC's administrators and key persons

3) Interviews

Interviews were conducted in a form of in-depth interview. The interviews were intended to create a natural and open-ended discussion in order to facilitate exploring the truth regarding the collected data. This is to ensure that the collected data are understood in details and understand comprehensively about the problems and operational procedures of the NBC in each day. The procedure starts at the selection of persons who should be interviewed, making appointments with the persons, conducting interviews, and summarizing data, as shown in Figure 4.4.



Figure 4.4 The researcher is interviewing the operational staff

4) Participative observations

The researcher went to the NBC several times for conducting participative observations. This procedure started by selecting activities or areas to be observed. In this case the researcher chose to observe activities in the blood discharge room. The researcher then informed the officer in charge, asking for permission to observe in the working area with officers of the NBC. Photos were taken. Time and frequency that each hospital sends its vehicle to pick-up blood were recorded. Vehicles that come to receive blood were observed. The behavior of officers during operations was also observed. The researcher also took part in some activities. This includes joining the officers for a delivery trip by the NBC's van. This is done in order to study the blood distribution to various RBCs and regional hospitals, as shown in Figures 4.5 and 4.6. The researcher also followed the officers of hospitals located in BMR, which comes to receive blood from NBC. By following these officers, the researcher could observe procedures of delivering blood to blood storage of each hospital, as shown in Figure 4.7.



Figure 4.5 A participative observation performed with the NBC's officers at Mochit bus terminal



Figure 4.6 A participative observation with the NBC's officers at Don Muang Airport



Figure 4.7 The blood was delivery to blood bank of a network hospital

4.2.2 Secondary data

In addition to logistic study, this research also conducted an analysis on transportation routing for blood delivery between the NBC and hospitals in the blood service network within the area of Bangkok, Samut Prakan, Nonthaburi, and Pathumthani provinces. Therefore, the secondary data on transportation network are needed. The digital transportation data so-called the Transport Fundamental Geographic Data Set (TFGDS) is used in this study. This dataset was collected and maintained by the Permanent Secretariats Office of the Ministry of Transport. The dataset was last updated in March, 2007. The study has extracted the data to obtain only data in the study area. However, it was found that the data did not contain complete information of all the hospitals as listed by the NBC. Therefore, the coordinates of these missing hospitals had to be manually identified. For this purpose, Google Earth, a web-based geographic application program, was used to find locations of these hospitals. After obtaining complete coordinates of all hospitals of interest by using Google Earth, another software called DNR Garmin was used to convert the saved file in KML format into the shapefile format. The shapefile will then be used for

further procedures. The process of using DNR Garmin to convert coordinate data of the studied hospitals is shown in Figure 4.8.

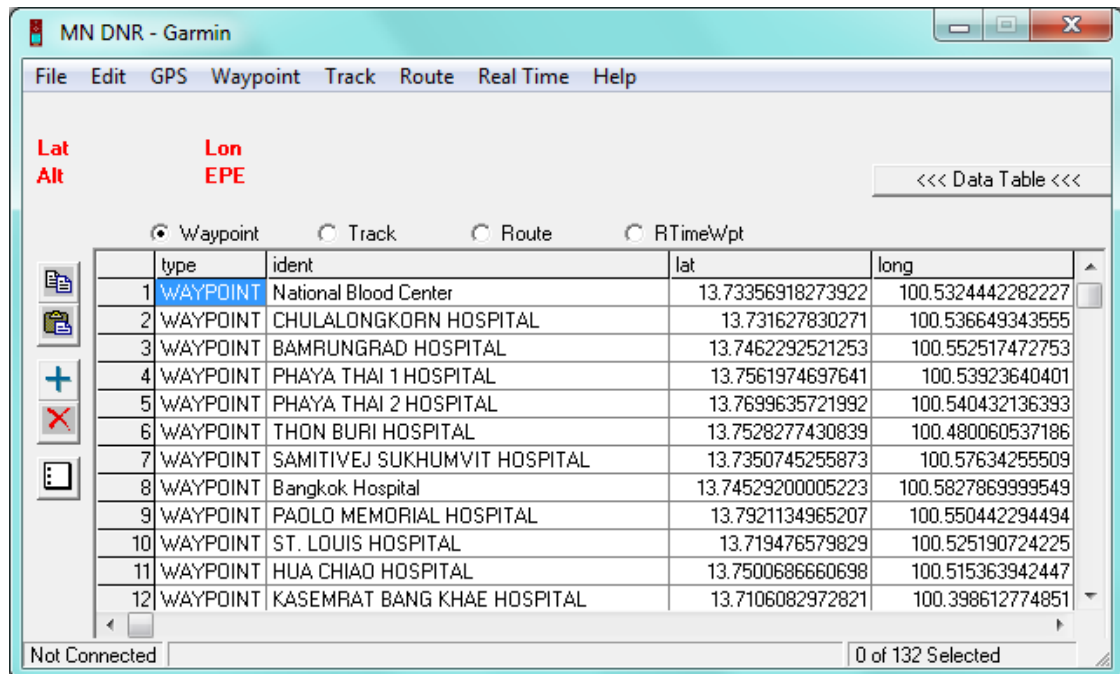


Figure 4.8 DNR Garmin to convert coordinates of the hospitals from KML format to the Shapefile format

For accuracy of data conversion, the projection used in DNR Garmin has to be specified to match the projection and datum of the TFGDS dataset, which is Indian_1975_UTM_Zone_47N. Therefore, the Datum was set as Thailand Local Datum, and the projection was set as Everest, Location Indian Thailand, and UTM zone 47N, as shown in Figure 4.9.

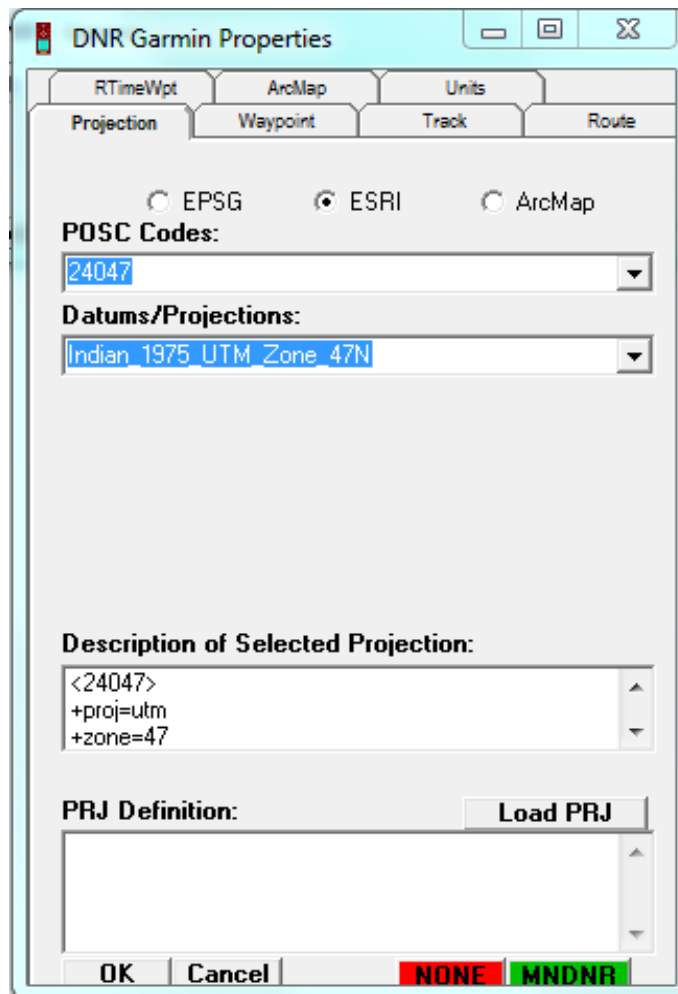


Figure 4.9 Parameters for setting projection in DNR Garmin

In total, there are 131 hospitals within the area of Bangkok, Samut Prakan, Nonthaburi, and Pathumthani provinces. These hospitals comprise both public and private hospitals that send their vehicles to pick-up blood from the NBC. Locations of these hospitals are shown geographically in Figure 4.10.

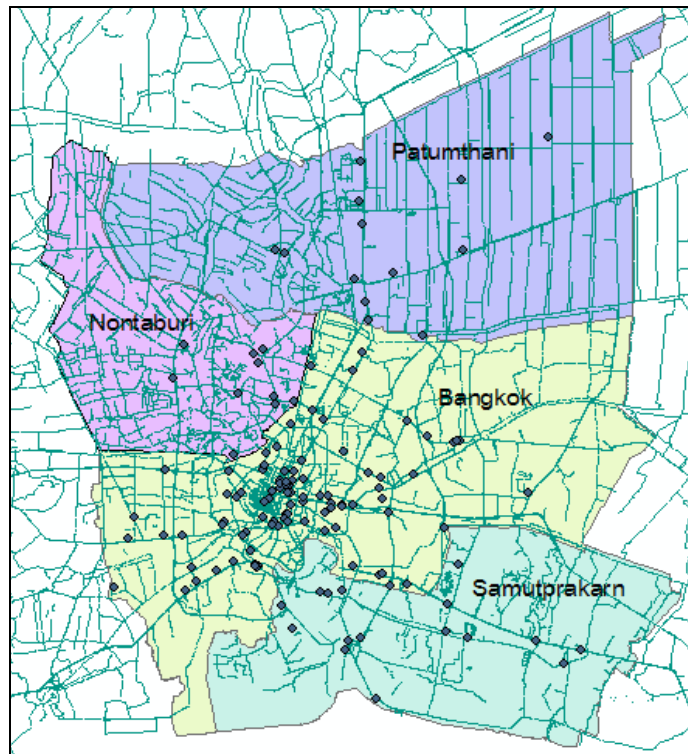


Figure 4.10 Locations of hospitals in the NBC network in Bangkok Metropolitan Region

In order to be able to receive blood from the NBC, the hospital has to sign up to become a member of the NBC. The names of hospitals that have been listed as members of the NBC are shown in Table 4.1.

Table 4.1 Hospitals in the blood service network

No.	Code	Hospital
1	001001	Chulalongkorn
2	001101	Bamrungrad
3	001102	Phyathai 1
4	001103	Phyathai 2
5	001104	Thonburi 1
6	001105	Samitivej (Sukhumvit)
7	001106	Bangkok
8	001107	Paolo Memorial

Table 4.1 Hospitals in the blood service network (Cont.)

No.	Code	Hospital
9	001108	Saint Louis
10	001109	Hua Chiew
11	001110	Kasemrad 1 (Bangkhae)
12	001111	Wiphawadee
13	001112	Krungdhon 1
14	001113	Bangkok Christian
15	001114	Mayo
16	001115	Vichaiyut
17	001116	Paolo Memorial Chokchai 4
18	001117	Doctor Panya General
19	001118	Sukhumvit
20	001119	Mission
21	001120	Petcharavej
22	001121	Camillian
23	001122	Bangpo General
24	001123	Yanhee 2
25	001124	Mahesak
26	001126	Rajburana
27	001127	Decha
28	001128	Chaophya
29	001130	BNH
30	001131	Theptarin
31	001132	Ananpattana
32	001134	Bangmod
33	001135	Bangphai
34	001138	Klongtun
35	001140	Kluaynamthai
36	001143	Bangna 1

Table 4.1 Hospitals in the blood service network (Cont.)

No.	Code	Hospital
37	001144	Srivichai 1
38	001145	Srivichai 2
39	001146	Krungdhon 2
40	001148	Bangpakok 1
41	001149	Bangpakok 2
42	001151	Phyathai 3
43	001155	Navaminthra
44	001158	Thonburi 2
45	001159	Samitivej (Srinakarin)
46	001160	Ramkhamhaeng
47	001160	Central General
48	001162	Praram 9
49	001163	Bangkok Cancer Center
50	001164	Nakornthon
51	001167	B Care Medical Center
52	001172	Navaminthra 2
53	001173	Synphaet
54	001174	Phetkasem Bangkhae
55	001177	Ladprao General
56	001178	Seriruk
57	001179	Kasemrad Prachachuen
58	001180	Thainakarin
59	001183	Piyavate
60	001184	Mongkutwattana
61	001185	Sikarin
62	001186	Praram 2
63	001187	Vejthani
64	001188	Vibharam

Table 4.1 Hospitals in the blood service network (Cont.)

No.	Code	Hospital
65	001192	Kasemrad Sukhapibal 3
66	001196	Bangkok International 9
67	001198	Saimai
68	001201	Rajavithi
69	001202	Lerdsin
70	001203	Children
71	001204	Priest
72	001205	National Cancer Institute
73	001206	Nopparat Rajathanee
74	001209	Prasat Neurological Institute
75	001301	Siriraj
76	001302	Ramathibodi
77	001303	Hospital for Tropical Diseases
78	001401	Bhumibol
79	001402	Phramongklao
80	001404	Somdejprapinklao
81	001501	Police
82	001601	Vajjira
83	001602	Bangkok Metropolitan Administration General
84	001603	Taksin
85	001604	Charoenkrung Pracharak
86	001605	Luangpho Thaweesak
87	001607	Lat Krabang
88	001608	Rachapipath
89	001609	Sirinthorn
90	001701	Thailand Tobacco Monopoly
91	001702	Metropolitan Electricity Authority
92	001703	Burachatchaiyakorn

Table 4.1 Hospitals in the blood service network (Cont.)

No.	Code	Hospital
93	001704	Veterans General
94	001P01	Navaminthra 9
95	101101	Nonthavej
96	101102	Kasemrad Rattanatibeth
97	101103	Mahnam
98	101105	Krungthai
99	101201	Pranangklaio
100	101202	Chest Disease Institute
101	101204	Bangbuathong
102	101206	Bamrasnaradura
103	101801	Chonlaprathan
104	102101	Navanakorn General
105	102103	Pathumvech
106	102104	Rangsit General
107	102106	Ekpatum
108	102107	Muangpatum
109	102109	Phatara-thonburi
110	102201	Pathumthani
111	102203	Nongsuea
112	102205	Thanyaburi
113	102206	Klongluang
114	102301	Thammasat University
115	104101	Samrong General
116	104102	Mueangsamut Paknam
117	104105	Chularat 1
118	104106	Chularat 3
119	104109	Rattharin
120	104111	Paolomemorial Samutprakarn

Table 4.1 Hospitals in the blood service network (Cont.)

No.	Code	Hospital
121	104112	Chularat 9
122	104113	Piyamin
123	104114	Bangpakok 3
124	104115	Bangna 2
125	104117	Ruamchaipracharug
126	104118	Mueangsamutpuchao
127	104119	Chaiprakarn
128	104201	Samutprakarn
129	104203	Bangphli
130	104205	Bangbo
131	104206	Bangchak

4.3 The blood supply chain in Thailand

Supply chain of blood is connected from the upstream to the downstream. In other words, the supply chain spans from blood donation by donors to the distribution of blood to the final customers, i.e., patients. The chain involves recruitment for blood donors, testing, processing and storage of blood, distribution of safe and standard blood products to hospitals in network and using blood products. Conclusively, there are four main processes as shown in Figure 4.11.

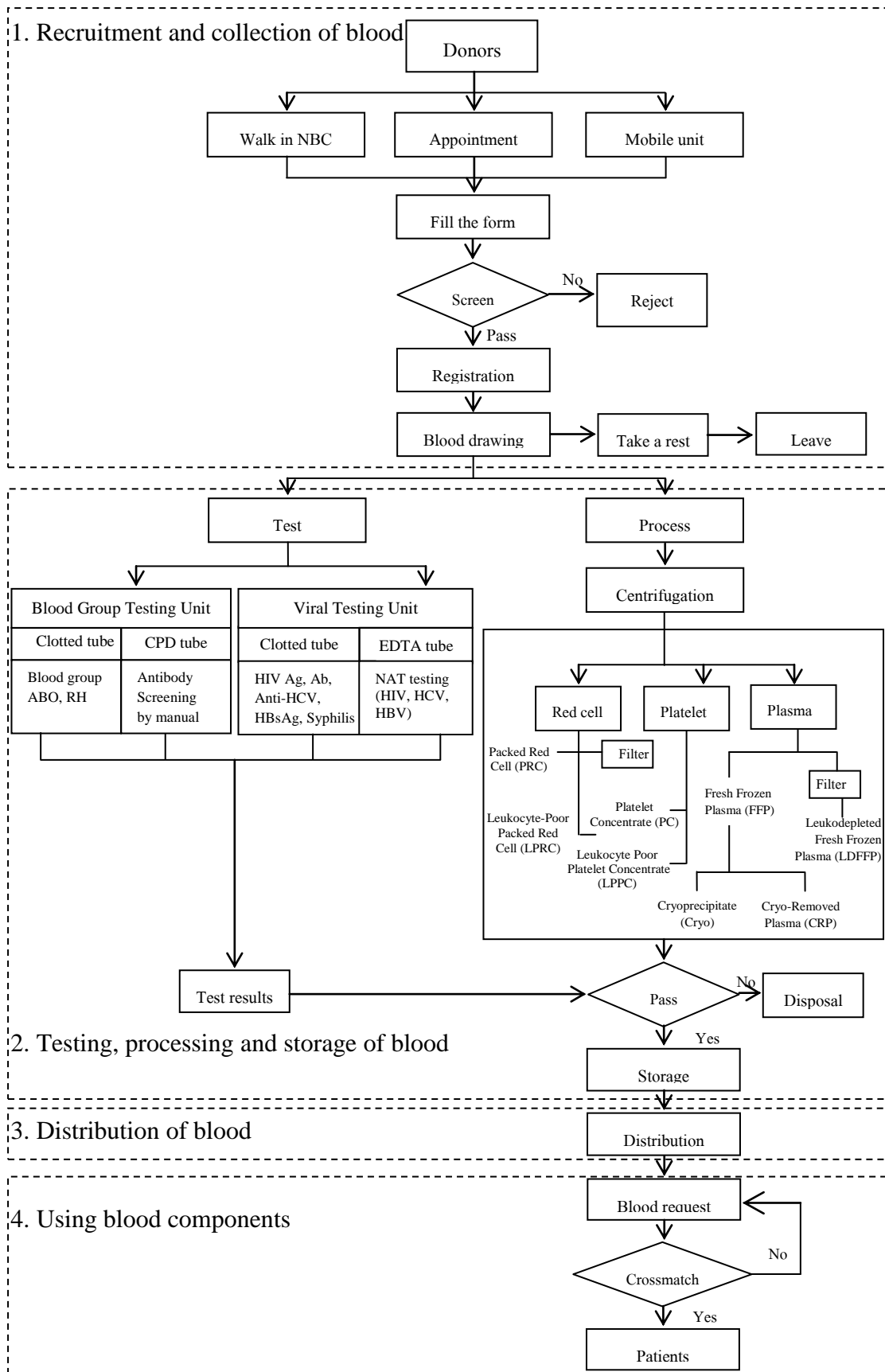


Figure 4.11 The blood supply chain in BMR

4.3.1 Recruitment and collection of blood

The blood supply chain has various problems, and the problems are very complex since it may determine life or death of patients. It is obvious that number of population has direct impact on the blood supply chain. With high population, blood demand is also high.

At present, there is a requirement to obtain blood as much as possible from donors to distribute to patients in various hospitals. The minimum amount of blood required to be collected daily is 1,500 units or approximately 42,000 units monthly in order to provide sufficient blood to all member hospitals in the country. The NBC usually shows the required amount at the gate, as shown in Figure 4.12.



Figure 4.12 The amount of blood required in 20th July 2010

To recruit blood donors, the activities start with advertising and educating campaigns arranged for the target population. There are three groups of blood donors. First, the walk-in donors refer to those who come to the NBC directly without any appointment. Second, the appointed donors refer to those who come to NBC according

to their appointment. Last, mobile-unit donors refer to those who donate via the NBC's mobile blood donation service. The procedures of blood donation for these 3 groups are similar. Mobile-unit donation is slightly different from the other two types merely in term of the donation place. Mobile-unit donation is a service of NBC that sends its vehicles to various places, such as universities, companies, organizations, etc, in order to reach more donors. Donation at the NBC starts when a donor walks into the service area, where some officers and volunteers are available for providing any assistance. Interested persons can also find information regarding procedures for blood donation and blood component donation at the signboard in front of the service area, as shown in Figure 4.13. The NBC provides services for several kinds of donation. Donors can choose to donate blood, eyes, stem cell, and many other organs at the donor's wish. Procedures for donating blood at the NBC are as follow.



Figure 4.13 Procedures of blood donation on the board at the NBC

1) Filling the form

After the donor has made decision to donate blood, he/she then has to fill in a form, as shown in Figure 4.14. The form asks about name, address, weight, height, readiness for donation blood, and health history. The donor have to answer some dichotomous questions by choosing either Yes or No. This form is aimed to be used as an initial screen for selecting appropriate donors and to ensure that the donor is ready for blood donation. The donor then has to sign as an approval to statements in the form and to confirm that all the given information is the truth. The true data of donors are required so that the NBC can obtain safe and high quality blood. After filling in all details in the form, the donor will have to press at the machine issuing a queue card, which is placed in front of the examination room. Then the donor waits for his/her queue. This queue-card system is used for smooth and fair operation.



Figure 4.14 Donors fill in the form of donated blood

2) Screening of blood

After receiving a queue card, the donor sits down and waits in front of the blood donor selection room as shown in Figure 4.15. At this room, the donors will meet a doctor to check their general physical conditions such as blood pressure, pulse rate, blood group, blood concentration, etc. These examinations are conducted in order to screen for high quality blood and for safety of the donor. The donor will be rejected if any of the responses to the health history indicate that this donor should not donate blood. If the doctor has agreed that the donor is ready for blood donation, he/she will enter the process of blood collection.

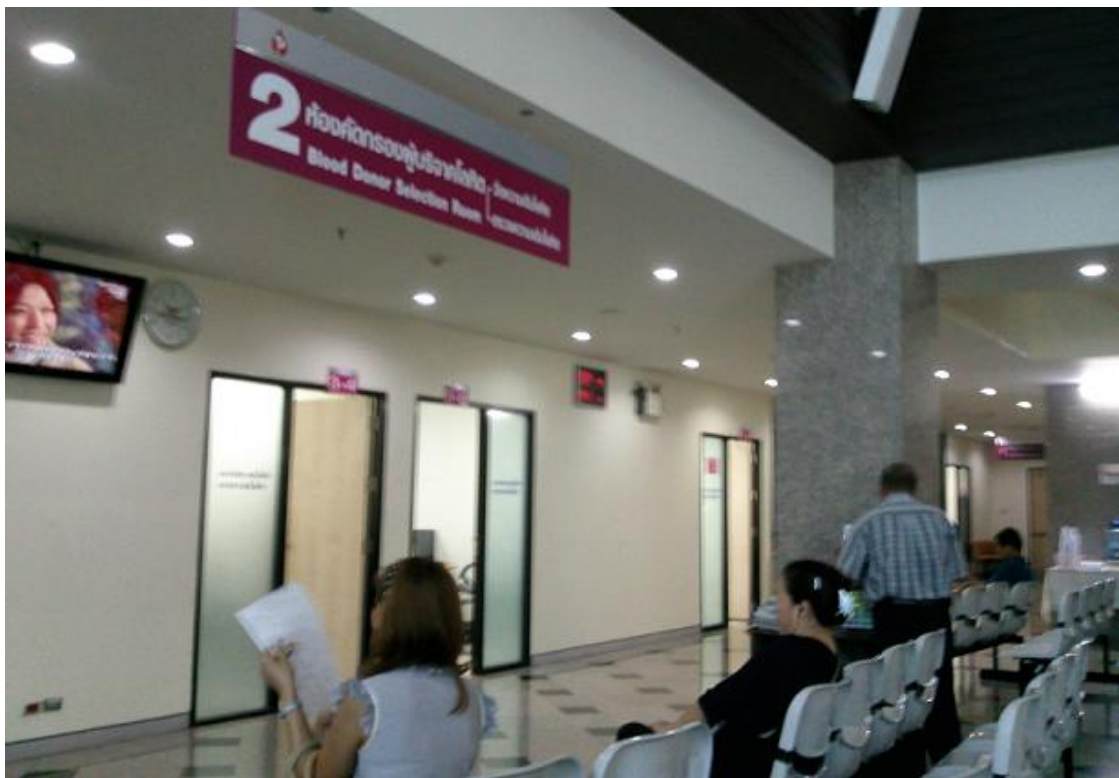


Figure 4.15 Donors are waiting for their queues in front of the blood donor selection room

3) Blood donor registration

Those who pass the screening process will have to submit the donor identification card and register for getting a unique number for their blood bag at the registration counter, as shown in Figure 4.16. After finishing the registration procedure, the donor will receive a barcode, which contains some useful information.

For example, a barcode numbering 100.53.A.23995 contains these pieces of information: 100 = The Red Cross Society; 53 = B.E. 2553; A = the unit that receives the donation; and 23995 = running number. Then the donor has to move on to the second floor for entering the blood drawing process.

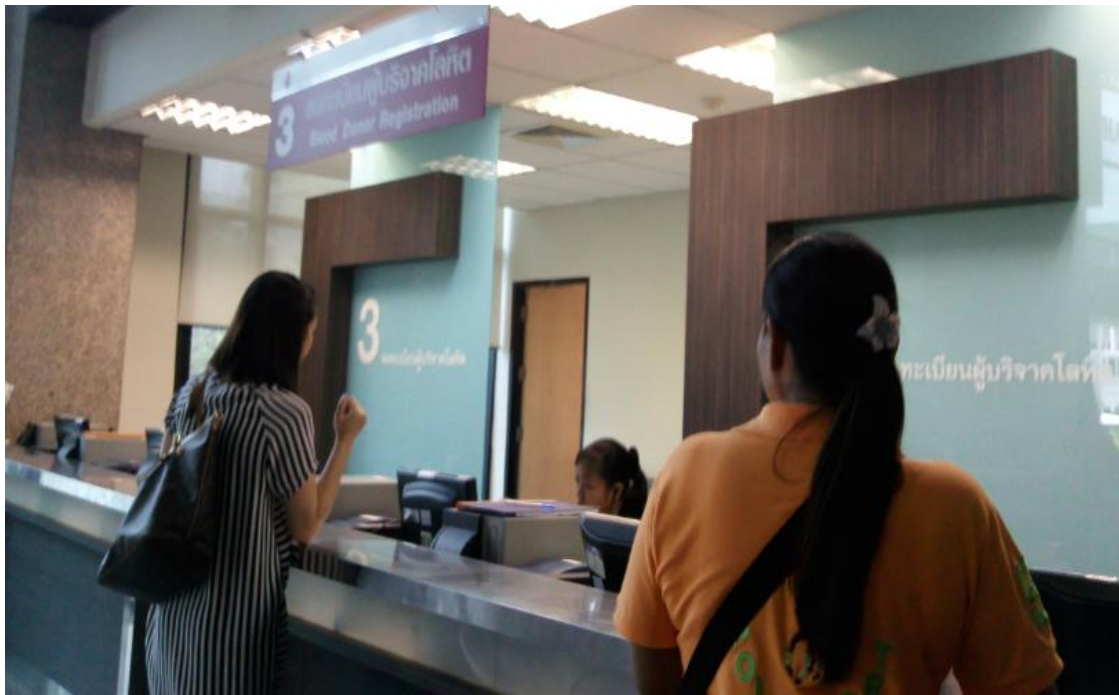


Figure 4.16 Blood donor registration

4) Blood collection

In front of the blood drawing room, there is another queue card issuing machine. The donor will have to press for a queue card and wait in front of the room, as shown in Figure 4.17. When the queue has arrived, an officer will call for that donor to get on a bed. A specialist will use a needle to pierce on a vein near the inside of the elbow and blood will be drawn from there. Those who need anesthetic agent must inform the officer before being pierced. The blood drawing process takes about 5 to 6 minutes to complete. Equipments used for this process are new, disposable, and sterilized. There are two types for storing the blood from donors; namely, tube and bag. The tube is used to keep blood for being checked to determine the blood group and blood diseases, which requires four tubes for each sample. The tubes are labeled differently with red, grey, pink, and purple colors. The bag is used to store blood that

will be separated into various blood components. There are two sizes of commonly used bags; namely, 350 ml. and 450 ml. The 350 ml bags are for donors whose weight is within the range of 45 to 50 kilograms. The 450 ml bags are used with donors heavier than 50 kilograms. When there is a beeping noise informing that blood quantity is reaching either 350 ml. or 450 ml., the officer will stop blood flow by using a forceps. Blood remaining in the plastic tube will be put in four testing tubes of which lids are in different colors. These tubes will be used for laboratory tests. After removing the needle from the donor's vein, the wound is closed with some cotton and tape.

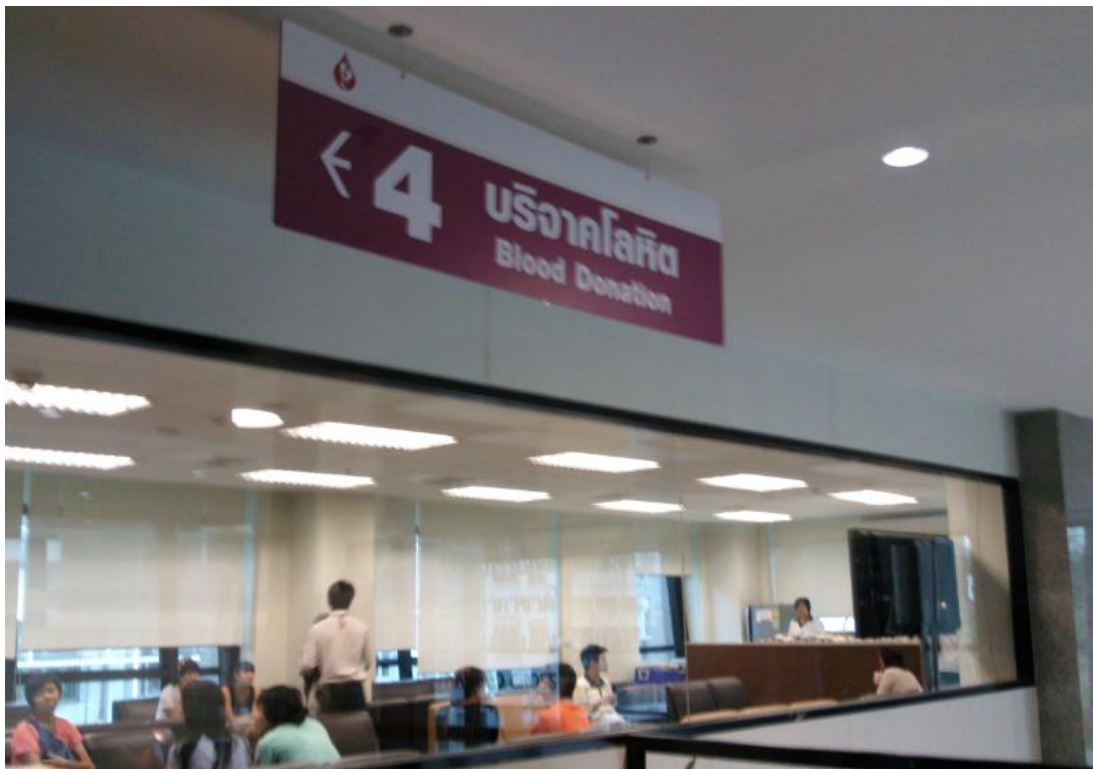


Figure 4.17 Donors are waiting for their queues to have their blood drawn

5) Resting after blood donation

After the donors have finished with the blood collection process, they will sit to take a rest and have some drinks or refreshment prepared by the officers or volunteers in order to balance water condition in the body as shown in Figure 4.18. Normally, it takes about 60 – 90 minutes to reach this process. This is because there are usually many donors, especially on weekends and national holidays. Thus donors

have to wait in line for a long time. After waiting for a while to make sure that the donors are alright, they will be given a plaster to cover the wound and allowed to go home. The officer also writes down the next appointment (next 3 months) in the donor's Blood Donor Card. The collected blood will be brought for examination before entering further processes.

Therefore, in order to acquire sufficient blood donors, the NBC should conduct some activities to promote understanding and knowledge about blood donation. New solutions should be invented and adopted in order to provide more safety to blood donors. Simultaneously, solutions should be implemented to prevent donation of unsafe or risky blood. Achievement indicators of blood donation service include having more safe donors, having more donors who require no incentives, having more regular donors, having fewer risky donors, and having more institutions assisting in campaigns for promoting blood donation.



Figure 4.18 Relaxing and taking a rest after donating blood

4.3.2 Testing, processing and storage of blood

After obtaining blood from donors, the bloods in tubes are waiting for further processes. These will be submitted to the Blood Group Testing Unit and the Viral Testing Unit. Blood samples in tubes will be treated differently as described below.

- Blood Group Testing Unit

- Clotted tube: To check blood groups (ABO, Rh⁺).
- CPD tube: Check for red blood cell and plasma antibody.

- Viral Testing Unit

- Clotted tube: Check a blood diseases; namely, HIV-Ab, HIV-Ag, Anti-HCV, and HBsAg and Syphilis.
- EDTA tube: Nucleic acid Amplification Testing and Quarantine (NAT-Testing); namely, HIV, HCV, HBV.

The blood bag that has been centrifuged for separating products will result in whole blood, which will then be separated into several types to be provided to the patients who require them. For example, plasma can be used to treat patients with hemophilia. Leucocytes can be used to treat highly infectious patients. Cases with inefficient use of antiseptics and platelets can be used to treat patients who are in the condition with low level of platelets such as dengue fever, cerebral hemorrhage, etc. The process of centrifugation and filter whole blood is shown in Figure 4.19.

The whole blood that had been through centrifugation and filtering can be further separated into many minor products. However, if the test tube results reveal that the blood sample is not qualified, the blood bag of this donor will be separated and destroyed. The donor will also be informed about the blood disease. Main products produced daily at the NBC are:

- Packed Red Cell (PRC)
- Leukocyte-Poor Packed Red Cell (LPRC)
- Leukodepleted Packed Red Cell (LDPRC)
- Platelet Concentrate (PC)
- Leukocyte Poor Platelet Concentrate (LPPC)
- Fresh Frozen Plasma (FFP)

- Leukodepleted Fresh Frozen Plasma (LDFFP)
- Cryoprecipitate (Cryo)
- Cryo-Removed Plasma (CRP)

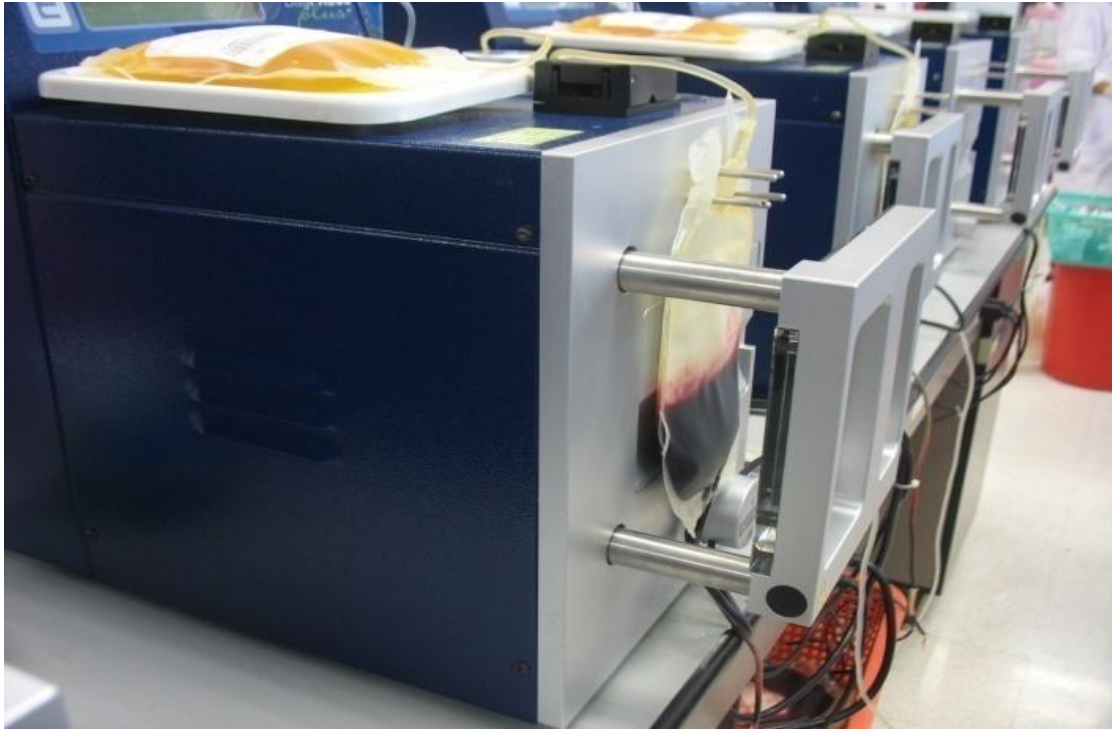


Figure 4.19 The process of centrifugation and filter whole blood

Having been through the tests and processing, the blood products will be stored in a refrigerator at a temperature appropriate for individual product types according to the standards. If the blood requires being moved or relocated, the relocation time must be stamped. The process has to be finished within 15 – 20 minutes. The blood will be stored in the blood bank of the NBC using First In First Out (FIFO) basis within the age category. Blood units are kept separately by types, at a corresponding temperature, as shown in Figure 4.20 and Table 4.2. These procedures are considered the mid-stream procedure of the blood supply chain.



Figure 4.20 The blood bank of the NBC

Table 4.2 Temperature ranges of blood components to be controlled during the storage

Blood type	Temperature
Red Cells (PRC, LPRC, LDPRC)	2 – 6 °C
Platelets (PC, LPPC, SDP)	20 – 26 °C
FFP, Cryoprecipitate	< - 20 °C

4.3.3 Distribution of blood and blood products to hospitals in network

The blood service system has a center at the NBC, which has duties to provide blood to hospitals in BMR, as well as 12 regional blood centers throughout the country. However, according to the current situation, some regional blood centers cannot provide blood services to support all hospitals under their responsibility due to insufficiency of blood. Some hospitals, therefore, have to send their vehicles to receive blood directly from either the NBC (see Figure 4.21 for an example) or the nearest regional blood center with sufficient blood supply. This adds more expenses to the transportation cost due to increasing transportation distance.



Figure 4.21 The vehicles was send to receive blood directly from the NBC

4.3.4 Using blood components

The blood supply chain has various problems as well as complexity. This is particularly the process of blood distribution. Examples of these problems are uneconomical transportation and unreliable quality control of blood products during transportation, etc. Blood is an important resource for medical activities. Therefore, the problems require much attention. With high quality supply of blood or blood products, the medical treatments of doctors can be enhanced. The procedures in blood distribution system start when a patient requires to be treated with some blood. Then the doctor will order blood through hospital in network, by specifying details of the patient, type of blood, and required quantity. Then the hospital will send a vehicle to pick-up blood from the NBC. After the blood is loaded and ready for transportation, the vehicle will bring the blood back to the hospital. The hospital will test the blood by using the cross-matching technique to verify that the patient's blood is compatible with the donor's blood. After the blood is verified, it will be used to treat the patient, and that is the downstream of the blood supply chain.

4.4 Blood distribution in Bangkok Metropolitan Region (BMR)

From reviewing the researches, data collection, the interviewing with NBC staffs, observing the operation and meeting with the NBC's administrator and key persons, it may be concluded that the current blood distribution is still far from perfect. There are several issued needed to be addressed

Regarding blood distribution processes, the procedures start with a patient requiring blood for his/her treatment. The doctor will then inform the hospital to request for blood from the NBC. Then hospital will check with the NBC whether the required blood type is available. With availability of the blood, the hospital will send its vehicle to the NBC. After receiving the blood, the staff that came with the vehicle will bring the blood back to the hospital. The blood will then be used to treat the patient. Figure 4.22 shows the procedures of blood distribution.

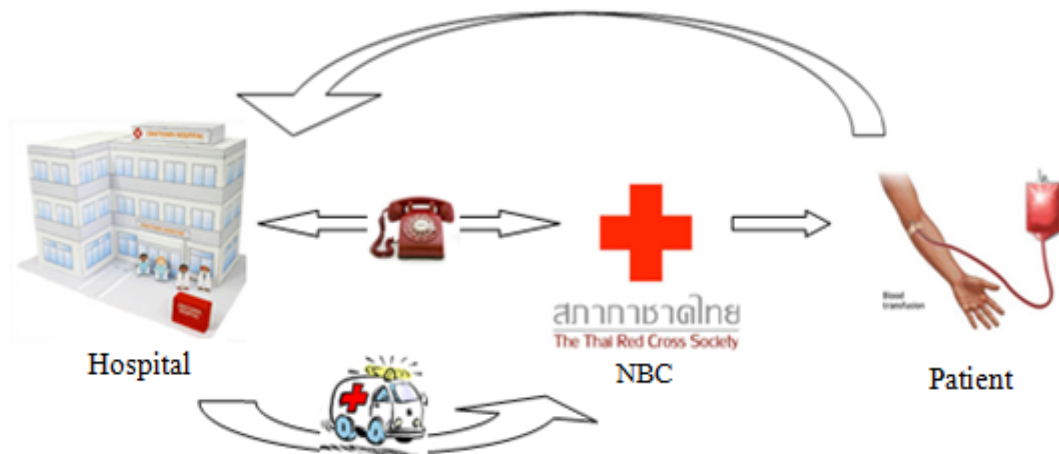


Figure 4.22 Procedures of blood distribution

The NBC is therefore analogous to a distribution center (DC) in logistic business. The NBC works on collecting, screening, storing, and distributing blood to regional blood centers and hospitals. The duties of the NBC cover blood donation services provided to blood donors until blood supply services provided to patients, who are the final consumers of the blood supply chain. However, before the blood can

be distributed to patients, it has to go through receiving and distributing processes of the NBC and the hospitals in the blood service network. These processes can be illustrated with details in Figure 4.23.

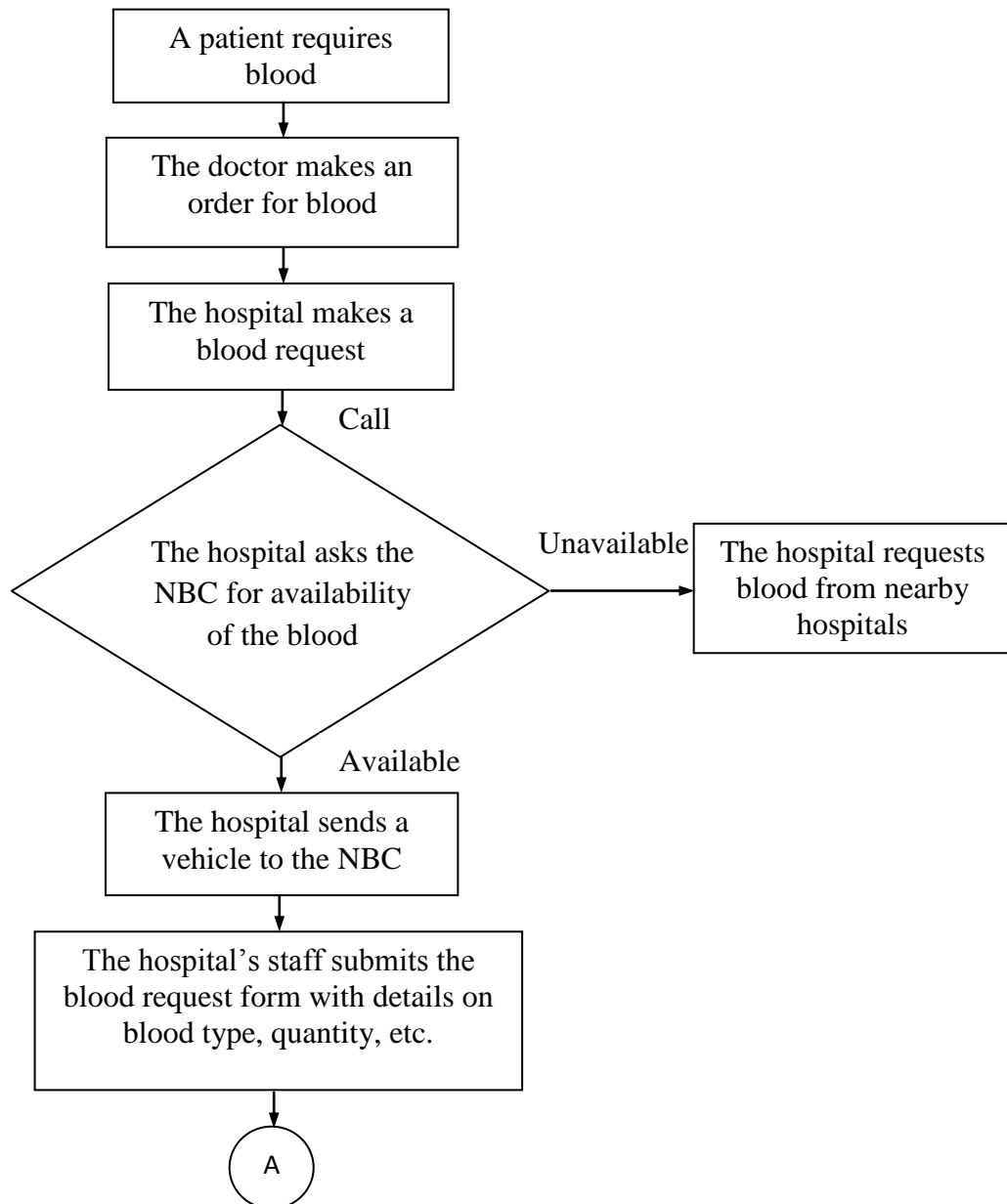


Figure 4.23 The blood receiving and distributing processes of the NBC and the hospitals in the blood service network

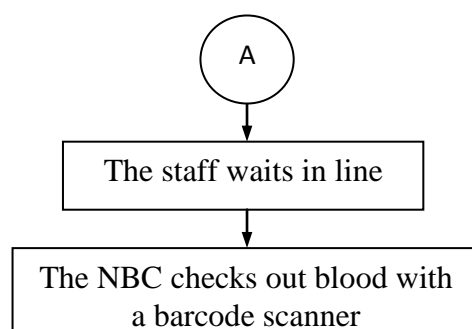


Figure 4.23 The blood receiving and distributing processes of the NBC and the hospitals in the blood service network (Cont)

Figure 4.23 shows the blood receiving and distribution processes of the NBC and a hospital in the network. The process starts when a patient requires blood for his/her treatment. The doctor will make an order for blood via the hospital. The hospital will then make a request for blood. The hospital will call the NBC to check the availability of the required blood. If the blood is available, the hospital will send a vehicle with staffs to receive blood at the NBC. However, if the blood is unavailable at the NBC, the hospital will need to contact nearby hospitals to borrow some blood from them. Upon each blood request from a hospital, the blood inventory at the NBC may not meet the specified amount due to demand of other hospitals and emergency cases.

The officers of the NBC will consider the situation and adjust the amount of blood accordingly. The staffs of the hospital that comes for receiving blood has to submit a blood request form to request for blood from the blood stock. Details in the form include the hospital's name, province, telephone number, fax number, membership number, date of request, blood types/blood compositions, blood quantity, name and position of the staff. The staff will then drop the blood request form in the document basket. The blood request form is shown in Figure 4.24.

เครื่องหมายโรงพยาบาล

ชื่อโรงพยาบาล.....
 จังหวัด.....
 หมายเลขโทรศัพท์.....
 หมายเลขโทรสาร.....
 หมายเลขสมาชิก.....

ใบขอใช้โลหิต ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย
สำหรับ STOCK (ตรวจ NAT ทุกยูนิต)

วันที่.....

ชนิดส่วนประกอบโลหิต Group	Units			
	A+	B+	O+	AB+
LDWB				
PRC				
LPRC				
LDPRC				
Platelet Concentrate (PC)				
LPPC				
FFP				
LDFFP				
CRP				
Cryoprecipitate				

(ลงชื่อ)
 (.....)
 ตำแหน่ง.....

หมายเหตุ โปรดตรวจสอบความเรียบร้อยในใบขอใช้ให้ถูกต้องก่อนนำไปขอโลหิตจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย

Figure 4.24 The blood request form of the NBC

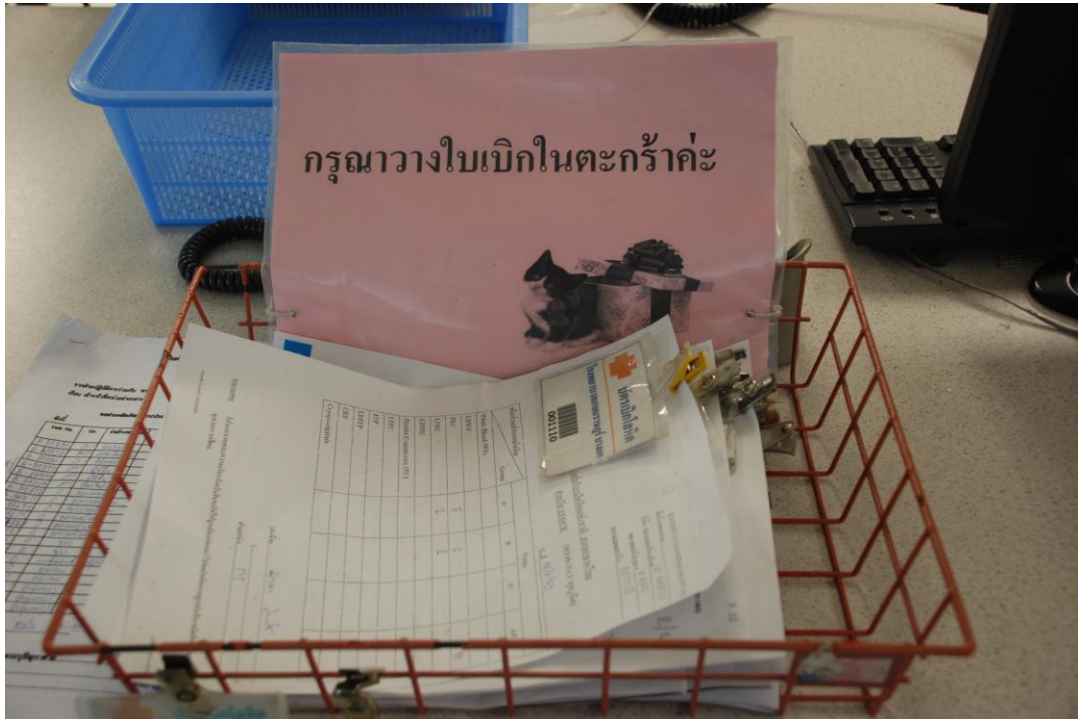


Figure 4.25 The basket for putting the blood request form together with the hospital card



Figure 4.26 Some examples of blood containers from hospitals in the blood service network

After submitting the blood request form together with the hospital card (Figure 4.25), the staff of the hospital will wait in the queue at the waiting area in front of the counter. When he is called for receiving blood, the staff will bring the blood container and put it in the counter. The blood container has to be strong and able to control temperature to keep blood cool during the transportation. There is a variety of containers that hospitals in the blood service network use for containing blood. These containers can be made of plastic or foam, and can be in a form of a box, a bag, and so on (Figure 4.26). The officers of the NBC will prepare blood and scan the blood package with a barcode scanner (Figure 4.27) before giving the blood to the hospital staff. In certain cases, the officers of the NBC may give blood less than the required quantity since certain amount of blood needs to be spared for emergency cases and the available blood has to be shared for all waiting hospitals. When the hospital staffs have received the blood, he will check its correctness regarding blood type, compositions, quantity, etc. The physical condition of the blood, such as number of blood bags, leakage of the bags, etc. will also be checked. The staff will then drop the blood together with some cushion and ice in the container. He will also need to sign in the blood receiving form before taking the blood away.



Figure 4.27 Scanning blood bags with a barcode scanner before

giving to the hospital staff

After receiving blood, the staff and the driver will bring the blood back to the hospital. The vehicles that are used by hospitals for picking up blood from the NBC may vary, depending on several factors that affect efficiency and characteristics of work. These factors include distance, road conditions, economization, and cost of transportation. From the observation, the vehicles from the hospitals in the network may be ambulance, car, pickup, motorcycle, etc., as shown in Figures 4.28-4.31.



Figure 4.28 An ambulance that came to pick up blood at the NBC



Figure 4.29 A car of a hospital that came to pick up at the NBC



Figure 4.30 A pick up that came to pick up blood at the NBC



Figure 4.31 A motorcycle of a hospital that came to pick up blood at the NBC

Some hospitals in the blood service network are located far away from the NBC. The long distance of transportation can be risky for the blood. Thus the driver and staff of the hospital have to make sure that the blood is kept in stable condition under controlled temperature so that it will be safe for using with the patient. The NBC has conducted an experiment and found that the blood temperature can be controlled only within a certain period of time. The temperature during transportation of each blood component must be within the specified ranges shown in Table 4.3.

Table 4.3 Temperature ranges of blood components to be controlled during the transportation

Blood type	Temperature
Red Cells (PRC, LPRC, LDPRC)	2 – 10 °C
Platelets (PC, LPPC, SDP)	20 – 24 °C
FFP, Cryoprecipitate	< - 18 °C

In order to receive blood from the NBC, the hospitals in the network have to pay for some charges. The price for each unit of blood and blood components is calculated from the cost of blood bags and blood examination. The price of blood itself is considered free of charge, since the blood is collected from donation. In addition, since the NBC is a charitable and nonprofit organization, the price is calculated based on actual expenses. Prices are shown by blood type in Table 4.4.

Table 4.4 Prices by blood type

Blood type	Price/Unit (Baht)
PC	320
PRC	420
LPRC	500
LDPRC	1,400
LPPC	3,000
SDP	6,000
FFP	320
CRP	280
Cryoprecipitate	280

4.5 Data analysis

This section discusses about the methodology for analyzing important data required for designing blood distribution routes. The analysis can be divided into four topics; namely, travel speed, distance matrix, blood demand, and capacity. Details of each topic are discussed as follows;

4.5.1 Blood demand

The NBC collects blood in order to distribute it to hospitals in various areas. There are two main areas that receive blood service from the NBC: Bangkok Metropolitan Region (BMR), and regional areas throughout the country. In case of regional areas, the NBC provides blood service to patients via 12 Regional Blood Centers (RBCs), the Special

Regional Blood Center at Phuket, and hospitals that are members of the RBCs. In Bangkok, there is a high requirement of blood. About 57 percent of donated blood is supplied for hospitals in Bangkok Metropolitan Region (BMR). Meanwhile, the remaining 43 percent of the blood is supplied for the rest areas through hospitals and RBCs. It shows that the need for blood in Bangkok is a lot. Daily, there are about 100 hospitals travels to the NBC for receiving blood. The focus of this research is discussed about the supply chain of blood and its distribution to hospitals in the BMR.

There are a lot of vehicles to pick up units of blood at the NBC every day. In brief, it was found that on daily basis, there were about 80 hospitals dispatching their variety of trips daily to pick up 1 – 500 blood bags. It is obvious that such distribution creates many empty movements from both front- and back-haul, as compared to the vehicle capacity. According to the collected statistics, the numbers of vehicles coming to the NBC each day are fluctuating. Some days there are so many vehicles, while some days there are only few vehicles. Some hospitals may send their vehicles for many trips in one day. The collected data is based on field survey results during Tuesday July 6 – Monday 12, 2010. Details of blood demand by hospital are presented in Appendix A. The number of hospitals, their trips and number of blood units can be concluded in Table 4.5.

Table 4.5 Blood demand based on field survey during July 6 – 12, 2010

Date/Month/Year	Number of hospitals	Number of trips	Number of blood units
Tue 06/07/10	72	75	2,324
Wed 07/07/10	84	94	2,453
Thu 08/07/10	83	92	2,465
Fri 09/07/10	80	89	2,417
Sat 10/07/10	69	75	1,577
Sun 11/07/10	54	62	1,176
Mon 12/07/10	78	87	2,824
Total	520	574	15,236
Average	74	82	2,176

4.5.2 Travel distance

After obtaining the roads with determined speeds, the road data can then be used to create a database of Network Dataset linking all roads together. The next step is to analyze the data for finding the Origin-Destination Cost Matrix, which represents the costs that occur during transporting from all to all nodes in the network.

The distance matrix is analyzed by using ArcGIS software. The data are in the TFGDS Shapefile. In order to use ArcMap Network Analyst to solve problems regarding transportation network, some data of the roads, such as average travel times, one-way streets, etc., have to be prepared. Network Analyst is also very useful for finding routes, service areas, Closet Facility, Origin-Destination Cost Matrix, with its ability to solve vehicle routing problems. This research uses the Origin-Destination Cost Matrix to find the shortest distances and times for traveling between all to all nodes.

In order to find the shortest travel distance and time from the NBC to any hospital in the blood service network, the first step is to add the Network Dataset of the buffered road data, the locations of the NBC and all hospitals into ArcMap. Then the properties of the Network Dataset layer have to be specified on the layer properties window. With respect to property settings for distance-based analysis, the impedance needs to be set as meters in the Analysis Settings Function, as shown in Figure 4.32.

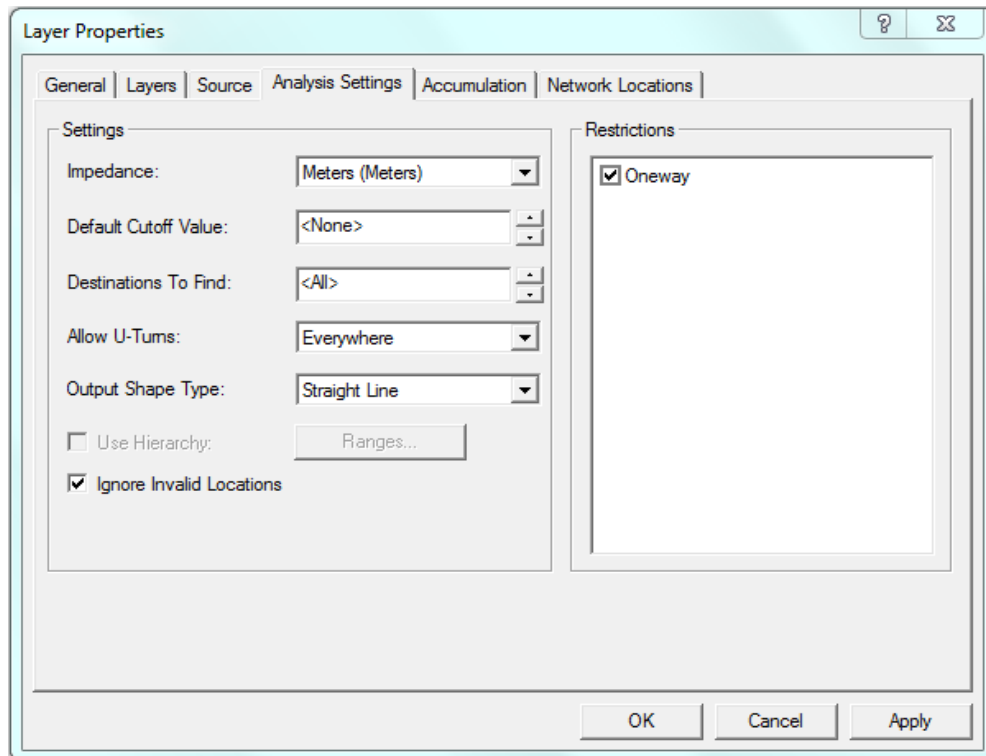


Figure 4.32 The Layer Properties of the Network Dataset layer

After specifying required values of the parameters in Layer Properties, the next step is to determine locations of Origin and Destination. Both the Origin data and Destination data must be in the Shapefile format. To specify a Shapefile as the origin, right click at Origin then select Load Location, as shown in Figure 4.33.

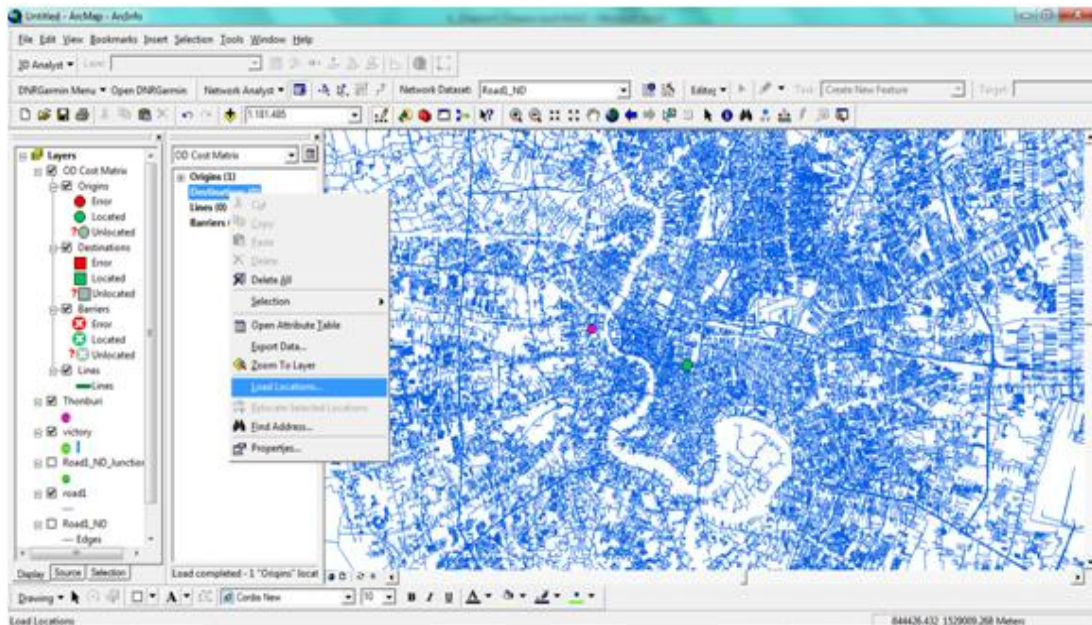


Figure 4.33 Selecting load locations of origins and destinations

The map resulted from finding distances between the NBC and all hospitals are not clear due to complexity of the map. In order to show an example of the analysis clearly, the Origin-Destination Cost Matrix analysis was conducted to find distance between two points, which were the NBC and Thonburi hospital. The Origin was set to be the NBC, and the Destination was set to be Thonburi hospital. The parameters set in the Load Locations window are shown in Figure 4.34.

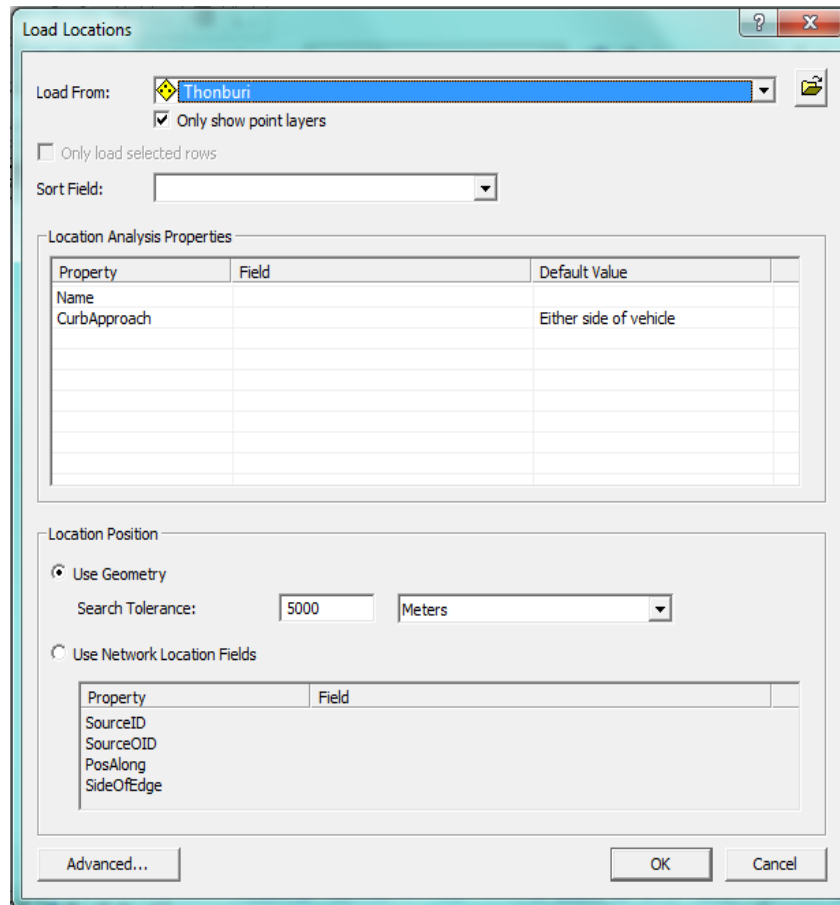


Figure 4.34 Determining the load locations of origins and destinations

After specifying all the parameters, click at the Solve button to have the program calculated for a point-to-point distance. After completion, an example of the O-D connection between the NBC and Thonburi hospital is shown in Figure 4.35.

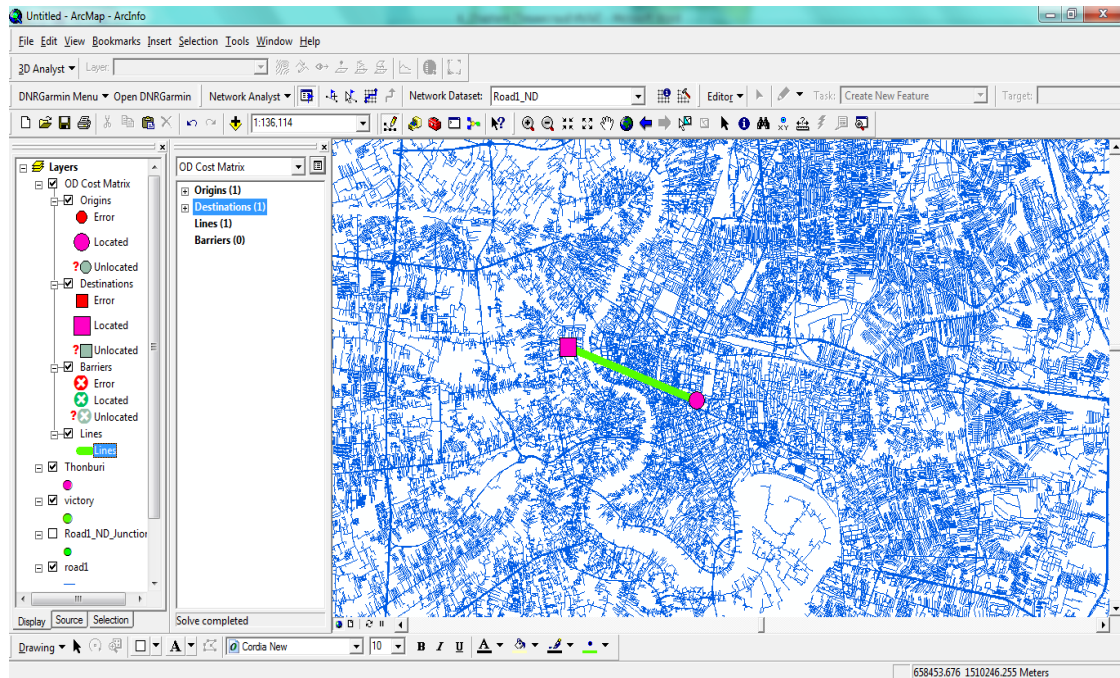


Figure 4.35 An example of the O-D connection between the NBC and Thonburi hospital

In this example, the distance from the NBC to Thonburi hospital was found to be 8,989.63 meters. On the other hand, the distance from Thonburi hospital to the NBC was 8,531.94 meters. This is only one example regarding distance calculation. In fact, there are many more hospitals to do the analysis process, and the results from the analysis can be extracted to obtain information of distances and times needed for traveling from the NBC to all hospitals. When the NBC and all hospitals in network are included, the total numbers of nodes to be analyzed are 132, or totally 17,424 routes. The information is contained in the attribute table of the dataset, as shown in Figure 4.36.

Shape	Name	OriginID	DestinationID	DestinationRank	Total_Meters	Total_Minutes
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - NATIONAL BLOOD CENTRE	1	1	1	0	0
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - CHULALONGKORN HOSPITAL	1	2	2	163.242882	.816214
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - BANGKOK CHRISTIAN HOSPIT	1	15	3	929.156116	4.645781
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - B.N.H. HOSPITAL	1	30	4	1477.590772	7.387954
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - POLICE GENERAL HOSPITAL	1	82	5	1701.954422	8.509772
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - MAHAESAK HOSPITAL	1	26	6	2144.720101	10.723601
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - LERDSIN GENERAL HOSPITAL	1	70	7	2509.711451	12.026953
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - ST. LOUIS HOSPITAL	1	10	8	2760.491997	12.280482
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - THAILAND TOBACCOMONOPOL	1	91	9	3108.819775	15.544099
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - BUMRUNGRAD HOSPITAL	1	3	10	3406.30609	17.03153
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - PHAYA THAI 1 HOSPITAL	1	4	11	3485.076262	17.425381
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - HUA CHIAO HOSPITAL	1	11	12	3763.02252	18.815113
Polyline	NATIONAL BLOOD CENTRE - DECHA HOSPITAL	1	28	13	3794.600862	18.973004

Figure 4.36 The attribute table of the route dataset with the information on travel distances and times

The data required for assessing transportation cost include distance, travel time, waiting time, employee wage, fuel price, and all other costs that may happen during traveling. The first data to be used is the distance data between the NBC and hospitals in the blood service network. The travel distance matrix can then be calculated by using ArcMap 9.3. Results of the analysis, as shown in Table 4.6, are the minimum distances on the road network between all nodes, which comprise the NBC and all the hospitals. However, since there are different hospitals each day to receive blood at the NBC, the total distance and time of those days are also different. Table 4.7 shown travel distance and time during July 6-12, 2010

Table 4.6 An example of the distance matrix

d_{ij}	Destinations (j)	0	1	2	..	..	131
Origins (i)	Nodes	The NBC	001001	001101	:	:	104206
0	The NBC	0.00	163.24	3,406.30	..	..	18,870.43
1	001001	377.18	0.00	3,244.41	..	..	18,930.80
2	001101	3,759.09	3,383.26	0.00	..	..	20,285.23
..
..
131	104206	18,863.72	19,026.96	20,544.65	..	..	0.00

Note: i = the origin point

j = the destination point

For example, 0 = the NBC

1 = code 001001 (Chulalongkorn hospital)

2 = code 001101 (Bamrungrad hospital)

...

131 = code 104206 (Bangchak hospital)

Table 4.7 Travel distance and time during July 6-12, 2010

Date	Distance (km)	Time (hours)
06/07/10	1,957.63	108.68
07/07/10	2,491.13	142.78
08/07/10	2,598.70	145.69
09/07/10	2,534.08	141.33
10/07/10	1,906.39	107.51
11/07/10	1,317.39	82.35
12/07/10	2,223.86	129.67
Total	15,029.18	858.01
Average	2,147.03	122.57

4.5.3 Travel speed

Traveling speeds on various road types can be different. Due to different road conditions, the speeds of driving on a main road and on a minor road are different. Therefore, appropriate traveling speeds must be determined in order to solve the vehicle routing problem. For this research, the Buffer tool in ArcGIS is used to determine speed zones. In brief, the procedures started by adding relevant data into ArcGIS. The added Shapefile data are the study area (i.e., BMR), road network and the location of Victory Monument. Speeds of traveling on the roads were determined by using the current speed data in BMR (Tangpaisalkit, 2009). The speeds were determined according to the range of distance away from the Victory Monument, as follows;

Within the range of 20 – 30 km, the average speed is 47 km/hr;

Within the range of 10 – 20 km, the average speed is 35 km/hr;

Within the range of 5 – 10 km, the average speed is 23 km/hr;

Within the range of 0 – 5 km, the average speed is 12 km/hr.

The map of the road network after using the Buffer command to determine traveling speeds on the roads at certain distances away from the Victory Monument is shown in Figure 4.37.

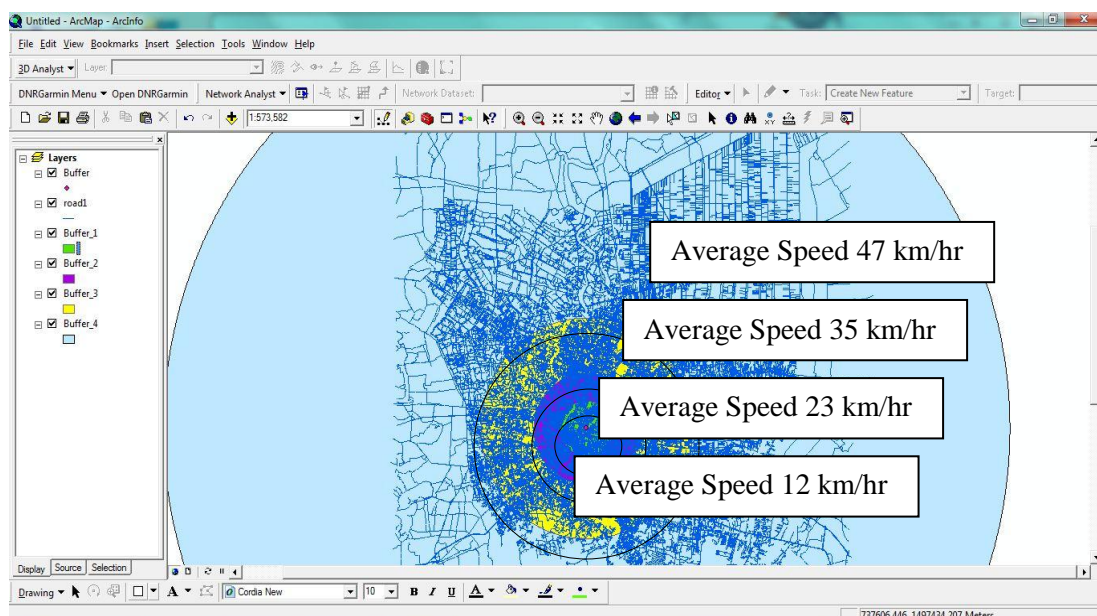


Figure 4.37 Speed zones as determined by the distance away from the Victory Monument

4.5.4 Capacity

For routing design in this research, it is assumed that all the vehicles from hospitals are TOYOTA COMMUTER model that use diesel engine. The TOYOTA COMMUTER vans are used to deliver blood to hospitals in the network. The van is capable to carry 12 passengers, and each passenger's average weight is about 60 kilograms. That means the model can have a maximum loading capacity of 600-700 kilograms or approximately 700 bags of blood. The van can carry so many bags because the weight of each blood bag is little. However, since there are only 5-6 nodes of hospitals per trip, the total number of blood bags is therefore relatively few comparing to the van's capacity.

4.6 Assessment of the current transportation cost

Each day, hospitals in the blood service network send a great number of vehicles to receive blood at the NBC. This results in a lot of transportation cost. Simply put, more vehicles mean more cost.

Blood distribution activities incur both fixed and variable (running) costs. This research is conducted to assess all the costs from blood distribution activities. The costs involve all expenses during blood distribution. There are many factors that affect the costs of blood distribution activities. These factors include characteristics of the transporting route, travel distance, travel time, etc. There are two major resources that produce costs during blood distribution. The two resources are:

- Vehicles from hospitals in the blood service network that come to pick-up blood at the NBC. Costs that arise with this resource include fuel cost, depreciation cost, insurance cost, maintenance cost, etc.
- Drivers and officers working with hospitals' vehicles that come to receive blood at the NBC. Costs that arise with this resource include wage of drivers, overtime, etc.

There can be more factors that affect costs on the above two resources. Familiarity on the roads of the drivers is also important. The route chosen by the driver might not be the shortest route. Such this inefficiency may produce various kinds of cost. Therefore, the cost assessment must consider all compositions of costs, which

can be categorized into three types, i.e., fixed costs, variable costs and opportunity costs.

4.6.1 Fixed Costs

Fixed costs include all costs that the organization has to pay regardless of vehicle usage. Examples of fixed costs are the vehicle price, wage of the driver, etc. For simplicity of cost assessment in this research, it is assumed that all the vehicles from hospitals are of TOYOTA COMMUTER model. The price of a new TOYOTA COMMUTER is 1,138,000 Baht, and the price will go down to 530,000 Baht with 5 years of useful life. The wage of drivers is assumed to be 8,000 Baht/month. Considering the overall cost for transportation, it can be estimated, given the following data and assumptions;

- Motor-vehicle tax 2,000 Baht/year (Nurakkhe, 1998)
- Cost of insurance policy according to Victim Protection Act 1,000 Baht/year (Department of Land Transport, 2011)
- Cost of general insurance policy 20,000 Baht/year (Nurakkhe, 1998)
- Maintenance cost 15,400 Baht/year (Department of Land Transport, 2011)
- Vehicle inspection cost 500 Baht/year (Singburi Provincial Land Transportation Office, 2009)
- Depreciation is calculated by the straight-line method. The initial price of vehicle is 1,138,000 Baht (Toyota, 2010). The useful life is 5 years and the salvage value is 530,000 Baht. In this case,

$$\begin{aligned}
 \text{Depreciation} &= (\text{The initial price of vehicle} - \text{Salvage value}) / \text{Useful life} \\
 &= (1,138,000 - 530,000) / 5 \\
 &= 121,600 \text{ Baht/year}
 \end{aligned}$$

The calculation is assumed that there are 30 days per month and 8 hours per day. The hourly costs can be summarized as follows;

	Baht/hour
Motor-vehicle tax	0.69
Cost of insurance policy according to Victim Protection Act	0.35
Cost of general insurance policy	6.95
Maintenance cost	5.35
Vehicle inspection cost	0.17
Depreciation	42.22
Total	55.73

According to the analysis of data, the total travel time on July 6th, 2010 was 108.68 hours (Table 4.7), the total traveling distance of 1,957.63 km (Table 4.7). From field surveys, the average waiting time for each hospital to pick-up blood is 56 minutes with the data collected during observation 15 hospitals. On July 6th, there were 75 hospitals. Therefore, the total waiting time was $(75 \times 56) / 60 = 70$ hours. The wage of drivers is assumed to be 8,000 Baht/month (Department of Labour Protection and Welfare, 2010), the overtime (eight hours per week) is be 1,200 Baht/month. (The regulation of Banphaeo hospital on welfare and benefits of officers and employees, 2004) and on duty two times per month (The overtime of hospital, 2010) is 780 Baht. Totally, the wage is 9,960 Baht/month or 47.88 Baht/hour. As an example, the estimated fixed cost on July 6th, 2010 can be calculated by

$$\begin{aligned}
 \text{Fixed cost of vehicle} &= \text{Total cost} \times (\text{Travel times} + \text{Waiting times}) \\
 &= 55.73 \times (108.68 + 70) \quad \text{Baht/hour} \times \text{hour/day} \\
 &= 9,957.84 \quad \text{Baht/day}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Fixed cost of the driver} &= \text{Wage} \times (\text{Travel times} + \text{Waiting times}) \\
 &= 47.88 \times (108.68 + 70) \quad \text{Baht/hour} \times \text{hour/day} \\
 &= 8,556 \quad \text{Baht/day}
 \end{aligned}$$

The estimated fixed costs for the whole period of seven days are presented in Table 4.8.

Table 4.8 Assessment of fixed cost for blood distribution in BMR

Date/Month/Year	Fixed cost (Baht)		Total fixed cost (X ₁) (Baht/day)
	Vehicle	Driver	
06/07/10	9,958	8,556	18,514
07/07/10	12,847	11,037	23,884
08/07/10	12,905	11,087	23,992
09/07/10	12,506	10,744	23,250
10/07/10	9,893	8,499	18,392
11/07/10	7,815	6,744	14,559
12/07/10	11,753	10,097	21,850
Total	77,728	66,733	144,461

The cost of vehicle usage and wages of drivers is estimated based on the data of seven days, from July 6 – 12, 2010. The assessment revealed that the average fixed cost ($X_1/7$) is 144,461/7 Baht or 20,637 Baht/day. Currently, the hospitals in the blood service network send their vehicles to the NBC every day. Therefore, the average annual cost of vehicle usage and drivers' wage is 20,637 (Baht/day) x 365 (day) or 7,532,505 Baht/year.

4.6.2 Variable costs

Variable costs are expenses that change in proportion to the amount of activity. In this case, costs arise whenever the vehicle is used. These costs include fuel, tire, brake, battery etc. It can be estimated, given the following data and assumptions;

	Baht/km
Tire cost (Department of Land Transport, 2011)	1.32
Engine oil cost (Department of Land Transport, 2011)	0.70
Brake cost (Department of Land Transport, 2011)	0.30
Battery cost (Department of Land Transport, 2011)	0.23
Total	2.55

Given the following data and assumptions;

- Fuel price (diesel) on August 5, 2010 is 27.99 Baht/liter (Petroleum Authority of Thailand, 2010)
- The total travel distance on July 6, 2010 is 1,957.63 kilometers
- The fuel consumption rate is 10.5 km/liter or 0.1 liter/km. (Nurakkhe, 1998)

The variable cost of July 6th, 2010 can be computed by

$$\begin{aligned}
 \text{The total variable cost} &= [\text{Tire} + \text{Engine oil} + \text{Brake} + \text{Battery} + \\
 &\quad (\text{Fuel price} \times \text{Fuel consumption})] \times \text{Distance} \\
 &\quad (\text{Baht/km} + ((\text{Baht/liter}) \times (\text{liter/km}))) \times \text{km/day} \\
 &= [1.32 + 0.70 + 0.30 + 0.23 + (27.99 \times 0.1)] \times 1,957.63 \\
 &= 10,471.36 \text{ Baht/day}
 \end{aligned}$$

Variable costs are assessed for round-trip. The pick-up trip is mostly empty whereas the delivery trip is little loaded with blood bags. These costs for the whole period of seven days are displayed in Table 4.9.

Table 4.9 Assessment of the variable cost for blood distribution in BMR

Date/Month/Year	Variable cost (X ₂) (Baht/day)
06/07/10	10,472
07/07/10	13,326
08/07/10	13,901
09/07/10	13,555
10/07/10	10,198
11/07/10	7,047
12/07/10	11,896
Total	80,395

The variable costs were estimated based on total travel distance from July 6 – 12, 2010. The average distance is 2,147 km/day. The fuel cost alone can be as high as 80,395 Baht during the seven days of observation. That means, on average ($X_2/7$), the cost is 80,395/7 Baht or 11,485 Baht/day. Therefore, in one year, the variable cost can be as high as 4,192,025 Baht/year. This figure is quite enormous. When the vehicle is used, both fixed costs and variable costs do certainly arise; namely, current cost of blood distribution. These costs are presented in Table 4.10.

Table 4.10 Assessment of the current cost for blood distribution in BMR

Date	Total fixed cost (X_1) (Baht/day)	Variable cost (X_2) (Baht/day)	Total cost ($X_1 + X_2$) (Baht/day)
06/07/10	18,514	10,472	28,986
07/07/10	23,884	13,326	37,210
08/07/10	23,992	13,901	37,893
09/07/10	23,250	13,555	36,805
10/07/10	18,392	10,198	28,590
11/07/10	14,559	7,047	21,606
12/07/10	21,850	11,896	33,746
Total	144,461	80,395	224,856

Combining the fixed cost and the variable cost together ($X_1 + X_2$), the figure for seven days is 224,856 Baht. That means the average of these two costs is 32,122 Baht/day. Given the average daily distance of 2,147 km, the average of distribution expense per distance is $(32,122/2,147) = 14$ Baht/km. This figure may seem little. However, considering for a whole year, the figure of total (fixed plus variable) costs is as high as 11,724,530 Baht/year.

4.6.3 Opportunity cost

Opportunity cost is the value of any activity measured in terms of the best alternative foregone. It is the sacrifice related to the second best choice available to someone who has picked among several mutually exclusive choices. Opportunity costs

are not restricted to monetary or financial costs. The real cost of output forgone, lost time, pleasure or any other benefit that provides utility should also be considered as the opportunity cost. In this research, this cost happens due to uncertainty of vehicle usage that is sent to receive blood at the NBC. Most of them are ambulances, which have a very high price. Ambulances are also intended to be used for carrying patients. Thus using ambulances for carry blood might lead to great losses. The standard cost of using an emergency ambulance is 500 Baht/trip. (The emergency ambulance service, 2010) The following is an example of cost calculation for the loss that happened on 6th July 2010, given that the number of trips is 75 (Table 4.5)

$$\begin{aligned}
 \text{Opportunity cost} &= \text{Number of trips} \times \text{Standard usage cost of ambulance} \\
 \text{Opportunity cost in the 6}^{\text{th}} \text{ day} &= 75 \times 500 \quad (\text{trip/day}) \times (\text{Baht/trip}) \\
 &= 37,500 \quad \text{Baht/day}
 \end{aligned}$$

The daily opportunity cost during the seven day period from 7th – 12th July 2010 are presented in Table 4.11.

Table 4.11 Assessment of the opportunity cost of vehicles

Date/Month/Year	Opportunity cost (X ₃) (Baht/day)
06/07/10	37,500
07/07/10	47,000
08/07/10	46,000
09/07/10	44,500
10/07/10	37,500
11/07/10	31,000
12/07/10	43,500
Total	287,000

The opportunity cost (X₃) arises with blood distribution activities. This cost happens due to uncertainty of vehicle usage. Hospitals cannot be certain that their

vehicles are needed for blood transportation every day. Without blood requirement, some vehicles may not be used at all. In addition, when coming to the NBC, the vehicles come with empty load. The use of vehicles may not also be worthy because blood quantity is too little when compared to the vehicle capacity so those vehicles are not fully loaded. Importantly, it is found that all these vehicles are ambulances. Thus the utilization of these vehicles is not considered fully efficient. That means the opportunity costs of vehicles during the seven day period from 7th – 12th July 2010 are 287,000 Baht, or 41,000 Baht a day or 14,965,000 Baht/year.

4.6.4 Total cost

The total cost of blood distribution is made up of fixed, variable and opportunity costs. The fixed cost has to be paid regardless of vehicle usage. It includes inputs that cannot be varied in the short term, such as vehicle price and wage of the driver. The variable costs arise whenever the vehicle is used. It includes inputs such as fuel, tire, brake and battery. Therefore, when combining all three costs, the figure for seven days is equal to $X_1+X_2+X_3 = 511,856$ Baht. That means the total cost is 73,122 Baht per day or 26,031,533 a year. This figure is really very high.

From assessing costs that happen during the blood distribution, we can see problems clearly. These problems may involve vehicles, employees, fuels, opportunity cost etc. Thus we have to analyze and design new system of blood distribution. The current situation and the newly proposed blood distribution will be compared.

4.7 Re-designing blood distribution

As mentioned previously, blood has to pass through many procedures before reaching the patient. With intention to provide blood to patient quickly and safely, the research found that blood distribution services at this time are still inefficient. Distribution costs have seems too high. Better solutions for blood transportation are needed to reduce risk of blood damage before reaching the patients. The more efficiency of blood distribution means the cost will be reduced, while the blood quality must not be decreased. Therefore, this research has tried to design a

better distribution system. The processes of developing such system consist of four main components as shown in Figure 4.38.

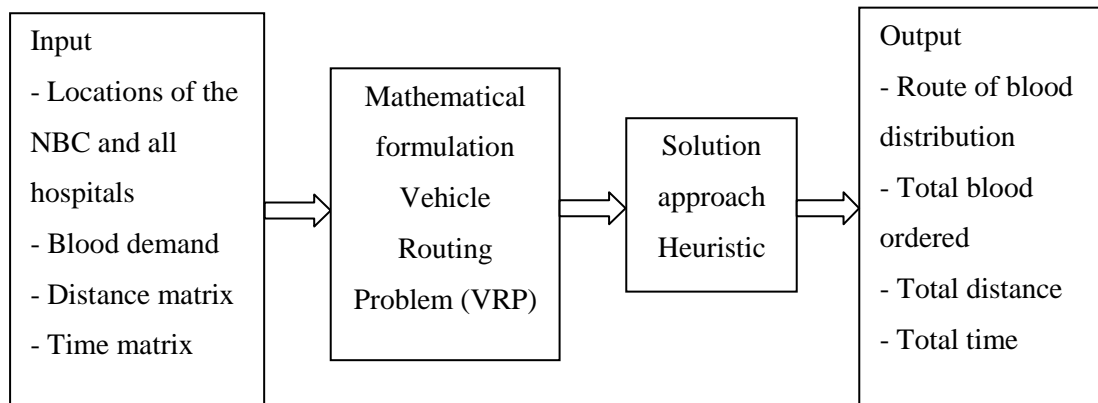


Figure 4.38 Designing process for the better blood distribution system

4.7.1 Input preparation

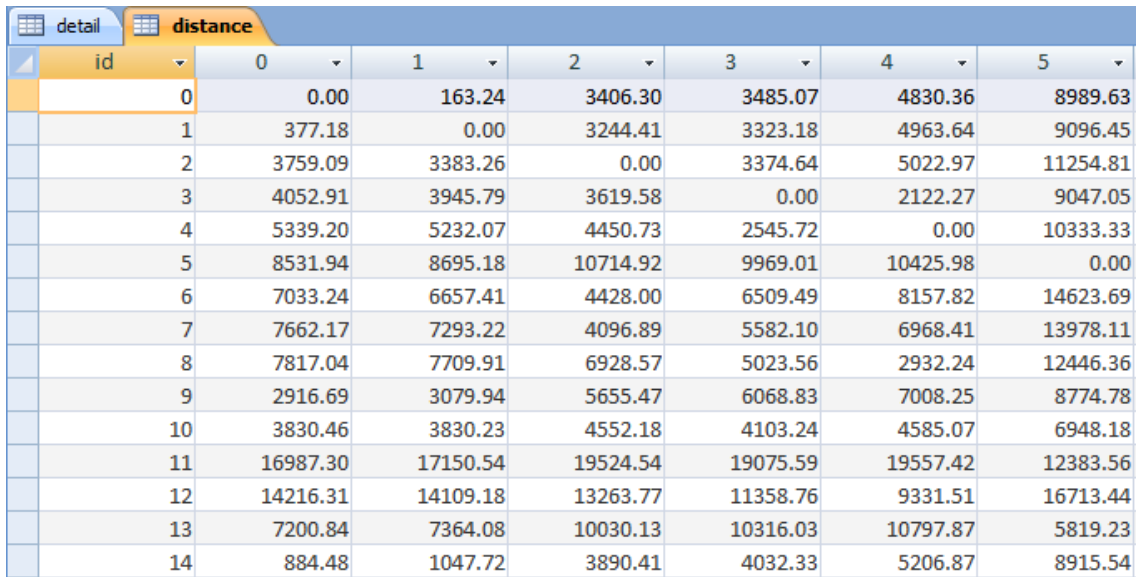
To design blood distribution routes, data have to be prepared before inputting into the developed system. The prepared data are kept as a database in Microsoft Access format. The database can be linked for calculation by specifying the location of the database to be connected. Data that need to be prepared as input data for designing blood distribution routes are:

- Locations of the NBC and all hospitals in the blood service network, these are nodes of blood distribution. The data are recorded as a database in Microsoft Access format. The database is intended to make it easy for retrieving by the application software developed by Microsoft Visual Basic 2008 to design the routes. The detailed data of hospitals that contain their codes, order, distances from the NBC, and names are in the first sheet of the database, as shown in Figure 4.39.

detail distance DUAL			
code	order	distance	name
	0	0.00	ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ
001001	1	920.00	โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์
001101	2	3930.00	โรงพยาบาลปทุมราชภัฏ
001102	3	4080.00	โรงพยาบาลพญาไท 1
001103	4	5370.00	โรงพยาบาลพญาไท 2
001104	5	10600.00	โรงพยาบาลธนบุรี 1
001105	6	7290.00	โรงพยาบาลสมิติเวชสุขุมวิท
001106	7	7520.00	โรงพยาบาลกรุงเทพ
001107	8	8300.00	โรงพยาบาลเปาโลฯ พหล
001108	9	2845.00	โรงพยาบาลเซนต์หลุยส์
001109	10	4100.00	โรงพยาบาลหัวเฉียว
001110	11	17880.00	โรงพยาบาลเกษมราษฎร์ 1 บางแค
001111	12	15710.00	โรงพยาบาลวิภาวดี
001112	13	6920.00	โรงพยาบาลกรุงธน 1
001113	14	1020.00	โรงพยาบาลกรุงเทพคริสเตียน
001114	15	13820.00	โรงพยาบาลเมโย
001115	16	7210.00	โรงพยาบาลวิชัยยุทธ
001116	17	19720.00	โรงพยาบาลเปาโลเมโมเรียล โชคชัย 4
001117	18	11920.00	โรงพยาบาลแพทย์ปัญญา
001118	19	7730.00	โรงพยาบาลสุขุมวิท
001119	20	4720.00	โรงพยาบาลมิชชั่น
001120	21	12050.00	โรงพยาบาลเพชรเวช
001121	22	7750.00	โรงพยาบาลคามิลเลียน

Figure 4.39 The database with details of the hospitals in the blood service network

- Distance Matrix, it can be derived from the analysis using ArcMap as explained in the Section 4.5.2. The matrix is stored in the second sheet of the database. The database was stored in the Microsoft access format with the matrix of 132 x 132. In the matrix, the id 0 is the NBC, and 1, 2, ..., until 131 are hospitals in the network, as shown in Figure 4.40.



id	0	1	2	3	4	5
0	0.00	163.24	3406.30	3485.07	4830.36	8989.63
1	377.18	0.00	3244.41	3323.18	4963.64	9096.45
2	3759.09	3383.26	0.00	3374.64	5022.97	11254.81
3	4052.91	3945.79	3619.58	0.00	2122.27	9047.05
4	5339.20	5232.07	4450.73	2545.72	0.00	10333.33
5	8531.94	8695.18	10714.92	9969.01	10425.98	0.00
6	7033.24	6657.41	4428.00	6509.49	8157.82	14623.69
7	7662.17	7293.22	4096.89	5582.10	6968.41	13978.11
8	7817.04	7709.91	6928.57	5023.56	2932.24	12446.36
9	2916.69	3079.94	5655.47	6068.83	7008.25	8774.78
10	3830.46	3830.23	4552.18	4103.24	4585.07	6948.18
11	16987.30	17150.54	19524.54	19075.59	19557.42	12383.56
12	14216.31	14109.18	13263.77	11358.76	9331.51	16713.44
13	7200.84	7364.08	10030.13	10316.03	10797.87	5819.23
14	884.48	1047.72	3890.41	4032.33	5206.87	8915.54

Figure 4.40 An example of the distance matrix stored in the database

- Time matrix, it can be derived from the analysis using ArcMap. The process of this analysis follows these steps.

1) The attribute table of the existing shapefile is edited so that it has one additional field for speed.

2) Speeds on the roads vary by buffer. There are four levels of buffering as explained in the Section 4.5.3. Firstly, all roads are selected with the largest buffer distance, by setting the Victory Monument as the center. Speeds are then determined for the all roads in the buffer. Then the smaller circle is created with a smaller buffer distance. The outputs from buffering procedures are intersected in order to categorize the roads and a set of different speeds for individual road categories.

3) Then, the shapefile was added two fields for storing times of delivery and back-haul. The formula for calculating the travel time on each link is

$$\text{Travel time} = \text{Distance} / \text{Speed}$$

4) To compute the time matrix, it is similar to the distance calculation. It can be computed by using the New OD Cost Matrix feature in ArcMap to find the shortest path based on time for traveling between all to all nodes (Section 4.5.2).

The results were stored in the Microsoft Access with the matrix size of 132 x 132. In the matrix, the id 0 is the NBC whereas codes 1, 2, ..., until 131 are hospitals in the network, as shown in Figure 4.41.

id	0	1	2	3	4	5
0	0.00	0.81	17.03	17.42	24.15	35.65
1	1.88	0.00	16.22	16.61	24.81	36.18
2	18.79	16.91	0.00	16.87	25.11	49.71
3	20.26	19.72	18.09	0.00	10.61	38.67
4	26.69	26.16	22.25	12.72	0.00	45.11
5	34.04	34.85	44.95	42.86	44.34	0.00
6	34.00	32.12	20.97	31.38	39.62	65.39
7	36.83	34.99	19.00	26.47	33.40	61.85
8	39.08	38.54	34.64	25.11	14.66	50.41
9	12.77	13.59	26.38	28.53	33.23	22.81
10	19.15	19.15	22.76	20.51	22.92	25.44
11	43.58	44.39	63.52	61.28	63.69	26.20
12	59.64	59.11	55.68	46.16	35.22	49.15
13	24.12	24.94	37.76	44.50	46.90	15.13
14	4.42	5.23	19.45	20.16	26.03	35.28

Figure 4.41 An example of the time matrix stored in the database

- Blood demand refers to the volume of blood ordered by hospitals in the network. For receiving blood, the drivers will submit the form as shown in Figure 4.24. However, they might not receive blood at the required quantity, due to insufficiency of blood supply. The personnel at the NBC will consider the blood quantity. Blood demands vary day by day. Some days there are high demands, and some days the demands are low or none at all. Therefore, it is impossible to fix the quantity of blood demand in the program for designing the routes. Users have to always input the blood demand quantity before designing a new route because blood demand is very important for capacity of vehicles. For the calculation, the vehicle's maximum capacity is set to be between 600-700 kg. The example of blood demand during 6th – 12th July 2010 is shown in Table 4.12.

Table 4.12 Example of blood demand during 6th – 12th July 2010

Hospital	Daily blood volume (bags)						
	6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul
Chulalongkorn	346	481	251	438	75	116	330
Bamrungrad	43	25	107	28	22	24	76
Phyathai 1	10	15	49	4	3	17	11
Phyathai 2	8	5	15	11	28	10	18
..
Bang chak	0	0	0	0	0	0	0
Total	2,324	2,453	2,465	2,417	1,577	1,176	2,824
Average per hospital	33	30	30	31	23	22	37

4.7.2 Mathematical model and solution approach

There are many mathematical formulations for designing routes and solving the Vehicle Routing Problem (VRP). However, VRP is the NP-Problem that is difficult to find the optimal solution. Especially the problem in this research is large. From the literature review section, there are several studies and research to find the solution for VRP subject to a set of restrictions or constraints. For the blood distribution problem, it may take a long time to find the optimal solution. From the literature review, it found that there are currently two types of methods to solve vehicle routing problems; namely, exact and heuristic algorithms. The exact algorithm shows the result that is the optimal solution. However, its application is usually good for only simple or small problems, but takes too long time for solving larger problems. On the contrary, heuristic is a very good solution method that gives the near optimal solution. So this research uses a heuristic algorithm to find the solution. Although it is not the optimal, such solution is acceptable under the time constraint. The resulting routing provides an efficient blood distribution routing solution with the minimum cost.

Some hospitals do not require blood every day. Some of them dispatch the vehicles twice a day. As a result, it leads to a huge waste of fuel and other medical

resources. The heuristic method used to solve this problem for designing the vehicle routing needs to be a rapid calculation. This research compares two characteristics, i.e., the type of solution and the computing time. The most appropriate method has to give the best answer, but less computing time. Therefore, the research adopts the saving algorithm heuristic to develop program for designing blood distribution routes by coding in Visual Basic version 2008. The algorithm is not much complex calculation. It can find the solution within the reasonable amount of time. Furthermore, this program shows the total distance and cost.

4.7.3 Program development

The heuristic “saving algorithm” was coded in Visual Basic version 2008. There are rules to find delivering points that will produce more saving by linking two points into the same route rather than separating routes. The development process is started by selecting a node that represents the central depot, and then specifying this node as the first delivering point. For this research, the central depot is the NBC. Other data, such as hospital code, number and hospital name are shown in the interface and let the user input the data on blood demand and some other variables such as distance, capacity and number of hospitals, as shown in Figure 4.42.



Figure 4.42 The interface of the program for designing blood distribution routes

The next process is about calculation. This program build a route by using concept of cost saving. Suppose that node 1 represents the central depot or the NBC. This method derive the cost saving from integrating routes between node 1 to the delivering point i and node 1 to the delivering point j into one route, ie., 1-i-j-1. The saving value is equal to $C_{i1} + C_{1j} - C_{ij}$. Then the saving values (S_{ij}) will be sorted. This is done by selecting the highest saving values from the pair of delivering point i and delivering point j without redundancy, then creating a sub-route by linking between delivering point i and delivering point j . These steps are repeated until finishing all points and not exceeding the threshold. The resulting saving distance values will be stored in the database of Microsoft access so that it can be easy to retrieve the data for designing blood distribution routes. The developed program is verified with some known problems in order to validate the software before the real implementation. The procedures for verifying the results are explained next.

4.7.4 Program testing

The program was run on the desktop computer with Intel Core I5 M520 @2.40 GHz CPU, 4.00 GB of RAM. It is the 64-bit system of Windows 7 Ultimate Operating System. After the program for designing blood distribution routes has been coded, it has to be tested prior to the real implementation. The program was tested with the examples with known results for verification. Also, the test was conducted in order to check whether the database connection and data display worked properly. Outputting data for calculation and displaying the results were also tested. There were three examples that were used to test the results and efficiency of the developed program for designing blood distribution routes. Details of the verification are reported in Appendix B.

The program testing with three examples show satisfactory results both in terms of computing time and solution correctives. Such successful verification ensures the applicability of the developed program to the real problem for designing distribution routing of blood in BMR.

4.7.5 Routing design for blood distribution in BMR

Blood distribution in BMR still has many problems waiting to be solved and improved. At present, hospitals need to send their vehicles to pick-up blood at the NBC. However, the blood distribution can be more efficient by redesigning the routes. The routes will be designed so that all trips will start from the NBC to reach several stops at one trip. The new transportation system should be under responsibility of NBC or its contractor, in other words, third party logistic provider. Conventionally, the routing plan should be designed and managed by an expert or experienced personnel who are familiar with various blood transportation routes in order to make an efficient plan. However, there might be some mistakes happen from the work of the expert due to some limitations. For example, there might be physical limitation such as the ability to remember all places in the routes. In addition, if the personnel in charge of route management have resigned from the center, his experience will be lost, and the new personnel will have to learn from scratch again. Therefore, the approach of using a software or computer system to assist in route management can help to reduce such mistakes and enhance efficiency of route design for blood distribution. Moreover, the computer software can process and analyze data in a short time, which help saving time and reducing procedures for rearranging blood transportation routes. Using computer software is faster and more accurate than learning routes by oneself. The resulted routes from software calculation will have shorter distance and be more appropriate than original routes. According to results from the experiment, the developed program could perform very well in solving the problem. The developed program starts with the first window screen, as shown in Figure 4.43

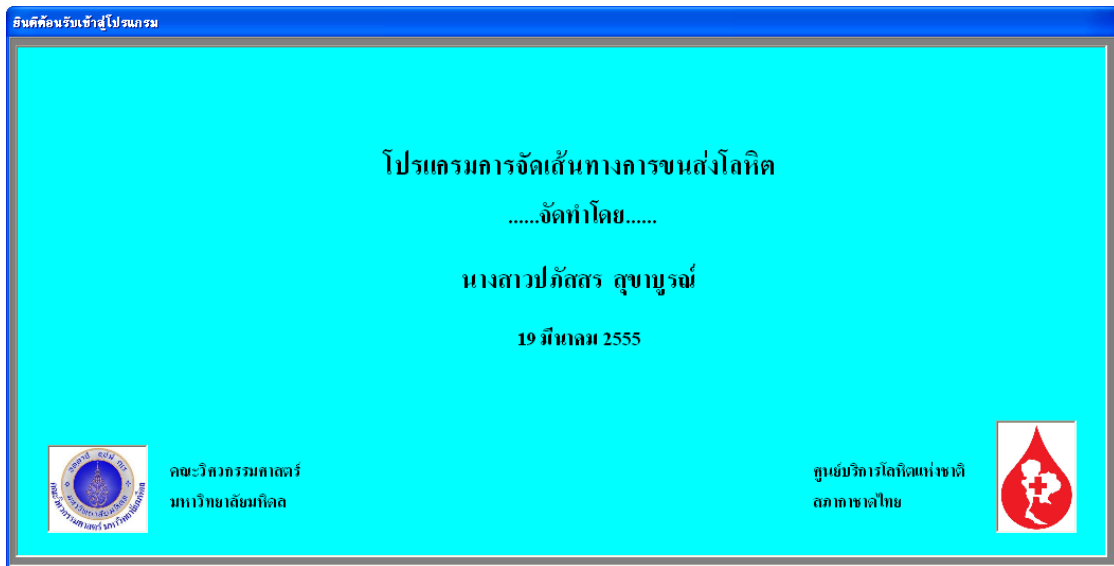


Figure 4.43 The window of developer program

The program is applied to solve the real problem of blood distribution in BMR, as illustrated in Figure 4.44. The first part of the program processing is the procedure of using Microsoft Access to extract relevant details. These details are the location of the distribution center (in this case, the NBC) and hospitals, distance and time matrices from all nodes to all nodes. These distances can be combined to make a Travel Distance Matrix that will be used with the interface of the developed program. The interface is the place to input fundamental data needed for analyzing and designing blood transportation routes. At the program interface, the user can select a hospital and input the quantity of blood that the hospital requires.

The second part of the program processing is the procedure of determining constraints regarding loading capacity, number of hospitals along a route, maximum distance, maximum time and service time. Also, the user can determine the distribution expense by per unit or per distance. This procedure is conducted in order to make the program be more flexible for utilization.

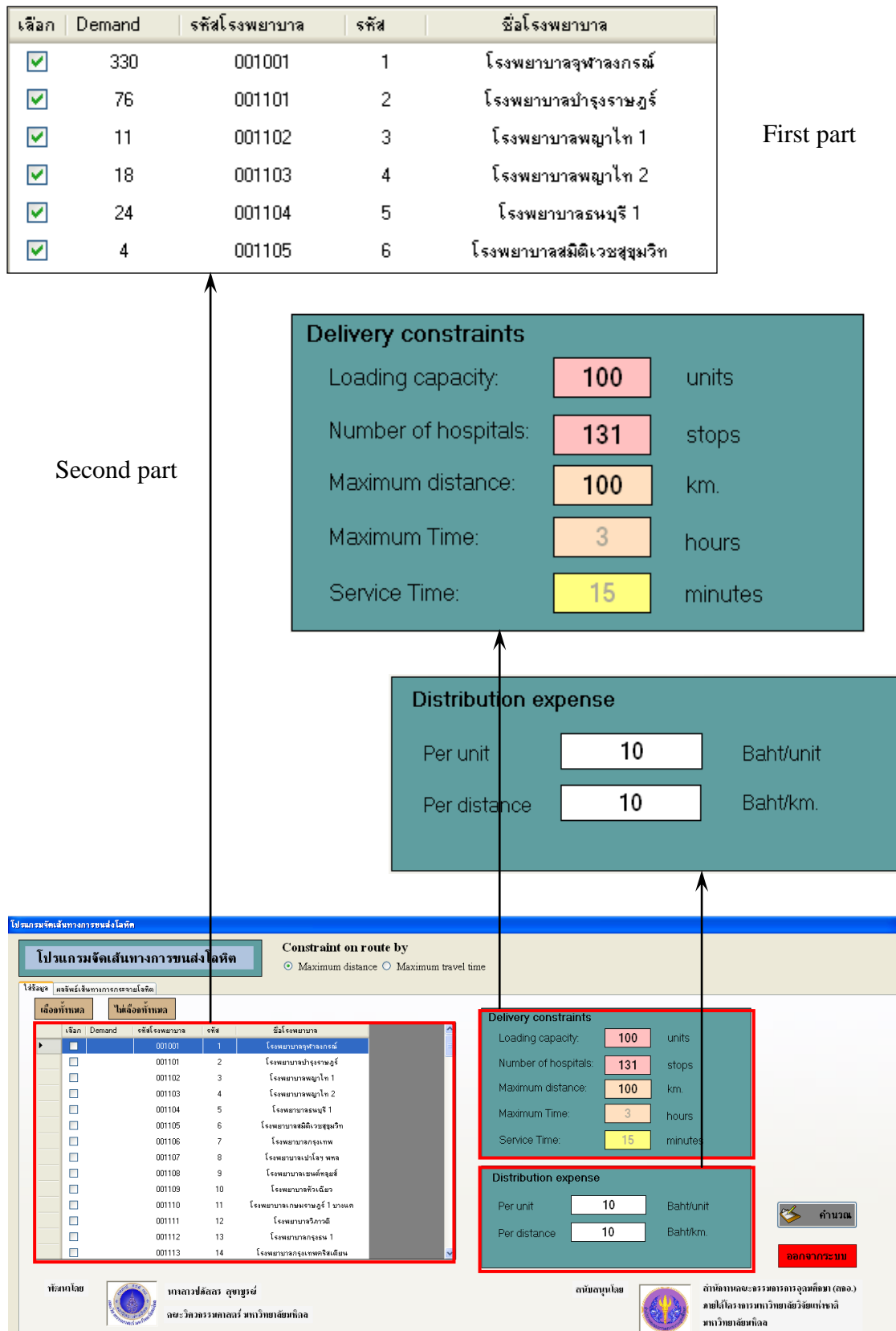


Figure 4.44 User interface of the program for designing blood distribution routes

The developed program is used to solve the real problems involving blood transportation to 131 hospitals in the network. The blood distribution system is redesigned so that the hospitals are no longer required to send their vehicles to receive blood from the NBC. Instead, the NBC will prepare the vehicles and send them out with blood products to deliver to all hospitals in the same route. Each trip will be designed so that the distance is as short as possible. This approach will make the blood transportation system becomes more efficient. The analysis was conducted based on the blood distribution data during the dates of 6th to 12th July 2010. The assumption was made by using TOYOTA COMMUTER as the vehicle model for distributing blood. Since these hospitals do not require blood to be transported every day, and their blood required quantities are different, the route management has to be designed for each specific day. The procedures start by specifying hospitals that require blood on that date, then specifying blood quantity and limitations or constraints regarding the transportation distance. There are two types of constraints, i.e., the maximum distance and maximum travel time as shown in Figure 4.45.

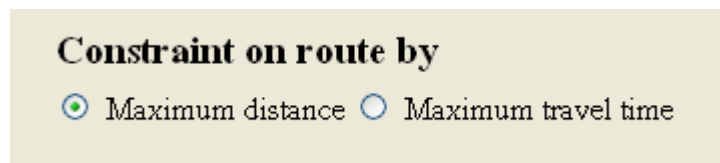


Figure 4.45 Constraints on routing

This section is the choice of delivery constraints between maximum distance and maximum travel time. The user needs to choose one, and then fill out the corresponding values, as shown in Figure 4.46.

Delivery constraints		
Loading capacity:	600	units
Number of hospitals:	131	stops
Maximum distance:	100	km.
Maximum Time:	3	hours
Service Time:	15	minutes

Figure 4.46 Display for default constraints

If the constraint is the maximum distance, there are three further delivery sub-constraints; namely, loading capacity, number of hospitals, maximum distance. Details of these constraints are discussed as follows;

- Loading capacity

For routing design in this research, it is assumed that all vehicles from hospitals in the network are TOYOTA COMMUTER model. The van is capable to carry 12 passengers. Suppose each passenger's average weight is about 60 kilograms that means the van has the maximum loading capacity of 600-700 kilograms or approximately 600 bags of blood. Therefore, the loading constraint is specified at 600 units of blood

- Number of hospitals

It is assumed that the NBC leases a fleet of vehicles to be used (or hires the logistics provider) for delivering the blood. The closest hospital which has placed an order which the NBC can fill is scheduled as the first stop on a trip. However, we do not know the optimum number of stops that should be contained in each route. From reviewing, the research in USA (Gregor et al, 1982) suggested that stops are scheduled up to a maximum of five. In this research, we have tested different number of stops by running blood distribution program with the data collected during the seven-day observation. The number of hospitals (or stops) was used as a constraint. The program was run with the increasing numbers of stops, starting from 1, 2, 3, up to 10 stops. With this approach, the effect of the parameter on computing time is revealed clearly, as shown in Table 4.13. However, since there are different numbers of vehicles coming from hospitals each day for receiving blood at the NBC, the average

computing times of those days are also different. Figure 4.47 reveals that the computing time tends to decline from the 5th stop, although there are some fluctuations. Values of computing time are quite similar. That means, technically, the program works fine, and does not have any computing problems. Thus the problem may be concerned with only the administration and management.

The researcher therefore suggests that, in each trip, there should be the maximum of six stops, after which the vehicle returns to the NBC. This will allow each vehicle to reach all assigned stops within three hours. Subsequently, the vehicles will be able to deliver blood for two trips a day: one in the morning and one in the afternoon. The traveling distances of each trip should also be appropriate since they are not too far. In addition, having six stops per route also helps reducing number of trips required for each day. Therefore, it is roughly determined that each route has three stops. However, it does not mean that having six stops per route is the best or the most appropriate option for all routes on every day. Other factors should be taken into consideration as well.

Table 4.13 Computing times derived from testing the program by specifying the maximum distance of 100 km.

Date	Number of hospitals	Computing time by number of stops (seconds)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6/7/10	72	23.1 (1,958)	19.4 (1,138)	15.6 (912)	15.7 (780)	15.4 (757)	15.8 (653)	15.8 (646)	15.1 (648)	15.3 (656)	18.4 (636)
7/7/10	84	32.6 (2,491)	19.9 (1,359)	19.4 (1,057)	19.4 (892)	18.7 (922)	19.2 (738)	19.2 (676)	19.1 (810)	19.2 (797)	19.5 (799)
8/7/10	83	28.6 (2,598)	21.7 (1,462)	20.5 (1,171)	20.1 (982)	19.3 (875)	19.5 (830)	20.1 (824)	19.1 (810)	19.0 (797)	19.2 (799)
9/7/10	80	30.4 (2,534)	19.5 (1,385)	19.0 (1,087)	18.9 (938)	18.4 (977)	19.1 (779)	19.2 (753)	19.1 (742)	19.2 (744)	19.1 (742)
10/7/10	69	27.1 (1,906)	16.3 (1,126)	16.1 (850)	15.7 (749)	15.3 (670)	15.9 (637)	16.5 (596)	16.3 (588)	15.4 (574)	15.4 (550)
11/7/10	54	18.4 (1,317)	11.4 (783)	11.0 (611)	14.0 (540)	10.9 (486)	11.1 (449)	12.8 (441)	12.6 (422)	11.8 (425)	11.2 (424)
12/7/10	78	29.8 (2,223)	18.8 (1,275)	18.0 (960)	18.6 (808)	764 (764)	17.5 (728)	17.4 (689)	18.2 (687)	17.7 (680)	18.0 (674)
Average	82	27.1 (2,147)	18.1 (1,216)	17.1 (950)	17.5 (813)	16.6 (779)	16.9 (688)	17.3 (661)	17.1 (673)	16.8 (668)	17.3 (61)

Note: The number in parentheses is the total distance travelled (kilometers).

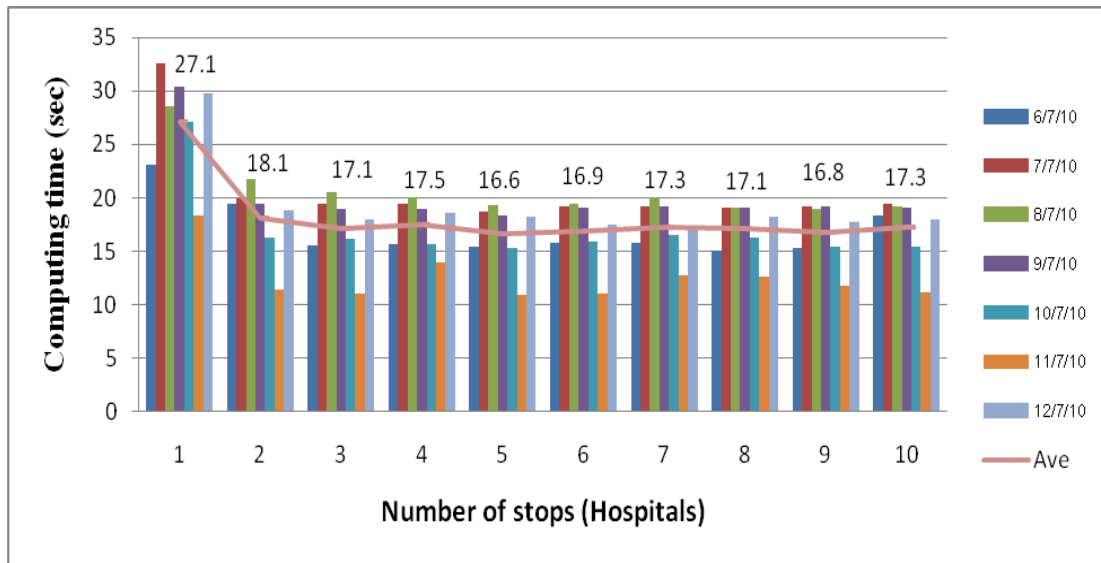


Figure 4.47 The trend of computing times constrained by the maximum distance of 100 km

- Maximum distance

Traveling in BMR is more difficult than in other provinces due to traffic lights and traffic jam on the crowded roads. Vehicles carrying blood on BMR's roads could not travel at the preferred speeds. Since blood has short expiration time, these vehicles are not supposed to carry blood for a very long distance or time. Under fluctuating temperature, blood quality can be degraded. Therefore, the maximum distance for carrying blood in each trip must be determined. The NBC has to make sure that the routing is indeed close enough to be efficient, so we require that the trip must not be over 100 kilometers.

- Maximum time

From studying operation of various companies that involve logistics service, such as book companies, canned food companies, etc., it was found that they had their vehicles deliver products to their customers for about two rounds a day. This pattern of transportation can be adjusted according to management of the company. Such pattern can be applied to blood distribution by, for example, specifying that each round trip of a vehicle must take no longer than three hours. The reason for this is that when a driver works longer than this, he will be exhausted and should take some rest for efficiency of the work. In addition, time to deliver blood and blood components

depends on the traveling distance and the speed of the vehicles. It is widely known that BMR is the area of traffic jam, which can cause unplanned delay on blood delivery. Therefore, scheduling of delivery may be made one or two times per day with three hours per trip.

- Service Time

According to the interviews with drivers, they leave the NBC for their hospitals by choosing the routes they deem suitable. Route design cannot be based only on traveling distance. Traveling time must also be taken in each route. There can be many activities happen during blood transportation. After their arrival, the drivers may spend time differently due to the variation of practices and procedures of individual hospital laboratories. These factors can have impact on the service time. The average service time of about 15 minutes was obtained from the observation. In order to examine the time needed for blood transportation, the researcher runs the developed program. The constraint on route was set to be Maximum travel time. The collected data of seven days were used as the input. Number of hospitals, or stops, for each trip has been set increasingly from 1, 2, 3, up to 10 stops. This facilitates clear understanding regarding computing time. According to Table 4.14, it was found that the time needed for solving the problem gradually decreased until the 5th stop before turned to keep increasing. Figure 4.48 represents the trend of computing time when using Travel time as the constraint, which is similar to the case of using Maximum distance as the constraint.

Table 4.14 Computing times derived from testing the program by specifying the maximum travel time of three hours

Date	Number of hospitals	Computing time by number of stops (seconds)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6/7/10	72	30.7 (1,958)	16.8 (1,277)	16.8 (1,168)	16.6 (1,072)	15.3 (1,022)	16.8 (1,034)	16.6 (955)	16.8 (1,007)	15.8 (944)	15.6 (1,002)
7/7/10	84	38.4 (2,491)	20.8 (1,389)	20.2 (1,241)	20.1 (1,143)	19.4 (1,066)	19.7 (940)	19.8 (1,036)	20.1 (1,078)	20.2 (1,080)	19.9 (1,086)
8/7/10	83	37.0 (2,598)	21.9 (1,536)	21.7 (1,388)	21.5 (1,290)	21.3 (1,214)	21.4 (1,087)	21.5 (1,183)	21.3 (1,225)	20.5 (1,227)	20.8 (1,233)
9/7/10	80	35.4 (2,534)	20.3 (1,591)	19.3 (1,422)	19.6 (1,355)	18.4 (1,232)	18.6 (1,266)	18.5 (1,254)	18.5 (1,350)	18.2 (1,311)	18.4 (1,312)
10/7/10	69	28.1 (1,906)	16.2 (1,029)	15.6 (954)	15.4 (815)	15.4 (814)	15.6 (729)	16.7 (636)	16.7 (664)	15.7 (660)	15.8 (660)
11/7/10	54	18.8 (1,317)	11.5 (757)	11.7 (666)	10.9 (578)	10.9 (644)	11.6 (492)	12.3 (574)	11.3 (491)	11.7 (563)	14.2 (480)
12/7/10	78	33.1 (2,223)	18.8 (1,139)	18.4 (975)	18.2 (921)	18.2 (1,075)	17.6 (770)	18.0 (727)	17.9 (720)	18.4 (815)	18.3 (723)
Average	82	31.6 (2,147)	18.0 (1,145)	17.7 (1,114)	17.5 (1,025)	17.0 (1,010)	17.3 (903)	17.6 (909)	17.5 (934)	17.2 (943)	17.6 (928)

Note: The number in parentheses is the total distance travelled (in kilometers).

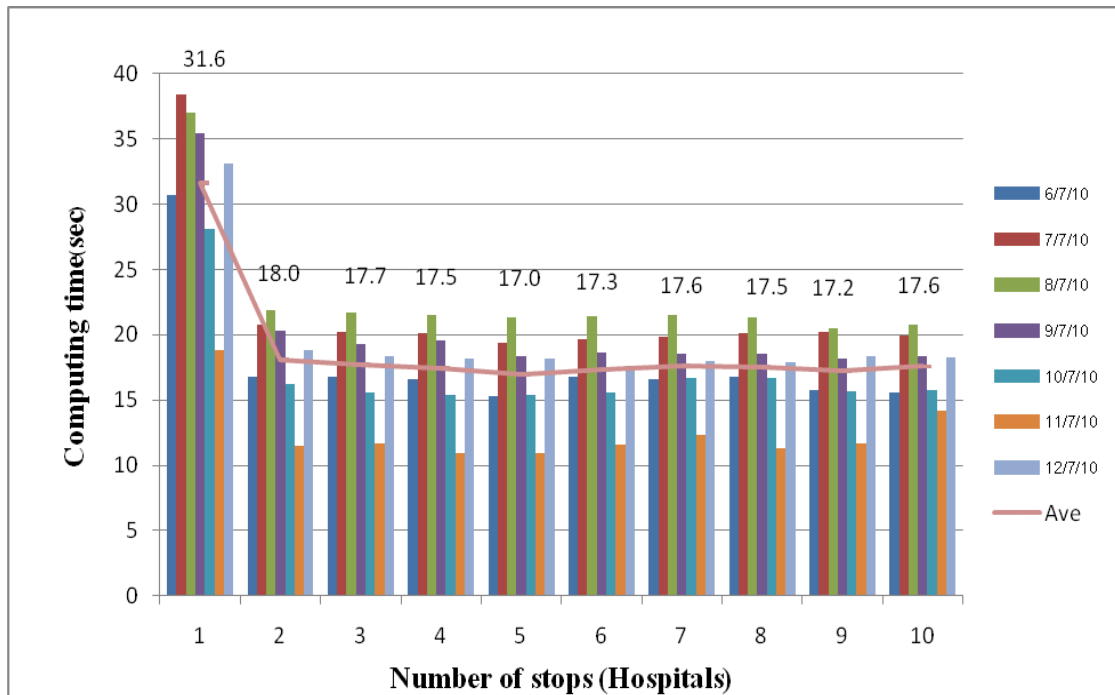


Figure 4.48 The trend of computing times constrained by the maximum travel time of three hours

Another part of this program is about cost calculation for blood distribution. Data regarding expenses for blood distribution was collected by conducting a meeting with some key personnel of the NBC. According to the meeting, there used to be an outsourced company offered to pick-up and deliver blood for a fee based on variable unit cost. The program therefore allows the user to calculate the transportation cost. The expense will be calculated based on two approaches; namely, distribution expense per unit of blood and distribution expense per distance traveled, as shown in Figure 4.49.

Distribution expense

Per unit Baht/unit

Per distance Baht/km.

Figure 4.49 Unit cost of the distribution expense

- Distribution expense per unit

The amount of incurred expense may depend on blood quantity and transported distance. Regarding distribution expense per unit, the outsourced company will charge the cost for about 10% of the blood price, and this cost will be charged for all blood bags. The total transportation expense in each day is up to the blood quantity transported in that day. The Table 4.15 presents blood demand data by blood type that was collected during July 6-12, 2010.

Table 4.15 Blood demand during July 6-12, 2010

Types of blood	Price/Unit (Baht)	Daily blood demand in July, 2010						
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul
PC	320	276	689	767	574	562	303	504
PRC	420	635	440	259	417	302	218	340
LPRC	500	336	194	231	183	246	140	148
LDPRC	1,400	138	228	224	204	192	300	308
LPPC	3,000	168	354	427	421	128	85	391
SDP	6,000	18	440	440	520	80	70	800
FFP	320	623	72	96	82	39	44	317
CRP	280	10	36	21	16	28	16	16
Cryoprecipitate	280	120	0	0	0	0	0	0
Total		2,324	2,453	2,465	2,417	1,577	1,176	2,824

According to the data in Table 4.15, the daily expense for blood transportation can be calculated by the following formula;

$$\text{The daily expense of blood} = \text{blood price} \times \text{quantity of blood} \\ (\text{Baht/unit}) \times (\text{units})$$

For example, the expense of PC blood on 6th July 2010

$$= 320 \times 276 (\text{Baht/unit}) \times (\text{units}) \\ = 88,320 \text{ Baht}$$

The results from calculating the daily blood expense are shown in Table 4.16.

Table 4.16 The blood expense during July 6-12, 2010

Type of blood	Price/Unit (Baht)	Total blood expense (Baht)									
		6/7/2010	7/7/2010	8/7/2010	9/7/2010	10/7/2010	11/7/2010	12/7/2010			
PC	320	88,320	220,480	245,440	183,680	179,840	96,960	161,280			
PRC	420	266,700	184,800	108,780	175,140	126,840	91,560	142,800			
LPRC	500	168,000	97,000	115,500	91,500	123,000	70,000	74,000			
LDPRC	1,400	193,200	319,200	313,600	285,600	268,800	420,000	431,200			
LPPC	3,000	504,000	1,062,000	1,281,000	1,263,000	384,000	255,000	1,173,000			
SDP	6,000	108,000	2,640,000	2,640,000	3,120,000	480,000	420,000	4,800,000			
FFP	320	199,360	23,040	30,720	26,240	12,480	14,080	101,440			
CRP	280	2,800	10,080	5,880	4,480	7,840	4,480	4,480			
Cryoprecipitate	280	33,600	0	0	0	0	0	0			
Total (Baht)		1,563,980	4,556,600	4,740,920	5,149,640	1,582,800	1,372,080	6,888,200			
Average (Baht/unit)		710	1,858	1,924	2,131	1,004	1,167	2,440			

Since the blood price varies by the type, the weighted price should be used as the standard value for distribution expense per unit. The request for cryoprecipitate is not so common; therefore, it was not weighted in the average price. After obtaining blood prices for each blood type, blood prices of all products in each day has to be summarized, and then the average price of that day can be calculated. From examining the average prices in Table 4.16, the average price is lowest on 6th, 10th, 11th and highest on 12th July, 2010. Therefore, those prices were removed for the reason of being outliers. The average prices of the remaining 3 days, 7th, 8th, and 9th July are quite similar, and their average is found to be 2,000 Baht/unit.

Suppose that the distribution expense is 10% of the blood price; hence,
 the distribution expense = 10% x the average of blood price (Baht/unit)
 = 10% x 2,000 (Baht/unit)
 = 200 (Baht/unit)

This results in the distribution expense being approximately 200 Baht/unit.

- Distribution expense per distance

This part is about determining unit transportation costs per kilometer. The cost calculation is based on vehicle types, speed, and distance from the origin to the destination. Again, the TOYOTA COMMUTER is assumed for blood transportation. The cost for transporting with this type of vehicle can be summarized as follows;

- The average unit distribution expense is 14 Baht/km.
- The operating cost is 15 %.
- The profit of operation is 20%.
- The value added tax is 7%.

Therefore, the distribution expense by distance is
 = 14 (Baht/km) x 15 % x 20% x 7%
 = 21 Baht/km

The cost for is about 21 Baht/km. This figure is derived from the estimation, without considering the expressway fee and parking fee.

After finishing the processes of writing the program and testing it with sample data, the researcher applied it to real implementation. The program was firstly

used with the data of 6th July 2010. As previously stated, there are two options for selecting constraints: maximum distance and maximum travel distance. Therefore, the results can be divided into two cases as follows;

Case 1 The constraint is the Maximum distance. After selecting hospitals and specifying quantity of blood demand, other parameters are as follows;

- Loading capacity is 600 units.
- Maximum number of stops is six hospitals.
- Maximum distance is 100 km.
- Distribution expense per unit is 200 Baht.
- Distribution expense per distance is 21 Baht/km.

After all parameters are set, the Calculation button is pressed. Then a message will appear on the top-right corner, reading ‘Vehicle routing’ and showing numeric values that imply progress of the running process of the program. After the running process is completed, the pop-up message box, reading “Routing completed”, will appear, as shown in Figure 4.50. Click at the OK button, the results will be shown in the tab named “Resulting routes for blood distribution”, as shown in Figure 4.51.

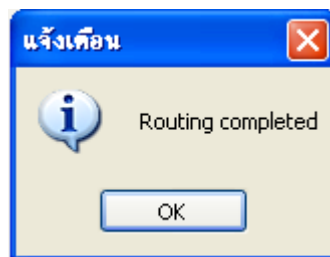


Figure 4.50 The message box that appears after the program has finished running

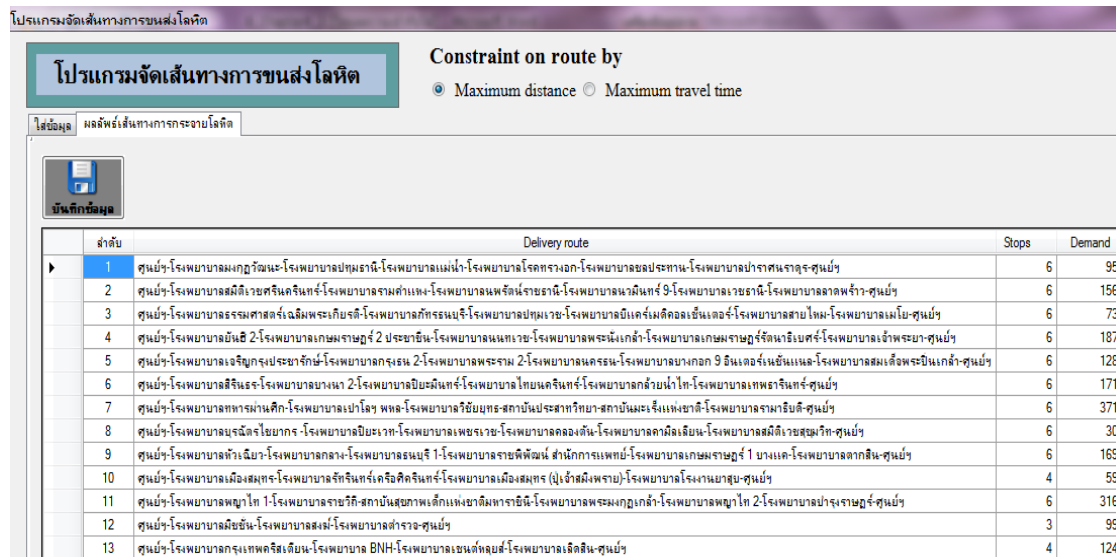


Figure 4.51 Resulting routes for blood distribution

According to Figure 4.51, details of the results obtained from the running process of the program include the following information;

- Blood distribution routes were arranged with the saving algorithm. Each of these routes starts from the NBC and also ends at the NBC. For example, the first route starts from the NBC and passes through Mongkutwattana hospital, Pathumthani hospital, Mahnam hospital, Chest hospital, Chonprathan hospital, Bumradnaradol hospital, before returning to the NBC.

- Number of stops in each route, which represents number of hospitals locating along the route. For example, the first route has the total of six stops.

- Quantity of blood carried in each trip, the first route delivers only 90 units.

- Van utilization, for the first route, it can be calculated by

$$\begin{aligned}
 \text{Van utilization} &= (\text{Demand} / \text{Loading capacity}) \times 100\% \\
 &= (95 / 600) \times 100\% \\
 &= 15.83 \%
 \end{aligned}$$

- Distance of transportation in each trip, the first route travels as far as 93.43 km.

- % distance utilization, for the first route, it can be calculated by

$$\begin{aligned}
 \% \text{ distance utilization} &= (\text{Travelled distance} / \text{Maximum distance}) \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= (93.43 / 100) \times 100\% \\
 &= 93.43 \%
 \end{aligned}$$

- Travel time, which is the time required for traveling in each route. This time can be calculated by dividing the distance of each route with the average speed of 30 km/hour. For the first route;

$$\begin{aligned}
 \text{Travel time} &= \text{Distance (km.)} / \text{Average speed (km./hour)} \\
 &= 93.43 / 30 \\
 &= 3.11 \text{ hours} \\
 \text{- Expense by unit} &= \text{Demand (unit)} \times \text{Price of blood (Baht/unit)} \\
 &= 95 \times 200 \\
 &= 9,200 \text{ Baht} \\
 \text{- Expense by distance} &= \text{Distance (km.)} \times \text{Expense (Baht/km.)} \\
 &= 93.43 \times 21 \\
 &= 1,963 \text{ Baht}
 \end{aligned}$$

The results from redesigning the blood distribution system on 6th July 2010 can be shown in Table 4.17

Table 4.17 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 6th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Mongkutwattana hospital-Pathumthani hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaprathan hospital-Bamrasnaradura hospital-the NBC	6	95	15.83	93.43	93.43	3.11	19,000	1,963
2	The NBC-Samitivej (Srinakarim) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Nopparat Rajathane hospital-Navaminthra 9 hospital-Vejthani hospital-Ladprao hospital-the NBC	6	156	26.00	63.66	63.66	2.12	31,200	1,337
3	The NBC-Thammasat University hospital-Phatara-thonburi hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -Saimai hospital-Mayo hospital-the NBC	6	73	12.17	99.99	99.99	3.33	14,600	2,100
4	The NBC-Yanhee 2 hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangklaio hospital-Kasemrad Rattanaatibeth hospital-Chaophya hospital-the NBC	6	187	31.17	69.77	69.77	2.33	37,400	1,466

Table 4.17 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 6th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
5	The NBC-Charoenkrung Pracharak hospital-Krungthon 2 hospital-Praram 2 hospital-Nakhonthon hospital-Bangkok International 9 hospital-Somdejprapinklao hospital-the NBC	6	128	21.33	43.90	43.90	1.46	25,600	922
6	The NBC-Sirinthon hospital-Bangna 2 hospital-Piyamin hospital-Thainakarin hospital-Kluay namthai hospital-Theptarin hospital-the NBC	6	171	28.50	89.89	89.89	3.00	34,200	1,888
7	The NBC-Veterans General hospital-Paolo Memorial hospital-Vichaiyut hospital-Prasat Neurological Institute-National Cancer Institute-Ramathibodi hospital-the NBC	6	371	61.83	20.15	20.15	0.67	74,200	424
8	The NBC-Burachatchaiyakorn hospital-Piyavate hospital-Petcharavej hospital-Klongtan hospital-Camillian hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-the NBC	6	30	5.00	22.82	22.82	0.76	6,000	480

Table 4.17 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 6th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
9	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Thonburi 1 hospital-Rachapipath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Taksin hospital-the NBC	6	169	28.17	53.78	53.78	1.79	33,800	1,130
10	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Rattarin hospital-Mueangsamutpuchao hospital-Thailand Tobacco Monopoly hospital-the NBC	4	59	9.83	60.2	60.20	2.01	11,800	1,265
11	The NBC-Phyathai 1 hospital-Rajavithi hospital-Children hospital-Phramongkutkiao hospital-Phyathai 2 hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	6	316	52.67	15.28	15.28	0.51	63,200	321
12	The NBC-Mission hospital-Priest hospital-Police hospital-the NBC	3	99	16.50	12.43	12.43	0.41	19,800	261

Table 4.17 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 6th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
13	The NBC-Bangkok Christian hospital-BNH hospital-Saint Louis hospital-Lerdsin hospital-the NBC	4	124	20.67	8.48	8.48	0.28	24,800	179
14	The NBC-Chulalongkorn hospital-the NBC	1	346	57.67	0.54	0.54	0.02	69,200	12
	Total	72	2,324	27.67	654.31	46.74	21.81	464,800	13,748

Recall that on July 6, 2010, there were 72 hospitals requested blood from the NBC, but there were totally 75 round-trips altogether (Table 4.5). This is because some hospitals send vehicles to pick up units of blood twice a day. The repeating orders are consolidated into one order, assuming that we know the order today and planning routing in the evening to prepare for blood distribution in the next day. The total transported distance from the calculation was found to be 1,958 kilometers (Table 4.7). Instead, these routes could have been rearranged in a way that blood was transported from NBC to nearby hospitals until either all the constraints or all the destinations are met, then the vehicle would return to the NBC. After rearranging the routes, it was found in Table 4.13 that the computing time was only 15.8 seconds and only 14 routes (round-trips) are needed in order to reach all network hospitals. Thus, on average, the computing time equals to 1.12 seconds per route. This amount of time required for designing each new route is considered very little. As seen from the bottom line of Table 4.17 example, the total distance is reduced to be only 654 kilometers (33.40% of the current total distance). That means the route rearrangement can save transportation distance for 1,303 kilometers per day. With this newly designed system, each trip will take no longer than three hours.

The new system can therefore be designed so that there are two round-trips per day, which are from 09.00 – 12.00 a.m. and from 01.00 – 04.00 p.m. However, there will be two trips that need to take longer than three hours. They are trips No. 1 and No. 6. This is because their terminal hospitals are hospitals locating far away from the NBC, which require longer time for transportation than nearby hospitals. In real implementation, a vehicle might be assigned to take the route No. 1 (or No. 6) for only one trip a day. When the vehicle arrived back at the NBC it might be assigned to take another short trip on that same day. Therefore, it is evident that if blood distribution system in BMR is redesigned and rearranged properly, the cost of blood transportation can be saved significantly. This approach can also be contributive for energy conservation of the country and the world.

Appendix C reported similar results for the data on 7th, 8th, 9th, 10th, 11st, 12nd July, 2010.

Case 2 This case chooses Maximum travel time of three hours as the constraint. Additional sub-constraints were also defined, such as loading capacity, maximum of hospital, maximum distance, distribution expense per unit, distribution expense per distance, etc. When choosing a hospital and specifying quantity of blood demand, parameters were set as follows;

- Loading capacity is 600 units.
- Number of stops is six hospitals.
- Maximum time is three hours.
- Service time is 15 minutes.
- Distribution expense per unit is 200 Baht.
- Distribution expense per distance is 21 Baht/km.

As an example, the results derived from running the program based on the data of July 6th, 2010 are shown in Table 4.18.

Table 4.18 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 6th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangklaio hospital-Chonlaphathan hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-the NBC	6	141	23.50	3.00	100.00	130.76	28,200	2,746
2	The NBC-Samitivej (Srinakarini) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Navaminthra 9 hospital-Vejthani hospital-Ladpraio hospital-the NBC	6	156	26.00	2.82	93.89	63.66	31,200	1,337
3	The NBC-Rachapipath hospital-Kasemrad Rattanatibeth hospital-Kasemrad 1 (Bangkhao) hospital-the NBC	3	82	13.67	2.88	96.11	84.43	16,400	1,773
4	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattharin hospital-Bangna 2 hospital-Piyamin hospital-Thainakarini hospital-the NBC	6	104	17.33	2.97	98.89	148.28	20,800	3,114

Table 4.18 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 6th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
5	The NBC-Phyathai 2 hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -Paolo Memorial hospital-the NBC	4	26	4.33	2.98	99.44	66.84	5,200	1,404
6	The NBC-Veterans General hospital-Saimai hospital-Klongtan hospital-Petcharavej hospital-Camillian hospital-Theptarin hospital-the NBC	6	53	8.83	2.88	96.11	68.75	10,600	1,444
7	The NBC-Charoenkrung Pracharak hospital-Krungthon 2 hospital-Praram 2 hospital-Nakhonthon hospital-Bangkok International 9 hospital-Somdejprapinklao hospital-the NBC	6	128	21.33	1.73	57.78	43.90	25,600	922
8	The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-National Cancer Institute-Prasat Neurological Institute-Vichaiyut hospital-Mission hospital-the NBC	6	419	69.83	1.35	45.00	15.90	83,800	334

Table 4.18 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 6th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
9	The NBC-Thailand Tobacco Monopoly hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Piyavate hospital-Burachachaiyakorn hospital-the NBC	4	19	3.17	1.43	47.78	19.76	3,800	416
10	The NBC-Phyathai 1 hospital-Children hospital-Phramongkutkiao hospital-Rajavithi hospital-the NBC	4	265	44.17	0.95	31.67	11.56	53,000	243
11	The NBC-Lersin hospital-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Huachiew hospital-the NBC	5	231	38.50	1.33	44.44	27.48	46,200	577
12	The NBC-Police hospital-Mayo hospital-Mongkutwattana hospital-Bamrasnaradura hospital-Y anhee 2 hospital-Chaophya hospital-the NBC	6	115	19.17	2.95	98.33	56.91	23,000	1,196

Table 4.18 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 6th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
13	The NBC-Bangkok Christian hospital-BNH hospital-Saint Louis hospital-the NBC	3	27	4.50	0.53	17.78	7.01	5,400	148
14	The NBC-Kluaynamthai hospital-Sirinthon hospital-Bamrungrad hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC	4	504	84.00	2.13	71.11	49.61	100,800	1,042
15	The NBC-Phatara-thonburi hospital-the NBC	1	6	1.00	3.49	116.42	78.83	1,200	1,656
16	The NBC-Thammasat University hospital-the NBC	1	5	0.83	3.59	119.66	83.32	1,000	1,750
17	The NBC-Pathumthani hospital-the NBC	1	36	6.00	3.65	121.70	77.94	7200	1,637
	Total	72	2,324	22.78	40.66	80.39	1,034.94	464,800	21,739

Recall that on July 6, 2010, the total traveling distance was found to be 1,958 kilometers (Table 4.7). However, when rearranging the routes by specifying a total travel time of three hours for each trip as the constraint, it was found that the computing time was only 16.8 second (Table 4.14). The trips were redesigned by starting from carrying blood out of the NBC then continue to nearby hospitals in the same route until the constraint is met or all destinations have received the blood. Then the vehicle will have to return to the NBC to complete the trip. The rearrangement resulted in 17 routes (round-trips), as shown in Table 4.18. Therefore, the average computing time is 0.99 second/route, which is considered very little for each route. In addition, the total traveling distance has decreased to only 1,035 kilometers. Consequently, the efficiency of transportation would increase by 47.14% (52.86% of the total distance at present). Traveling distance could have been saved for as much as 922 kilometers. The transportation cost would have been 464,800 Baht when calculated by unit, or 21,739 Baht when calculated by distance. Most of the newly designed round-trips take no longer than three hours. This will make it possible to design blood delivery system so that there are two round-trips per day for each van, which are from 09.00 – 12.00 a.m. and from 01.00 – 04.00 p.m. However, there are three trips that require longer time, which exceeds the three-hour limitation. These are the trips No. 15, 16, and 17. These are the trips to Phatara-Thonburi Hospital, Thammasat University Hospital, and Pathum Thani Hospital. These hospitals are located so far away from the NBC, thus take longer delivery time than other hospitals. Further consideration may need to be taken when actually implementing this new routing system. For example, one trip per vehicle may be assigned for the trip No. 15, 16, and 17, and the traveling time will not be limited. If the vehicle finishes delivering blood in a short time, it can return to the NBC to receive blood and continue another trip on that day. It can be seen that, from analyzing and redesigning blood transportation routes in BMR appropriately, the transportation cost to the network hospitals can be reduced greatly. This is also beneficial in saving energy in blood transportation.

Appendix D reported similar results for the data on 7th, 8th, 9th, 10th, 11st, 12nd July, 2010.

4.7.6 Comparison of transportation costs

At present, blood distribution is conducted by the network hospitals. They send their vehicles to receive blood directly at the NBC. Then the vehicles will return to their hospitals with the blood. This method involves many losses, such as cost of vehicle usage, wage for the driver, fuel cost, and opportunity cost. Each vehicle has to waste much time waiting for receiving blood in a long queue that comprises vehicles from many other hospitals. Therefore, it would be better to rearrange the blood distribution. A better alternative should be in a way that blood distribution starts from the NBC. Routes for the new pattern will be designed by using Saving Algorithm. After obtaining appropriate routes from the design, costs for blood distribution with the new system and these designed routes will be compared with costs of the existing system. This should reveal benefits and efficiency of the new system. Results from the comparison will be informative and useful for making decision about outsourcing a logistics provider to deliver blood. The analyzed cost can help determine the charge or fee of blood distribution. A fair price can be calculated and determined by using the total cost obtained from redesigning the routes. The charge or the fee of blood distribution should be equal to this price or not too much higher.

According to Table 4.18, it can be seen that the new system will lead to a great reduction in both distances and costs for distributing blood along the new routes. Distances shown in Table 4.19 are distances that were determined by setting maximum distance as a constraint. This new system results in 60% higher efficiency regarding distance. Table 4.20 compares routes that were designed by using maximum travel time as a constraint, which was found to have slightly lower efficiency than using maximum distance. However, this new system is still better than the current pattern for over 50%. Comparing to the routes derived from using maximum distance as a constraint, the cost for blood delivery using maximum time as a constraint was found to be slightly higher. This is because there are longer transportation distances and higher numbers of vehicles and staff. In addition, since the routes were designed so that vehicles are sent away from the NBC, staffs from hospitals do not have to wait for receiving blood any longer. Therefore, after the new routes have been designed, it is likely that situation will be better in terms of distance, traveling time, and cost that incurs during transportation.

Table 4.19 Comparison of costs between the current system and the new system when constrained on 100-km maximum distance

D/M/Y	Number of hospitals	Distance (km)			%	Current cost (Baht)	New cost (Baht)		
		Current	Re-designed	Difference			Fixed cost	Variable cost	Total cost
06/07/10	72	1,958	654	1,304	66.60	26,386	1,915	3,501	5,416
07/07/10	84	2,491	739	1,752	70.33	33,857	2,193	3,952	6,145
08/07/10	83	2,599	830	1,768	68.03	34,524	2,465	4,443	6,908
09/07/10	80	2,534	780	1,754	69.22	33,541	2,315	4,171	6,486
10/07/10	69	1,906	638	1,268	66.53	26,008	1,893	3,411	5,304
11/07/10	54	1,317	449	868	65.91	19,536	1,334	2,404	3,738
12/07/10	78	2,224	728	1,496	67.27	30,678	2,162	3,896	6,058

Note: See current cost in Table 4.10.

Table 4.20 Comparison of costs between the current system and the new system when constrained three-hour maximum travel time

D/M/Y	Number of hospitals	Distance (km)			% Difference	Current cost (Baht)	New cost (Baht)		
		Current	Re-designed	Difference			Fixed cost	Variable cost	Total cost
06/07/10	72	1,958	1,035	923	47.14	26,386	3,651	5,537	9,188
07/07/10	84	2,491	940	1,551	62.26	33,857	3,059	5,029	8,088
08/07/10	83	2,598	1,087	1,511	58.16	34,524	4,023	5,817	9,840
09/07/10	80	2,534	1,267	1,267	50.00	33,541	4,744	6,776	11,520
10/07/10	69	1,906	813	1,093	57.37	26,008	5,335	4,348	9,683
11/07/10	54	1,317	570	747	56.72	19,536	2,387	3,049	5,436
12/07/10	78	2,224	1,010	1,214	54.59	30,678	3,978	5,404	9,382

Note: See current cost in Table 4.10.

4.8 Summary

Based on the analysis, the blood supply chain may have several problems. Particularly, the problems regarding the current blood transportation system seem to be obvious. This system has much possibility to be improved for higher efficiency. By solving this problem, blood can be delivered to patients faster, safer and at the cheaper cost. This research has analyzed to reveal the lost in terms of wasteful costs. Under the current system, the hospitals waste money, time, and opportunity for utilizing their vehicles, which are mostly ambulances, for other purposes. Normally, planning routes for blood distribution from the NBC would require a specialized carrier who has good experience and knowledge on the routes. This is to ensure the efficiency of the transportation. However, sometimes using merely experience can lead to mistakes due to physical limitations of the route planner. For example, the planner may fail in memorizing all destinations or in prioritizing their importance. In addition, when the route planner has resigned from the carrier company, the skill will go with him/her. The company will have to spend more time developing a new planner to become experienced and skilled on those routes.

This research employs knowledge on business administration and logistics for designing a new blood transportation system. The new system is intended to have as few transportation trips as possible. Instead of letting network hospitals send their vehicles to receive blood at the NBC as the current system, the new system will require the NBC to manage the blood logistics for all network hospitals. Blood will be distributed from the NBC to multiple hospitals along the same route on one trip. The approach for designing the new system applied the Saving Algorithm to solve the vehicle routing problem. By implementing route management program for helping rearranging the routes, mistakes can be reduced and efficiency can be enhanced. The program can help reducing procedures for planning and managing blood distribution. With the calculation capability of the program, route design can be finished in a short time, and the result will be more accurate than manual work. This should allow the newly designed routes to be shorter and more appropriate. For using the program, some constraints have to be determined. When maximum distance is used as the constraint; the loaded quantity is limited to 600 blood bags, the number of stops on a

route is limited to six hospitals, and the maximum traveling distance for each round-trip is limited to 100 km. Similarly, when using maximum travel time as the constraint, other parameters remain the same, except only unlimited maximum travelling distance. Instead, the maximum travel time will be limited to three hours at most. The results from running the developed program with these constraints can be summarized in Tables 4.21 and 4.22.

Table 4.21 Summary of routing design by using 100-km maximum distance as the constraint

D/M/Y	Number of hospitals	Quantity of blood (units)	Number of routes	Total distance (km.)	Total travel time (hours)
06/07/10	72	2,324	14	654	21.50
07/07/10	84	2,453	16	739	24.62
08/07/10	83	2,465	15	830	27.68
09/07/10	80	2,417	16	780	25.99
10/07/10	69	1,577	15	638	21.25
11/07/10	54	1,176	11	449	14.98
12/07/10	78	2,824	16	728	24.28
Average	74	2,176	15	688	22.90

Table 4.22 Summary of routing design by using three-hour maximum travel time as the constraint

D/M/Y	Number of hospitals	Quantity of blood (units)	Number of routes	Total distance (km.)	Total travel time (hours)
06/07/10	72	2,324	17	1,035	41.00
07/07/10	84	2,453	18	940	34.35
08/07/10	83	2,465	20	1,087	45.17
09/07/10	80	2,417	22	1,267	53.27

Table 4.22 Summary of routing design by using three-hour maximum travel time as the constraint (Cont.)

D/M/Y	Number of hospitals	Quantity of blood (units)	Number of routes	Total distance (km.)	Total travel time (hours)
10/07/10	69	1,577	18	813	59.90
11/07/10	54	1,176	12	570	26.80
12/07/10	78	2,824	21	1,010	44.67
Average	74	2,176	19	960	43.59

Comparing to the newly designed routing system, the current transportation system requires very much transportation distance. This is because, in the existing system, all network hospitals have to send their vehicles to receive blood at the NBC. The newly designed system has proved to be more economical in terms of distance, time, and cost. According to Tables 4.21 and 4.22, the number of trips in the new system has decreased, comparing to the existing system. The highest number is 22 trips per day. The lowest is 11 trips per day. The numbers of trips in each day is not equal, depending on the number of hospitals, quantity of requested blood, distance, and travel time. When using maximum distance as the constraint, the average number of trips per day is 15. However, when using maximum travel time as the constraint, the number of daily trips on average turns to be 19. If the NBC wants to distribute blood by itself, it may use a van as a blood transportation vehicle, as proposed in the assumption. Inside the van, there must be a refrigerator for keeping blood at a certain temperature to ensure its quality. To meet daily demand of the network hospitals, approximately 12 vans should be prepared for blood distribution. One of the 12 vans might be reserved for emergency use. The work will start at 08.30 a.m., according to the regular working hour of Thai government. The drivers will prepare for the trip, receive schedules of blood delivery for the day, and check quality of the blood before starting the first trip of blood delivery. The new system is designed so that each vehicle can deliver blood for two trips per day, which are during 09.00 – 12.00 a.m. and during 01.00 – 04.00 p.m. The van may return late until 4:30 p.m. After returning, the driver will have to submit reports of blood delivery. Each trip is designed to take

no longer than three hours, and comprises no more than six stops. Each vehicle will deliver blood no more than two trips per day. According to the routing plan, most travel times are very short whereas some trips are longer than three hours. To balance the workload of the drivers, the driver who takes a very short trip will have to take the second trip of longer-than three hours trip as well. For example, in Table 4.24, a vehicle is supposed to take delivery route number 10 (0.95 hours) in the morning, then come back to complete the day with the delivery route number 17 (3.65 hours) in the afternoon. Tables 4.23 and 4.24 summarize the planned delivery schedules on July 6, 2010 for the case of 100-km maximum distance and three-hour maximum travel time, respectively.

Table 4.23 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 6th 2010

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
1	1	The NBC-Mongkutwattana hospital-Pathumthani hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaphrathan hospital-Bamrasnaradura hospital-the NBC (3.11 hours)	7	The NBC-Veterans General hospital-Paolo Memorial hospital-Vichaiyut hospital-Prasat Neurological Institute-National Cancer Institute-Ramathibodi hospital-the NBC (0.67 hours)
2	3	The NBC-Thammasat University hospital-Phatara-thonburi hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center - Saimai hospital-Mayo hospital-the NBC (3.33 hours)	14	The NBC-Chulalongkorn hospital-the NBC (0.02 hours)
3	6	The NBC-Sirinthorn hospital-Bangna 2 hospital-Piyamin hospital-Thainakarin hospital-Kluaynamthai hospital-Theptarin hospital-the NBC (3.00 hours)	8	The NBC-Burachatchaiyakorn hospital-Piyavate hospital-Petcharavej hospital-Klongtan hospital-Camillian hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-the NBC (0.76 hours)
4	2	The NBC-Samitivej (Srinakarin) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Navaminthra hospital-Vejthani hospital-Ladpraao hospital-the NBC (2.12 hours)	4	The NBC-Yanhee 2 hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangkla hospital-Kasemrad Rattanaatibeth hospital-Chaophaya hospital-the NBC (2.33 hours)

Table 4.23 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 6th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
5	10	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Ratharin hospital-Mueangsamutpuchao hospital-Thailand Tobacco Monopoly hospital-the NBC (2.01 hours)	11	The NBC-Phyathai 1 hospital-Rajavithi hospital-Children hospital-Phramongkutkiao hospital-Phyathai 2 hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (0.51 hours)
6	5	The NBC-Yanhee 2 hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangkiao hospital-Kasemrad Rattanatibeth hospital-Chaophya hospital-the NBC (1.46 hours)	9	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Thonburi 1 hospital-Rachapipath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Taksin hospital-the NBC (1.79 hours)
7	12	The NBC-Mission hospital-Priest hospital-Police hospital-the NBC (0.41 hours)	13	The NBC-Bangkok Christian hospital-BNH hospital-Saint Louis hospital-Lerdsin hospital-the NBC (0.28 hours)

Note: Observe that the estimated travel time of route number 14 is only 0.02 hours. There is only one hospital on the route; i.e., Chulalongkorn hospital. Meanwhile, the route number 3 takes 3.33 hours, which exceeds three hours. Therefore, these two routes are merged into one. The resulting route is the NBC-Chulalongkorn hospital-Thammasat University hospital-Phatara-thonburi hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center-Saimai hospital-Mayo hospital-the NBC.

Table 4.24 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 6th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	15	The NBC - Phatara thonburi hospital-the NBC (3.49 hours)			-	
	16	The NBC-Thammasat University hospital- The NBC (3.59 hours)			-	
	17	The NBC-Pathumthani hospital-the NBC (3.65 hours)			-	
2	1	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangklae hospital-Chonlaprathan hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-the NBC (3.00 hours)		8	The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-National Cancer Institute-Prasat Neurological Institute-Vichaiyut hospital-Mission hospital-the NBC (1.35 hours)	
3	2	The NBC-Samitivej (Srinakarin) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Navaminthra 9 hospital-Vejthani hospital-Ladprao hospital-the NBC (2.82 hours)		14	The NBC-Kluaynamthai hospital-Sirinthorn hospital-Bamrungrad hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC (2.13 hours)	
4	3	The NBC-Rachapipath hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-the NBC (2.88 hours)		7	The NBC-Charoenkrung Pracharak hospital-Krunghthon 2 hospital-Praram 2 hospital-Nakhonthon hospital-Bangkok International 9 hospital-Somdejprapinklao hospital-the NBC (1.73 hours)	

Table 4.24 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 6th 2010

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
5	12	The NBC-Police hospital-Mayo hospital-Mongkutwatana hospital-Bamrasnaradura hospital-Yanhee 2 hospital-Chaophya hospital-the NBC (2.95 hours)	6	The NBC-Veterans General hospital-Saimai hospital-Klongtan hospital-Petcharavej hospital-Camillian hospital-Theptarin hospital-the NBC (2.88 hours)
6	4	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattarin hospital-Bangna 2 hospital-Piyamin hospital-Thainakarin hospital-the NBC (2.97 hours)	9	The NBC-Thailand Tobacco Monopoly hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Piyavate hospital-Burachaiyakorn hospital-the NBC (1.43 hours)
7	5	The NBC-Phyathai 2 hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -Paolo Memorial hospital-the NBC (2.98 hours)	10	The NBC-Phyathai 1 hospital-Children hospital-Phramongkutkiao hospital-Rajavithi hospital-the NBC (0.95 hours)
8	13	The NBC-Bangkok Christian hospital-BNH hospital-Saint Louis hospital-the NBC (0.53 hours)	11	The NBC-Lerdsin hospital-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Huachiew hospital-the NBC (1.33 hours)

Note: Observe that the estimated travel time of route number 15, 16 and 17 exceed three hours. There is only one hospital in each route. Since, they are closed and located in Pathumthani. Therefore, these three routes are merged into one. The resulting route is the NBC-Pathumthani hospital-Thammasat University hospital-Phatara thonburi hospital-the NBC. The travel time is 4.56 hours. Totally, eight vans are required.

Therefore, eight vehicles are considered to be sufficient for blood distribution with this new system on July 6, 2010. Similarly, the planned delivery schedule for July 7, 8, 9, 10, 11, 12 are reported in Appendices E and F. Operational regulations should be developed in order to facilitate the implementation of the new system. Such regulations can become a useful guideline, whether the NBC will decide to operate blood distribution by itself or to outsource a carrier for this task.

This chapter has presented results of the research, which appear to be satisfactory. The new design of blood transportation routes by using Saving Algorithm of Heuristics was found to be efficient. The algorithm could facilitate the route design very well, and was easy to use. The resulting routes from the problem-solving approach are similar to the currently utilized routes. Thus it is believed that the results can be implemented in real practice. This approach is therefore promising for applying to solve problems at a bigger level. This research is expected to provide a guideline for helping the nation to save energy and its budget. With this newly designed system, all hospitals still receive blood according to their requirements. Blood delivered in shorter time will be beneficial to both the hospitals and the patients. The next chapter concludes the research and gives some recommendations in terms of policies and future research.

CHAPTER V

CONCLUSIONS

This research studied the procedure of current blood distribution in Bangkok Metropolitan Region (BMR) including their problems. It was found that there are many problems in the blood supply chain, especially those involving transportation. Chapter 1 described about the background and the problems of currently blood distribution. The chapter also determined the objectives and the scope of the research. Chapter 2 reviews theories and researches relating to blood distribution service, vehicle routing management for regular product delivery, and issues in blood distribution. It covered the characteristics and problems of blood service in Thailand and other countries as well as methods to solve the vehicle routing problem. The main purpose of this chapter is to gain fundamental knowledge and guidelines for conducting this research to answer the objective regarding the supply chain of blood service and distribution management. Chapter 3 explained about the data, analytical tools and the procedure used in this research. Chapter 4 reported results on the characteristics of blood distribution in Bangkok Metropolitan Region (BMR), cost assessment, and the development of a program for designing blood distribution routes. It also discussed the implementation in detail. In this chapter, the research is concluded. Suggestions and recommendation for further development are also provided.

5.1 Blood distribution in BMR: Current practice and issues

Blood supply chain involves connection of activities from the upstream to the downstream. It begins from the collection of blood from donors until giving blood to patients (Ryttila and Spens, 2006). During the whole process, it can be seen that there are activities of servicing blood donors, collecting blood, separating blood products, checking blood quality, storing blood tidily, and giving blood to a patient at

the terminal hospital. The patient will be given only the blood product that is compatible with his/her blood. It can be seen that the blood supply chain is very complex. This research starts from studying existing problems that happen in the operation of the NBC, which is the main responsible organization at the national level regarding blood services. The responsibility of NBC is crucial for living of all Thai people.

When a patient requires blood for his/her treatment, the doctor will make an order through the hospital for an appropriate blood product. The hospital will request for the blood product from the NBC. Then the hospital will send its own vehicle to the NBC for receiving blood. Quantity of blood supplied from the NBC might not meet the requested quantity of the hospital. This is because there are many hospitals requesting blood to the NBC every day. Some hospitals may just order blood for keeping in its stock for emergency use. The NBC therefore has to ensure that blood is distributed evenly and appropriately to all hospitals. The decision is made according to the consideration of the officers who take care of blood distribution. According to the report by Nuchprayoon (2010), blood demand in Bangkok is very high. About 57% of blood received from blood donors is used with patients in Bangkok, while the remaining 43% is distributed to patients in other provinces. Among this 43% of blood from the NBC, some might be distributed to provincial hospitals directly, while the other is distributed via the Regional Blood Centers.

According to the data collected during the field observation, it is found that the network hospitals locating inside BMR have to send their own vehicles for taking blood from the NBC. Most of these vehicles come to the NBC with empty loading. They are normally used only for receiving blood. According to statistics, there are so many vehicles coming from hospitals to receive blood at the NBC every day, with an average of 82 trips per day. All round-trips comprise one empty-loading trip. Thus there are many unloaded vehicles. This results in waste regarding energy and waiting time, since these vehicles have to wait in a long line for receiving blood. The costs that happened due to these vehicles having to receive blood at the NBC are also high. Total costs can be calculated by considering fixed costs (such as vehicle usage, insurance, driver, etc) and variable costs (fuel, engine oil, maintenance, depreciation, etc.). Altogether, the total cost was found to be as high as 10,664,778 Baht/year. In

addition, this is inefficient usage of vehicles since blood is not fully loaded on these vehicles. Actually, the quantity of blood loaded on these vehicles is very little as compared to their volume or loading capacity. Moreover, most of these vehicles are ambulances. They are more valuable than just being used for carrying blood. Driving ambulances with empty load is considered a great opportunity lost while they are highly needed to serve many emergency patients. According to the estimation, it was found that the opportunity cost can be as high as 14,965,000 Baht/year. The blood distribution can be considered as a vehicle routing problem (VRP). Therefore, in order to improve blood distribution for higher efficiency, this research developed a program to analyze and design new delivery routes. The program development was coded in Microsoft Visual Basic 2008, and employed Saving heuristic algorithm (Clarke and Wright, 1964; Laporte et al, 2000) to solve the VRP. This method is preferable because it is not very complicated and requires little time for calculation. With this program, constraints regarding distance, travel time, number of hospitals, blood quantity, and service time can be set as needed. The major purpose of routing design is to obtain new routes that require the minimum transportation cost.

5.2 Designing of an efficient blood distribution system

Having confirmed that saving algorithm is appropriate for solving such this VRP problem, the method is applied for developing the blood distribution program. Based on the test with three examples, it was found that the program could work very well by obtaining answers that are identical with the known correct answers. The program was then implemented with the real data to rearrange the routes used for blood distribution. All the new routes start from the NBC and go to several hospitals on the same route that are nearby. The routes are designed to reach all destinations or until the defined constraints are met. Then the vehicles will return to the NBC. The developed program allows the user to select hospitals that requested blood, quantity of required blood, and other constraints such as maximum distance of each route, vehicle capacity, travel time, and number of stops along the route, etc. The calculation is conducted for arranging routes during the period of seven days. The total distance is actually very long, approximately 2,147 km/day on average. However,

when comparing the newly designed system with the current transportation, the new system is found to be very economical. The new blood distribution system can reduce many trips because hospitals do not have to send vehicles by themselves. Whether using maximum distance or maximum travel time as the constraints, the calculation revealed that the total distance decreased more than 50%. Therefore, this new system is proved to be beneficial in reducing the total transportation costs if actually implemented in the future.

If the NBC aims to distribute blood by itself, it should prepare special vehicles for this purpose. The type of these vehicles should be a van. The blood container inside these vans should be a refrigerator that can keep blood at a standard temperature as specified by the Ministry of Public Health. Appropriate number of vans to be prepared for this new system of blood distribution is 12 vans, which should be sufficient for serving daily blood demand of the network hospitals. One of the 12 vans might be reserved for emergency use. The new system should be designed so that each van works for two trips a day. The work will start at 08.30 a.m., according to the regular working hour of Thai government. The drivers will prepare for the trip, receive schedules of blood delivery for the day, and check quality of the blood before starting the first trip of blood delivery. The first trip is made during 09.00 to 12.00 a.m., and the second trip is made during 01.00 to 04.00 p.m. After returning, the driver will have to submit reports of blood delivery. Each trip should take no longer than three hours, and contain no more than six stops. However, from testing the application, some trips (some routes) were found to exceed the specified constraints. For example, the distance of that trip might be over 100 km (route numbers 15, 16 and 17 in Table 4.18), or it might take more than three hours (route numbers 15, 16 and 17 in Table 4.18) to complete the trip. This is because the terminal hospital is quite far from the NBC. Thus it takes longer than usual for serving such these hospitals. Therefore, when truly implementing this new system, the routes should be reconsidered so that they are most suitable for real situations. A possible solution might be to allow a vehicle that deliver blood to a far hospital to travel more than three hours. After having finished that long trip and arrived back at the NBC, the vehicle might be assigned to proceed with another short trip on that same day. This approach of regulating the transport operation can provide a guideline to facilitate real implementation of a new system.

Whether the NBC will decide to distribute blood by itself or to outsource this task to a carrier company, this approach should be adopted. In addition, this approach might be useful when applying to a bigger problem, such as when the NBC expand its services to cover a larger hospital network. By implementing such this new design of blood distribution system, energy and national budget can be saved, while all hospitals in the blood service network can be served faster and more efficient. This will be greatly beneficial to both the hospitals and the patients that require blood.

5.3 Fair price for outsourcing blood distribution service

In reality, the problem posed might not be technical, but could be caused by the transport management which either be operated by the NBC itself or a third party service. But due to the lack of expertise in transportation business, the NBC should not be able to develop efficient transport routing plan, such as how the routes should be re-designed, how many stops should be placed on a route. This inability suggests that the NBC is likely to hire the third party who has a refrigerator container. There comes another problem when the NBC cannot make a decision on which carrier it should hire. The simplest means is to assess the cost first and then determine a fair price.

According to the NBC, there have been few companies offered the pick-up and delivery services. Some charge for 10% of the blood value. This may result in the higher cost of blood, affecting the end-consumers, the patients, who will have to face more medical fees. To prevent this, a fair price is set in order to select the most proper transportation service provider, and can be applied as the basis for holding an auction. Suppose the maximum travel time is the constraint on July 6, 2010, the transportation cost calculated by percent may be as high as 464,800 Baht per day (Table 4.18). It is possible that the NBC or the network hospitals will altogether bear so much expense. Another choice is to estimate cost by distance, which should be more reasonable as the transport cost depends on distance. This way, the transport cost is 21,739 Baht/day (Table 4.18) or about $21,739/17 = 1,280$ Baht per round trip. The cost can be calculated after adding operational cost of 15% for the carrier company and a profit charge of 20%. From the calculation, the fair price for the carrier should be $21,739 \times 1.15 \times 1.20 = 30,000$

Baht/day. This price can also be used as a standard or a fair price for conducting an auction to find a carrier company to be in charge of blood transportation. On the other hand, if all hospitals reach an agreement to cooperate, the money saved can be spent on hiring third party transport service provider to offer more efficient blood distribution.

5.4 Policy implications

Currently, the NBC is highly determined to improve the efficiency of its activities throughout the supply chain. The NBC has initiated many plans, especially regarding intra-logistics inside an organization, such as collection, storage, quality control, etc. The NBC has been able to manage these activities with high standards. This is partly because it has knowledgeable and skillful personnel that match the work relating to medication and health science. However, there are still many aspects that the organization should try to improve. Here only three of them are provided.

1) Blood distribution

The blood transportation task in BMR is currently under the responsibility of hospitals. Therefore, the cost does not incur directly to the NBC. There may be a feeling that it does not have to hurry to solve the problem. The money and time that can be saved from the new transportation system will directly benefit hospitals in the network, not the NBC. The transport management may be operated by the NBC itself or an outsource service. But due to the NBC's lack of expertise in transportation logistics, it is unable to develop effective transport routing plan that answer basic questions such as how the routes should be re-designed, how many stops should be placed on a route. This inability suggests that the NBC should hire outsources. There comes another problem when the NBC cannot make a decision on which outsource it should hire. The NBC does not know the fair price for blood distribution, because there is no standard price to compare. Therefore, the investment for this new approach should be considered carefully. The best solution for this might be the approach of outsourcing blood transportation task to an external company with expertise in blood transportation. Such this company should be paid by hospitals in the network who will gain benefit from the new system. These hospitals might also need to share the cost of investment for establishing the new designed system. If it happens this way, the NBC

will not have to take a burden of investment cost, and the designed system will have a high chance to be implemented in the near future.

2) Resource saving

By using the van with a refrigerator (a cooler) inside, the new system can help to reduce the number of staff and time needed for the work. Time for packing blood can be reduced. Dry ice and paper can be saved, or might not be needed at all when delivering blood to nearby hospitals. In addition, by using the returnable container, it reduces manual work. This will allow staff to work with other tasks that require more skills, or tasks that suit more with his/her capability. As a result, the cost of packing blood can also be reduced.

3) Quality aspect

With the existing blood distribution system, blood delivered to various hospitals cannot be controlled under the same standard throughout the transportation. This is because there are various types and sizes of containers. The methods for keeping blood of each hospital are also different. Controlling temperature of blood products during transportation is a difficult task. Thus all trips of blood delivery to all hospitals should be made under the same standard to ensure blood quality. A solution for this might be to use a standard type of container. There should also be three standard sizes; for example, small, medium, and large, which can be selected to use according to blood quantity. If the task is outsourced to a carrier, the carrier may be required to install temperature-controlled containers inside the van. The reusable container must have a firm lid so that it can be opened and closed securely to ensure that the blood will reach the terminal hospitals safely.

5.5 Recommended future research

Blood supply chain is a large and complex system. It can be divided into many subsystems. The system of distributing blood between the NBC and hospitals in the network, as studied in this research, is one of the sub-systems. Results from this research can be used as a model for other systems. According to the research findings, recommendation for future research may be proposed in different views such as

1) The improvement should be made on the development of a better mathematical model. For example, this research has not considered about the time window, a program or an application should be developed so that the time for blood delivery of hospitals in the network is also taken into account. With this information, work schedule can be planned. Distance and time for traveling should be more realistic than what was found in this research. In real driving situation, effects from traffic light and traffic jams are involved. Such these factors can take transportation longer time. Therefore, these matters should be considered as well.

2) Blood quality assessment deserves further investigation, since there are many hospitals' vehicles coming to the NBC each day. These hospitals used containers of different sizes and types. Approaches of blood storage are also different, depending on limitations of each hospital. Due to these non-standard approaches, blood quality may be degraded or unreliable when it reaches the destination. These days, the NBC aims to keep quality of blood at the destination to be as same as at the origin. Thus the relationship between packaging method and blood quality is another interesting research topic that should be studied seriously.

3) Inventory is also very important. Due to the greater number of hospitals and a lot of patients at present, blood is always required. Demand for blood keeps increasing over time. However, blood kept in the NBC's stock is insufficient for the demand, resulting in the shortage of blood supply. Regarding the blood donation, the number of blood donors is quite unreliable or unpredictable. Most donors like to come during important and special days such as the National Father Day, the National Mother Day, the World Red Cross Day, etc. During these periods, the NBC might gain much donated blood. However, in other periods blood becomes scarce as usual. The management of blood inventory is therefore an interesting research topic.

4) Estimation of blood demand, since blood demand has been increasing continuously, shortage in blood supply do happen at certain times. Therefore, continuous public relation or campaigns about blood donation are required. The campaigns should promote interest of people, and make them realize importance of blood donation.

However, blood quantity as supplied from the NBC to hospitals might not be the real quantity of blood that those hospitals required. Many of those hospitals

might be able to acquire certain quantity of blood by themselves, though the amount was insufficient for their patients. They might request for only some amount of blood from the NBC in order to stock in their own inventory. Thus the total quantity of blood supplied from the NBC is only a proportion of the overall blood demand of hospitals. The real demand might be actually much higher than that. If this trend of blood demand continues, the NBC will have to acquire more and more blood to serve the demand, which seems to be uncontrollably and ceaselessly increasing over time. In addition, for the benefit toward its operation, the NBC should make a forecast about blood donation so that a good plan regarding its inventory of blood can be made. Otherwise the NBC would not be able to plan its operation to cope with the ongoing situation, and manage resources appropriately for its services.

REFERENCES

- Anthony, F.H., Britten, M.D. (1987). "Worldwide supply of blood and blood products." World Journal of Surgery 11: 82-85.
- Bartholdi, J.J., Plazman, L.K., Collins, R.L., Warden, W.H. (1983). "A minimal technology routing system for meals on wheels." Interfaces 13(3): 1-8.
- Butt E. S., Cavalier M. T. (1992). "A heuristic for the multiple tour maximum collection problem." Computers and Operations Research 21(1): 101-111.
- Clarke, G., Wright, J. (1964). "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery point." Operations Research 12(4): 568-581.
- Currie, C. J., Patel, T. C., McEwanz, P., Dixon, S. (2003). "Evaluation of the future supply and demand for blood products in the United Kingdom National Health Service." Transfusion Medicine 14: 19-24.
- Danzig B. G., Ramser H. J. (1959). "The truck dispatching problem." Management Science 6(1): 80-91.
- Delen, D., Erraguntla, M., Mayer, J. R., Wu, C. (2009). "Better management of blood supply-chain with GIS-based analytics." Annals of Operations Research 185: 181-193.
- Department of Land Transport (2011). "Calculate system of transportation cost." 7 June 2011. <http://119.46.91.205/truck/>.
- Gillett, E. B., Miller, R. L. (1974) "A heuristic algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem.", International Transactions in Operations Research 22(2): 340-349.
- Gregor, J. P., Forthofer, N. R., Kapadia, S. A. (1982). "An evaluation of inventory and transportation policies of a regional blood distribution system", European Journal of Operational Research 10: 106-113.
- Hemmelmayr, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F., Savelsbergh M. W. P. (2008). "Delivery strategies for blood products supplies." OR Spectrum 31: 707-725.

- Ikeda H. (2002). "Blood program in Japan: current status." Transfusion and Apheresis Science 26: 129-133.
- Jacobs, D., Silan M., Clemson, B. (1996). "An analysis of alternative locations and service areas of American Red Cross Blood." Interfaces 26: 40-50.
- Jinxin, Y. (2003). "Vehicle routing with time windows and time-dependent reward: A problem from the American Red Cross" Manufacturing and Service Operations Management 5(1): 74-77.
- Katsaliaki, K. (2008). "Cost-effective practices in the blood service sector." Health Policy 86: 276-135.
- Katsaliaki, K., Brailsford S. C. (2011). "Using simulation to improve the blood supply chain." The Journal of the Operational Research Society 58 (2): 219-227.
- Kim, D., Yoo, S.K., Kim, H., Chang, BC., Bae, HS., Kim, SJ. (2007). "Location based blood bag management using active RFID and ubiquitous sensor network." International Special Topic Conference. 23 March 2011. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4407413.
- Koch, O., Weigl, H. (2003). "Modeling ambulance service of the Austrian Red Cross." In the Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. 28 April 2011. <http://libra.msra.cn/Publication/2275897/modeling-ambulance-service-of-the-austrian-red-cross>.
- Larson, C. R., Odoni, R. A. (1981). Urban Operations Research, Prentice-Hall, Chapter 6.
- Leigh, L., Bist, M., Alex, R. (2007). "Marketing blood drives to students: a case study." International Journal of health Care Quality Assurance 20(1): 84-95.
- Li, B.N., Chao, S., Dong, M.C. (2006). "Barcode technology in blood bank information systems: upgrade and its impact." Journal of medical system 30: 449-457.
- 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.

- Montreeborriruk, S. (2006). "Logistics management system of raw milk transportation." Master's thesis in Industrial Engineering, Graduate School, Khon Kaen University. 21 March 2011. <http://tdc.thailis.or.th/tdc/>.
- National Blood Center, Thai Red Cross Society. (2009). 4 December 2010. http://www.nbc.in.th/home/region_nbc_web.htm.
- National Blood Center, Thai Red Cross Society. (2004). "Annual Report 2004." Bangkok: Chulalongkorn University Printing.
- National Services Scotland. (2012). "West of Scotland Blood Transfusion Centre." 9 April 2013. http://www.scotblood.co.uk/media/11682/west_of_scotland_btc_handbook_laboratory_users.pdf
- Nuchprayoon, C. (2010). National Blood Centre: Dream and reality, National Annual Scientific Conference on Transfusion Medicine. 18-19 March 2010. Richmond Hotel Nonthaburi.
- Nurakkhe, C. (1998). "Snack delivery routing in Bangkok Metropolitan and suburban area case study: OC supply delivery system." Master's thesis. King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand. 21 March 2011. <http://tdc.thailis.or.th/tdc/>.
- Paessens, H. (1988). "The saving algorithm for the vehicle routing problem." European Journal of Operational Research 34: 336-344.
- Pathomsiri, S. (2010). "Vehicle routing problem (VRP)." Transportation Management and Physical Distribution.
- Petroleum Authority of Thailand (PTT). (2010). "Oil price at Bangkok 2010." 7 June 2011. <http://www.pttplc.com/th/news-energy-fact-oil-price-bangkok.aspx>.
- Reynolds, E., Wickenden, C., Oliver, A. (2001). "The impact of improved safety on maintaining a sufficient blood supply." Transfus Clin Bio 8: 235-9.
- Rock, G., Akerblom, O., Berseus, O., Herve P., Jacobs, P., Kelly, T., MacPherson, J., Nydegger, U., Segatchian, G., Urbaniak, S., Valbonesi, M. (2000). "The supply of blood products in 10 different systems or countries." Transfusion Science 22: 171-182.
- Rytila, J.S., Spens K.M. (2006). "Using simulation to increase efficiency in blood supply chain." Management Research News 29(12): 801-819.

- Sapountzis, C. (1984). "Allocating blood to hospitals from a central blood bank." European Journal of Operational Research 16: 157-162.
- Singburi Provincial Land Transportation Office. (2009). "Maintenance vehicles." 7 June 2011. http://singburi.dlt.go.th/Frame_trodsapap.htm.
- Sime, S.L. (2005). "Strengthening the service continuum between transfusion providers and suppliers: enhancing the blood services network." Transfusion 45: 206-223.
- Suensilpong, T. (2007). "Vehicle routing system for daily meal delivery with motorcycles." Master's thesis. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. 21 March 2011. <http://tdc.thailis.or.th/tdc/>.
- Tangpaisalkit, C. (2009). "The way to Green: Transport sector in Thailand." MEET follow-up Meeting (FUM), 20 May 2011, <http://www.mlit.go.jp/common/000053803.pdf>.
- Taniguchi, E., Shimamoto H. (2004). "Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel times." Transportation Research Part C 12: 235-250.
- Tatthong, S. (2004). "Blood distribution at National Blood Center, Red Cross Society." Master's thesis. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 12 May 2011. <http://tdc.thailis.or.th/tdc/>.
- Thai insurance datanet. (2010). "The emergency ambulance service." 12 December 2010. <http://www.insure.co.th/index.php/download/file/41>.
- The overtime of hospital. (2010). "Thai radiology Xray Thai." 24 December 2012. <http://www.xraythai.com/webboard/index.php?action=vthread&forum=1&topic=5988>.
- The regulation of Banphaeo hospital on welfare and benefits of officers and employees. (2004). "The regulation of Banphaeo hospital" 25 December 2012. <http://www.banphaeo-hospital.or.th/download/bp08.pdf>.
- Toth, P., Vigo, D. (1997). "Heuristic algorithms for the handicapped persons transportation problem." Transportation Science 31(1): 60-71.
- Toyota. (2011). "Product index." 7 June 2011. http://www.toyota.co.th/th/product_index.htm.

- UK Biobank. (2011). "Blood sample collection, processing and transport" 30 March 2013. <http://www.ukbiobank.ac.uk/>.
- Zanakis, S., Evans, J., Vazacopoulos, A. (1981). "Heuristic methods and applications: A categorized survey." European Journal of Operational Research 43: 88-110.

APPENDICES

APPENDIX A
BLOOD DEMAND DURING JULY 6 – 12, 2010

There are a lot of vehicles to pick up units of blood at the NBC every day. It was found that on daily basis, there were about 80 hospitals in BMR dispatching different types of vehicles to pick up 1 – 500 blood bags at the NBC. Some hospitals may send their vehicles several trips in a day. Table A.1 presents the collected data on blood demand by hospitals during July 6-12, 2010.

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010

No.	Hospital	Blood demand (bags)										Average (bags/day)	
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total				
	The NBC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Chulalongkorn	346	481	251	438	75	116	330	2,037	291			
2	Bamrungrad	43	25	107	28	22	24	76	325	46			
3	Phyathai 1	10	15	49	4	3	17	11	109	16			
4	Phyathai 2	8	5	15	11	28	10	18	95	14			
5	Thonburi 1	346	481	251	438	75	116	330	311	44			
6	Samitivej (Sukhumvit)	7	21	10	16	1	5	4	64	9			
7	Bangkok	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
8	Pao Io Memorial	10	13	11	14	10	-	-	58	8			
9	Saint Louis	10	29	-	7	9	12	13	80	13			
10	Hua Chiew	19	14	7	24	55	15	62	196	28			
11	Kasemrad 1 (Bangkhae)	30	4	30	-	140	78	30	312	52			
12	Wiphawadee	-	-	11	-	-	-	17	28	14			
13	Krungthon 1	-	4	30	-	-	-	-	34	17			
14	Bangkok Christian	15	6	5	-	2	7	7	27	5.4			

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)										Average (bags/day)
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total			
15	Mayo	27	-	5	6	6	2	2	2	48	8	
16	Vichaiyut	23	7	27	6	12	2	37	114	16		
17	Paolo Memorial chokchai 4	-	8	-	7	-	2	-	17	6		
18	Doctor Panya General	-	6	-	8	-	-	6	20	7		
19	Sukhumvit	-	2	3	15	7	15	-	12	4		
20	Mission	14	30	7	-	8	15	3	77	13		
21	Petcharavej	7	13	10	14	11	13	7	75	11		
22	Camillian	6	7	14	8	-	14	12	61	10		
23	Bangpo General	-	-	3	-	6	-	-	9	5		
24	Yanhee 2	23	11	8	23	14	26	11	116	17		
25	Mahesak	-	4	-	8	3	-	4	19	5		
26	Rajburana	-	-	14	-	-	-	17	31	16		
27	Decha	-	-	-	8	4	-	-	12	6		
28	Chaophya	18	13	-	-	-	-	14	45	15		
29	BNH	2	-	-	-	6	-	-	8	4		

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)										Average (bags/day)	
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total				
30	Theptarin	5	2	1	2	-	-	-	-	-	-	10	3
31	Ananpattana	-	20	-	3	5	-	-	-	-	-	56	14
32	Bangmot	-	-	-	-	42	-	-	-	-	-	42	42
33	Bangphai	-	18	4	-	8	-	-	-	-	49	79	20
34	Klongtun	4	4	-	8	-	-	-	-	-	4	20	5
35	Kluaynamthai	10	8	7	11	-	-	-	8	-	-	44	9
36	Bangna 1	-	29	14	11	12	4	3	4	3	8	73	12
37	Srivichai 1	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	8	8
38	Srivichai 2	-	5	18	26	41	-	-	-	6	6	96	19
39	Krungdhon 2	2	15	15	15	6	15	15	15	15	8	8	4
40	Bangpakok 1	-	29	19	42	16	13	-	-	-	-	119	24
41	Bangpakok 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
42	Phyathai 3	-	-	14	18	10	5	12	5	12	59	59	12
43	Navaminthra	-	-	-	7	26	15	-	15	-	-	48	16
44	Thonburi 2	-	-	4	-	6	-	-	-	-	-	10	5

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)										Average (bags/day)
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total			
45	Samitivej (Srinakarin)	4	30	25	31	39	1	3	133	19		
46	Ramkhamhaeng	42	5	10	13	6	18	5	99	14		
47	Central General	-	14	6	4	-	-	-	24	8		
48	Praram 9	-	-	-	12	2	10	-	24	8		
49	Bangkok Cancer Center	-	-	-	-	-	-	3	3	3		
50	Nakornthon	15	5	15	5	56	-	-	96	19		
51	B Care Medical Center	3	-	24	4	8	-	11	50	10		
52	Navaminthra 2	-	12	1	-	-	-	-	13	7		
53	Synphaet	-	4	32	5	4	-	5	50	10		
54	Phetkasem Bangkokhae	-	-	7	-	-	-	-	7	7		
55	Ladprao General	10	-	2	2	23	13	18	68	11		
56	Seriruk	-	1	2	-	2	-	1	6	2		
57	Kasemrad Prachachuen	56	18	20	36	41	62	52	285	41		
58	Thainakarin	8	10	12	-	8	4	-	42	8		
59	Piyavate	4	-	-	6	-	-	9	19	6		

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)											Average (bags/day)
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total				
60	Mongkutwattana	11	-	31	23	-	-	24	89	22			
61	Sikarin	-	48	-	-	22	-	4	74	25			
62	Praram 2	16	-	-	-	29	3	-	48	16			
63	Vejthani	21	11	5	-	-	5	4	46	9			
64	Vibharam	-	18	15	7	10	4	15	54	11			
65	Kasemrad Sukhapibal 3	-	15	50	11	-	-	12	88	22			
66	Bangkok International 9	59	22	46	18	4	4	5	158	23			
67	Saimai	20	-	-	21	-	12	4	57	14			
68	Rajavithi	74	190	386	75	62	35	222	1044	149			
69	Lerdsin	97	33	79	50	23	10	53	345	49			
70	Children	45	12	13	35	26	23	29	183	26			
71	Priest	55	22	34	-	-	-	20	131	33			
72	National Cancer Institute	50	-	-	-	-	10	17	77	26			
73	Nopparat Rajathanee	49	20	48	35	47	77	61	337	48			
74	Prasat Neurological Institute	25	27	28	-	20	-	-	100	25			

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)										Average (bags/day)	
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total				
75	Siriraj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	Ramathibodi	252	266	98	383	76	87	332	1494	213			
77	Hospital for Tropical Diseases	-	-	23	11	15	-	2	36	12			
78	Bhumibol	-	30	2	-	-	26	36	94	24			
79	Phramongklao	136	17	40	213	10	69	328	813	116			
80	Somdejprapinklao	15	-	-	33	-	-	201	249	83			
81	Police	30	25	46	90	41	17	17	266	38			
82	Vajjira	-	54	27	29	-	-	24	134	34			
83	Bangkok Metropolitan Administration General	43	50	16	25	52	-	38	224	37			
84	Taksin	48	38	61	38	11	51	112	359	51			
85	Charoenkrung Pracharak	21	26	134	24	10	-	93	308	51			
86	Luangpho Thaweesak	-	17	-	-	39	11	-	67	22			
87	Lat Krabang	-	-	-	-	12	-	-	12	12			
88	Rachapipath	5	-	5	-	25	-	26	61	15			

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)										Average (bags/day)	
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total				
89	Sirinthon	105	-	6	23	-	-	-	-	-	-	134	45
90	Thailand Tobacco Monopoly	6	-	-	-	12	-	-	-	-	-	18	9
91	Metropolitan Electricity Authority	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
92	Burachaiyakorn	2	4	-	7	1	-	-	-	-	4	18	4
93	Veterans General	11	25	12	-	-	-	-	-	-	9	57	14
94	Navaminthra 9	30	-	10	-	16	-	-	-	-	-	56	19
95	Nonhavej	8	-	6	15	-	-	-	-	-	-	14	7
96	Kasemrad Rattanaibeth	47	-	8	2	-	-	-	-	-	-	57	19
97	Mahnam	8	15	7	6	14	-	-	-	-	3	53	9
98	Krungthai	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	Pranangklo	35	94	37	67	49	36	26	344	49			
100	Chest Disease Institute	5	41	50	27	-	-	-	123	31			
101	Bangbuathong	-	-	-	11	-	-	-	11	11			
102	Bamrasnaradura	6	47	-	-	9	4	-	66	17			

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)										Average (bags/day)
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul	Total			
103	Chonlaprathan	29	15	60	34	-	49	14	201	34		
104	Navanakorn General	-	1	5	4	6	-	-	16	4		
105	Pathumvech	12	10	10	6	6	10	8	62	9		
106	Rangsit General	-	9	-	4	-	-	11	24	8		
107	Ekpatum	-	17	-	10	-	-	-	27	14		
108	Muangpatum	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
109	Phatara-thonburi	6	5	-	8	-	-	3	22	6		
110	Pathumthani	36	20	32	11	-	7	12	118	20		
111	Nongsuea	-	45	-	15	-	-	-	60	30		
112	Thanyaburi	-	-	31	-	-	-	-	31	31		
113	Klongluang	-	-	25	-	-	-	-	25	25		
114	Thammasat University	5	72	40	15	83	-	36	251	42		
115	Samrong General	-	6	16	-	-	6	-	28	9		
116	Mueangsamut Paknam	8	7	1	6	3	17	7	49	7		
117	Chularat 1	-	-	-	2	-	-	-	2	2		

Table A.1 Blood demand during 6th – 12th July 2010 (Cont.)

No.	Hospital	Blood demand (bags)							Average (bags/day)	
		6 Jul	7 Jul	8 Jul	9 Jul	10 Jul	11 Jul	12 Jul		Total
	Total (bags)	2,324	2,453	2,465	2,417	1,577	1,176	2,824	15,236	2,177
	Average (bags/hospital)	33	30	30	31	23	22	37	206	30

APPENDIX B

PROGRAM TESTING WITH THREE EXAMPLES

The saving algorithm program was coded in Microsoft Visual Basic 2008 and ran on the laptop computer. The specification consists of Intel Core I5 M520 @2.40 GHz CPU, with 4.00 GB of RAM. The program is rigorously tested prior to the real implementation. Also, the test was conducted in order to check whether the database connection and data display worked properly. Outputting data for calculation and displaying the resulted data from the calculation were also tested. Three examples with known results were used to test the program’s functionality and its efficiency program for designing blood distribution routes.

Example B.1 (Pathomsiri, 2010) A transportation service company received orders from eight customers namely, the customers 2, 3,....., 9, while Node 1 is the transportation company. The quantity of products that each customer required is displayed in Table B.1. The distances from the company to each customer are displayed in Table B.2. The vehicle capacity was specified as 12 units.

Table B.1 Demand for products by customer

Customers	2	3	4	5	6	7	8	9
Demand for products (units)	4	7	3	2	6	3	2	3

Table B.2 Distance matrix for the nine-node example (kilometers)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	40	30	58	32	52	28	67	55
2	40	0	43	81	29	87	63	106	94
3	30	43	0	37	53	46	57	70	70

Table B.2 Distance matrix for the nine-node example (kilometers) (Cont.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	58	81	37	0	88	27	77	57	67
5	32	29	53	88	0	85	40	96	80
6	52	87	46	27	85	0	62	30	43
7	28	63	57	77	40	62	0	62	40
8	67	106	70	57	96	30	62	0	25
9	55	94	70	67	80	43	40	25	0

The data in Example B.1 was stored as a Microsoft Access database as an input for the program. The program worked with this database as if they were data of blood distribution service. Firstly, the customers that order the products must be selected by checking in the box as shown in Figure B.1. The quantity of products that the customer required is then input. The condition specified in the Example (that the vehicle capacity is 12 units) was also input into the program. The customer selection process is illustrated in Figure B.1.

Select	Demand (unit)	Code	Number	Hospital name	Distance (Km)
<input type="checkbox"/>		001001	1	cus1	
<input checked="" type="checkbox"/>	4	001101	2	cus2	40
<input checked="" type="checkbox"/>	7	001102	3	cus3	30
<input checked="" type="checkbox"/>	3	001103	4	cus4	58
<input checked="" type="checkbox"/>	2	001104	5	cus5	32
<input checked="" type="checkbox"/>	6	001105	6	cus6	52
<input checked="" type="checkbox"/>	3	001106	7	cus7	28
<input checked="" type="checkbox"/>	2	001107	8	cus8	67
<input checked="" type="checkbox"/>	3	001108	9	cus9	55

Figure B.1 Selecting customers and specifying their demands: example B.1

After the delivering conditions and the number of customers have been determined, the calculation can then begin. The computing time is only 12.4 seconds. The result is a list of routes with details on demand units and transportation distances.

These routes are needed for delivering products to all customers with their specified quantities. The result is displayed in Figure B.2.

Number	Delivery route	Demand (unit)	Distance (Km)
1	cus1-cus6-cus8-cus9-cus1	11	68
2	cus1-cus3-cus4-cus1	10	178
3	cus1-cus2-cus5-cus7-cus1	9	173
Total	3	30	419

Figure B.2 Results from designing product delivery routes by using the program:
example B.1

Based on the results, it is found that three routes are required in order to deliver products to all customers. The total quantity of products is 30 units. The total transportation distance is 419 kilometers. The solution is the same as in Pathomsiri (2010). It shows that the program operation is reasonably fast, accurate and precise in term of solution quality.

Example B.2 (Larson and Odoni, 1981) The depot is at node 1. The nine nodes to be visited are now recognized to pose different requirements in terms of the expected quantity of products to be collected on each daily tour. The pertinent distance and saving data are shown in Tables B.3 and B.4.

Table B.3 Distance matrix for the ten-node example (kilometers)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	25	43	57	43	61	29	41	48	71
2	25	-	29	34	43	68	49	66	72	91
3	43	29	-	52	72	96	72	81	89	114
4	57	34	52	-	45	71	71	95	99	108
5	43	43	72	45	-	27	36	65	65	65
6	61	68	96	71	27	-	40	66	62	46
7	29	49	72	71	36	40	-	31	31	43

Table B.3 Distance matrix for the ten-node example (kilometers) (Cont.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	41	66	81	95	65	66	31	-	11	46
9	48	72	89	99	65	62	31	11	-	36
10	71	91	114	108	65	46	43	46	36	-

Because the distance matrix is symmetric, the distance $d(i,j)$ and the saving $s(i,j)$ can both be exhibited in a single 10x10 matrix (no saving are associated with the depot, i.e., node 1). The saving $s(i,j)$ are shown in Table B.4. For instance,

$$s(4,6) = d(1,4) + (1,6) - d(6,4) = 57 + 61 - 71 = 47$$

Table B.4 Saving matrix from the calculation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	39	48	25	18	5	0	1	5
3	-	39	-	48	14	8	0	3	2	23
4	-	48	48	-	55	47	15	3	6	20
5	-	25	14	55	-	77	36	19	26	49
6	-	18	8	47	77	-	50	36	47	86
7	-	5	0	15	36	50	-	39	46	57
8	-	0	3	3	19	36	39	-	78	66
9	-	1	2	6	26	47	46	78	-	83
10	-	5	23	20	49	86	57	66	83	-

Table B.5 lists the quantities of goods to be picked up from each of the nine nodes, 2 through 10. We assume that the capacity of each vehicle is equal to 23 units and apply the saving algorithm to the savings list, as shown in Table B.5. No constraint other than the maximum capacity one is assumed to exist.

Table B.5 Quantities of products to be picked up at each point

Node	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quantity	4	6	5	4	7	3	5	4	4

The data in the example was brought into a Microsoft Access database in order to be used with the developed program. The program treated this database as if it is the data of blood distribution service. Visual Basic was used to calculate the routes. The customers and their demands for products pick-up were specified as shown in Figure B.3.

Select	Demand (unit)	Code	Number	Hospital name	Distance (m)
<input type="checkbox"/>		001001	1	cus1	
<input checked="" type="checkbox"/>	4	001101	2	cus2	25
<input checked="" type="checkbox"/>	6	001102	3	cus3	43
<input checked="" type="checkbox"/>	5	001103	4	cus4	57
<input checked="" type="checkbox"/>	4	001104	5	cus5	43
<input checked="" type="checkbox"/>	7	001105	6	cus6	61
<input checked="" type="checkbox"/>	3	001106	7	cus7	29
<input checked="" type="checkbox"/>	5	001107	8	cus8	41
<input checked="" type="checkbox"/>	4	001108	9	cus9	48
<input checked="" type="checkbox"/>	4	001109	10	cus10	71

Figure B.3 Selecting customers and specifying their demands: example B.2

After selecting customers and specifying the loading condition of 23 units, the program can start its calculation. It takes only 13.6 seconds to complete the route building by saving algorithm. The result of the routing design is shown in Figure B.4.

Number	Delivery route	Demand (unit)	Distance (Km)
1	Cus1-cus7-cus6-cus10-cus9-cus8-Cus1	23	185
2	Cus1-cus2-cus3-cus4-cus5-Cus1	19	289
Total	2	42	474

Figure B.4 Results from designing product delivery routes by using the program, under the condition of 23-unit vehicle capacity

Under the condition that a vehicle has a loading capacity of 23 units, it was found that two routes were required in order to send products to all nodes of specified customers. The total quantity of products demands was 42 units. The total transportation distance was 474 kilometers. From the same example, if the loading capacity changed from 23 units to 16 units, the results would change. The new results of routing design are shown in Figure B.5. It requires three routes for the same set of product demand. However the total distance is increasing to 516 kilometers, which corresponds to the known solution of this example (Larson and Odoni, 1980). The program seems to work properly and provide a near optimal solution.

Number	Delivery route	Demand (unit)	Distance (Km)
1	Cus1-cus6-cus10-cus9-Cus1	15	100
2	Cus1-cus3-cus4-cus5-Cus1	15	233
3	Cus1-cus2-cus7-cus8-Cus1	12	183
Total	3	42	516

Figure B.5 Results from designing product delivery routes by using the program, under the condition of 16-unit vehicle capacity

Example B.3 (Pathomsiri, 2010) A company has 7 customers; namely customers No. 1, 2, ..., 7. The company has to send products to these customers regularly. The orders of these customers are displayed in Table B.6. The distances between the company and all these customers were recorded by the Transportation Manager of the company, as shown in Table B.7. The vehicle capacity was set to be 820 kilograms.

Table B.6 Demand for product by customer: Example B.3

Customer	Orders Quantity (kilograms)
1	484
2	541
3	326
4	293
5	24

Table B.6 Demand for product by customer: Example B.3

Customer	Orders Quantity (kilograms)
6	815
7	296
Total	2,781

Table B.7 Distance matrix for the seven-node example (kilometers)

	Cust. 1	Cust. 2	Cust. 3	Cust. 4	Cust. 5	Cust. 6	Cust. 7
Cust. 1	19						
Cust. 2	57	51					
Cust. 3	51	10	49				
Cust. 4	49	53	18	50			
Cust. 5	4	25	30	11	68		
Cust. 6	12	80	6	91	62	48	
Cust. 7	92	53	47	38	9	94	9

The data was stored in a Microsoft access database. The database was saved in the folder to be accessed by the program. The customers and their demands were then specified, as shown in Figure B.6.

	Select	Demand (unit)	Code	Number	Hospital name	Distance (m)
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	486	001101	1	Cus1	19
	<input checked="" type="checkbox"/>	541	001102	2	Cus2	57
	<input checked="" type="checkbox"/>	326	001103	3	Cus3	51
	<input checked="" type="checkbox"/>	293	001104	4	Cus4	49
	<input checked="" type="checkbox"/>	24	001105	5	Cus5	4
	<input checked="" type="checkbox"/>	815	001106	6	Cus6	12
	<input checked="" type="checkbox"/>	296	001107	7	Cus7	19

Figure B.6 Selecting customers and specifying their demands: example 3

The results contain four routes as shown in Figure B.7. Note that one should know that the minimum number of route requirement (total weight/vehicle capacity = $2,779/820$) is 3.39.

Number	Delivery route	Demand (unit)	Distance (m)
1	company-Cus4-Cus7-ompany	589	150
2	company-Cus3-Cus1-ompany	810	80
3	company-Cus2-Cus5-ompany	565	91
4	company-Cus6-ompany	815	24
Total	4	2779	345

Figure B.7 The result of route design for Example B.3

Under the condition that a vehicle has a loading capacity of 820 kilograms, four routes are required. There is the total quantity of products demands was 2,779 units and the total distance of transportation was 345 kilometers. It shows that the program operation is very good and corresponds to the known solution of this example (Pathomsiri, 2010).

In summary based on the above three examples, the coded program yields correct results within the short period of time. The program is very efficient to deal with small-size problems. Then it is applied to solve the real problem for designing the blood distribution routing.

APPENDIX C
RESULTS FROM ROUTE REARRANGEMENT FOR BLOOD
DISTRIBUTION (CONSTRAINED BY MAXIMUM DISTANCE)
DURING JULY 7-12, 2010

This case specifies the maximum travel distance of 100 kilometers as the constraint. The additional constraints were also defined, such as loading capacity of 600 units, maximum number of hospitals of six stops, distribution cost of 200 Baht/unit, distribution cost of 21 Baht/km. The results derived from the program based on the July 7-12, 2010 data are shown in Tables C.1-C.6.

Table C.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 7th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Vejthani hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapiyal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC	6	56	9.33	59.39	59.40	1.98	11,200	1,248
2	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Chularat 3 hospital-Bangna 2 hospital-Chularat 9 hospital-Vibharam hospital-the NBC	6	68	11.33	96.44	96.45	3.21	13,600	2,026
3	The NBC-Ananpattana hospital-Pranangklao hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaprathan hospital-Bamrasnaradura hospital-the NBC	6	232	38.67	68.34	68.34	2.28	46,400	1,436
4	The NBC-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Central General hospital-Bhumibol hospital-Ekpatum hospital-Pathumthani hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC	6	107	17.83	99.29	99.29	3.31	21,400	2,086

Table C.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 7th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
5	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Srivichai 2 hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-the NBC	6	55	9.17	95.32	95.32	3.18	11,000	2,002
6	The NBC-Veterans General hospital-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Phatara-thonburi -Pathumvech hospital-Rangsit hospital-the NBC	6	122	20.33	98.19	98.20	3.27	24,400	2,063
7	The NBC-Sukumvit hospital-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-Samrong General hospital-the NBC	6	103	17.17	44.39	44.40	1.48	20,600	933
8	The NBC-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Camillian hospital-Klongtuan hospital-Petcharavej hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Doctor Panya General hospital-the NBC	6	81	13.50	33.88	33.88	1.13	16,200	712

Table C.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 7th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
9	The NBC-Phyathai 2 hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC	2	18	3.00	15.60	15.60	0.52	3,600	328
10	The NBC-Mission hospital-Yanhee 2 hospital-Chaophya hospital-Thonburi 1 hospital-Bangphai hospital -Taksin hospital-the NBC	6	195	32.50	38.94	38.94	1.30	39,000	818
11	The NBC-Vajira hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Vichaiyut hospital-Prasat Neurological Institute-Ramathibodi hospital-Priest hospital-the NBC	6	378	63.00	20.10	20.11	0.67	75,600	423
12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC	2	64	10.67	8.81	8.81	0.29	12,800	185
13	The NBC-Lertsin hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Bangpakok 1 hospital - Krungthon 2 hospital-Navaminthra 2 hospital - Krungthon 1 hospital-the NBC	6	119	19.83	25.47	25.48	0.85	23,800	535

Table C.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 7th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
14	The NBC-Police hospital-Phyathai I hospital- Rajavithi hospital-Children hospital- Phramongkutkiao hospital-the NBC	5	259	43.17	11.09	11.09	0.37	51,800	233
15	The NBC-Bangkok Christian hospital-Saint Louis hospital-Mahesak hospital-the NBC	3	39	6.50	7.50	7.50	0.25	7,800	158
16	The NBC-Chulalongkorn hospital- Burachathaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-Theptarin hospital-the NBC	4	512	85.33	15.90	15.91	0.53	102,400	335
Total		82	2,453	25.55	738.7	46.17	24.62	490,600	15,521

Table C.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 8th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Vejthani hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhaphibal 3 hospital-the NBC	6	147	24.50	61.91	61.92	2.06	29,400	1,300
2	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Mongkutwattana hospital-Pathumthani hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaprathan hospital-the NBC	6	200	33.33	95.04	95.05	3.17	40,000	1,996
3	The NBC-Samrong General hospital-Chaiprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattharin hospital-Bangna 1 hospital-Kluaynamthai hospital-the NBC	6	54	9.00	68.63	68.63	2.29	10,800	1,442
4	The NBC-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital-Nonhavej hospital-Pranangklaohospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Thonburi 2 hospital-the NBC	6	66	11.00	75.09	75.10	2.50	13,200	1,578

Table C.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 8th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
5	The NBC-Veterans General hospital-Pathumvech hospital-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Wiphawadee hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC	6	90	15.00	98.30	98.30	3.28	18,000	2,065
6	The NBC-Camillian hospital-Petcharavej hospital-Vibharam hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Ladprao hospital-the NBC	6	76	12.67	40.07	40.08	1.34	15,200	842
7	The NBC-Krungsri 1 hospital-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-the NBC	5	236	39.33	57.71	57.71	1.92	47,200	1,212
8	The NBC-Thainakarin hospital-Ruamchaipracharug hospital-Chularat 9 hospital-Sirinthon hospital-Sukhumvit hospital-Theptarin hospital-the NBC	6	37	6.17	99.26	99.26	3.31	7,400	2,085
9	The NBC-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Thanyaburi hospital-B Care Medical Center - Bhumibol hospital-Central General hospital-Mayo hospital-the NBC	6	68	11.33	92.47	92.48	3.08	13,600	1,942

Table C.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 8th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
10	The NBC-Mission hospital-Vajjira hospital-Vichaiyut hospital-Prasat Neurological Institute-Ramathibodi hospital-Priest hospital-the NBC	6	221	36.83	19.33	19.33	0.64	44,200	406
11	The NBC-Phyathai 1 hospital-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	6	526	87.67	13.19	13.20	0.44	105,200	277
12	The NBC-Taksin hospital-Phyathai 3 hospital-Bangphai hospital -Thonburi 1 hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Huachiew hospital-the NBC	6	128	21.33	27.19	27.20	0.91	25,600	571
13	The NBC-Police hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	2	153	25.50	7.26	7.27	0.24	30,600	153
14	The NBC-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Phekasem Bangkhae hospital -Bangkok Christian hospital-the NBC	5	65	10.83	50.16	50.16	1.67	13,000	1,054

Table C.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 8th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
15	The NBC-Bangpakok 1 hospital -Navaminthra 2 hospital -Rajburana hospital-Lerdsin hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC	5	364	60.67	24.73	24.73	0.82	72,800	520
	Total	83	2,465	27.39	830.40	55.36	27.68	493,000	17,443

Table C.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 9th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Saimai hospital-Ekpatum hospital-Pathumthani hospital-the NBC	3	42	7.00	100.00	100.00	3.33	8,400	2,100
2	The NBC-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Phatara-thonburi - Pathumvech hospital-Rangsit hospital-B Care Medical Center -the NBC	6	41	6.83	98.96	98.96	3.30	8,200	2,078
3	The NBC-Ladprao hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Navaminthra hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC	6	73	12.17	61.33	61.33	2.04	14,600	1,288
4	The NBC-Samitivej (Srinakarini) hospital-Vibharam hospital-Sirinthon hospital-Chularat 9 hospital-Chularat 1 hospital-Bangna 1 hospital-the NBC	6	89	14.83	63.74	63.74	2.12	17,800	1,339
5	The NBC-Mayo hospital-Central General hospital-Mongkutwattana hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaprathan hospital-the NBC	6	100	16.67	69.77	69.78	2.33	20,000	1,465

Table C.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 9th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangklaao hospital-Bangbuathong hospital-Kasemrad Rattanaatibeth hospital-Ananpattana hospital-the NBC	6	134	22.33	68.49	68.50	2.28	26,800	1,439
7	The NBC-Somdejprapinklao hospital-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Srivichai 2 hospital-Phyathai 3 hospital -the NBC	6	105	17.50	87.92	87.92	2.93	21,000	1,847
8	The NBC-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Camillian hospital-Klongtan hospital-Petcharavej hospital-Doctor Panya General hospital-Piyavate hospital-the NBC	6	60	10.00	24.69	24.70	0.82	12,000	519
9	The NBC-Theptarin hospital-Sukumvit hospital-Kluaynamthai hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Samutprakarn hospital-the NBC	5	36	6.00	49.33	49.33	1.64	7,200	1,036
10	The NBC-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Yanhee 2 hospital-Vajjira hospital-Vichaiyut hospital-Ramathibodi hospital-the NBC	6	533	88.83	33.63	33.64	1.12	106,600	707

Table C.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 9th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
11	The NBC-Burachatchaiyakorn hospital-Praram 9 hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC	4	40	6.67	30.08	30.08	1.00	8,000	632
12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC	2	49	8.17	8.81	8.81	0.29	9,800	185
13	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	6	373	62.17	15.29	15.29	0.51	74,600	321
14	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-Police hospital-the NBC	3	102	17.00	8.96	8.97	0.30	20,400	189
15	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Chaiprakarn hospital-Saint Louis hospital-the NBC	3	48	8.00	33.81	33.82	1.13	9,600	710
16	The NBC-Mahasarak hospital-Bangpakok 1 hospital -Krungthong 2 hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Lerdsin hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC	6	577	96.17	24.76	24.77	0.83	115,400	520
	Total	80	2,417	26.17	779.63	48.73	25.99	483,400	16,375

Table C.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 10th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Lat Krabang hospital-Seriruk hospital-Lat Krabang hospital-Navaminthra 9 hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-the NBC	6	107	17.83	81.86	81.86	2.73	21,400	1,720
2	The NBC-Nakhonthon hospital-Praram 2 hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-the NBC	6	330	55.00	73.02	73.03	2.43	66,000	1,534
3	The NBC-Yanhee 2 hospital-Bamrasradura hospital-Mahnum hospital-Pranangklae hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Bangpo General hospital-the NBC	6	133	22.17	63.37	63.38	2.11	26,600	1,331
4	The NBC-Mayo hospital-B Care Medical Center -Pathumvech hospital-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC	6	119	19.83	99.83	99.84	3.33	23,800	2,097
5	The NBC-Sukumvit hospital-Thainakarin hospital-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC	4	49	8.17	38.359	38.36	1.28	9,800	806

Table C.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 10th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Petcharavej hospital-Vibharam hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Ladprao hospital-Praram 9 hospital-the NBC	6	91	15.17	39.381	39.38	1.31	18,200	827
7	The NBC-Ramathibodi hospital-Prasat Neurological Institute-Vichaiyut hospital-the NBC	3	108	18.00	13.799	13.80	0.46	21,600	290
8	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	5	141	23.50	12.422	12.42	0.41	28,200	261
9	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Thonburi 1 hospital-Thonburi 2 hospital-Ananpattana hospital-Mission hospital-the NBC	6	162	27.00	48.8	48.80	1.63	32,400	1,025
10	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Rattharin hospital-Thailand Tobacco Monopoly hospital-the NBC	4	40	6.67	60.73	60.74	2.02	8,000	1,276

Table C.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 10th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
11	The NBC-Bangmot hospital-Bangkok International 9 hospital-Lerdsin hospital-the NBC	3	69	11.50	32.03	32.04	1.07	13,800	673
12	The NBC-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Mahasak hospital-the NBC	4	35	5.83	23.98	23.98	0.80	7,000	504
13	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-Police hospital-the NBC	3	48	8.00	8.96	8.97	0.30	9,600	189
14	The NBC-Taksin hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -Saint Louis hospital-BNH hospital-Bangkok Christian hospital-the NBC	6	46	7.67	24.34	24.34	0.81	9,200	512
15	The NBC-Chulalongkorn hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Burachachaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	4	99	16.50	16.61	16.62	0.55	19,800	349
	Total	72	1,577	17.53	637.55	42.50	21.25	315,400	13,394

Table C.5 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 11th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Lat Krabang hospital-Ramkhamhaeng hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-the NBC	6	129	21.50	60.72	60.72	2.02	1,290	1,275
2	The NBC-Chonlaprathan hospital-Pathumthani hospital-Pathumvech hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-Mayo hospital-the NBC	6	106	17.67	99.52	99.53	3.32	1,060	2,090
3	The NBC-Camillian hospital-Petcharavej hospital-Vibharam hospital-Thainakarin hospital-Bangna 1 hospital-Kluaynamthai hospital-the NBC	6	47	7.83	45.64	45.65	1.52	470	959
4	The NBC-Thonburi 1 hospital-Phyathai 3 hospital -Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Praram 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-the NBC	6	163	27.17	64.20	64.21	2.14	1,630	1,349
5	The NBC-Sukumvit hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Samrong General hospital-the NBC	3	38	6.33	42.93	42.93	1.43	380	902

Table C.5 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 11th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Yanee 2 hospital-Bamrasradura hospital-Pranangkla hospital-Kasemrad 2 Prachuen hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Praram 9 hospital-the NBC	6	140	23.33	60.41	60.42	2.01	1,400	1,269
7	The NBC-Huachiew hospital-Mission hospital-Ramathibodi hospital-National Cancer Institute-Vichaiyut hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	6	139	23.17	18.63	18.63	0.62	1,390	392
8	The NBC-Lerdsin hospital-Bangpakok 1 hospital-Krungthon 2 hospital-Taksin hospital-the NBC	4	89	14.83	25.72	25.72	0.86	890	540
9	The NBC-Police hospital-Phyathai 1 hospital-Rajavithi hospital-Children hospital-Phramongkutkiao hospital-the NBC	5	161	26.83	11.09	11.09	0.37	1,610	233
10	The NBC-Saint Louis hospital-Bangkok Christian hospital-the NBC	2	19	3.17	5.75	5.75	0.19	190	121
11	The NBC-Bamrungrad hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC	3	145	24.17	14.61	14.62	0.49	1,450	307
Total		53	1,176	17.82	449.26	40.84	14.98	235,200	9,437

Table C.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 12th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC	2	7	1.17	35.59	35.59	1.19	70	748
2	The NBC-Vejthani hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC	6	88	14.67	59.39	59.40	1.98	880	1,248
3	The NBC-B Care Medical Center -Rangsit hospital-Thammasat University hospital-Phatara-thonburi -Pathumvech hospital-Wiphawadee hospital-the NBC	6	86	14.33	95.96	95.96	3.20	860	2,015
4	The NBC-Bangphli hospital-Chularat 3 hospital-Bangna 2 hospital-Chularat 9 hospital-Vibharam hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-the NBC	6	54	9.00	89.51	89.52	2.98	540	1,880
5	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Mongkutwattana hospital-Mahnum hospital-Pathumthani hospital-Chonlaphrathan hospital-Pranangklaio hospital-the NBC	6	131	21.83	95.94	95.94	3.20	1,310	2,015

Table C.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 12th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Petcharavej hospital-Doctor Panya General hospital-Ladprao hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-Mayo hospital-the NBC	6	73	12.17	69.22	69.22	2.31	730	1,454
7	The NBC-Chaophya hospital-Ananpattana hospital-Yanhee 2 hospital-Vajjira hospital-Vichaiyut hospital-National Cancer Institute-the NBC	6	131	21.83	35.16	35.17	1.17	1,310	739
8	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	5	599	99.83	12.42	12.42	0.41	5,990	261
9	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Srivichai 1 hospital-Thonburi 1 hospital-the NBC	4	132	22.00	30.54	30.55	1.02	1,320	642
10	The NBC-Bamrungrad hospital-Veterans General hospital-Bangkok Cancer Center-the NBC	3	88	14.67	19.48	19.48	0.65	880	410
11	The NBC-Lertsin hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Rajburana hospital - Krungthon 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-Somdejprapinklao hospital-the NBC	6	384	64.00	27.77	27.77	0.93	3,840	584

Table C.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by maximum distance of 100 km on 12th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Distance (km)	Distance utilization (%)	Travel time (Hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
12	The NBC-Taksin hospital-Phyathai 3 hospital - Bangphai hospital -Saint Louis hospital-the NBC	4	186	31.00	22.95	22.95	0.77	1,860	482
13	The NBC-Mahesak hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-the NBC	4	66	11.00	48.94	48.95	1.63	660	1,028
14	The NBC-Mission hospital-Ramathibodi hospital-Priest hospital-Phyathai 1 hospital-Police hospital-the NBC	5	383	63.83	15.10	15.10	0.50	3,830	317
15	The NBC-Bangkok Christian hospital-Chaiprakarn hospital-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-the NBC	4	53	8.83	48.76	48.77	1.63	530	1,024
16	The NBC-Chulalongkorn hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Camillian hospital-Klongtan hospital-Piyavate hospital-Burachaiyakorn hospital-the NBC	6	363	60.50	21.46	21.47	0.72	3,630	451
Total		79	2,824	40.93	728.25	45.52	24.28	564,800	15,298

APPENDIX D

**RESULTS FROM ROUTE REARRANGEMENT FOR BLOOD
DISTRIBUTION (CONSTRAINED BY MAXIMUM
TRAVEL TIME) DURING JULY 7-12, 2010**

The results in this appendix were derived from the program for designing blood distribution route during July 7-12, 2010. This case specified the maximum travel time of three hours as the constraint. The additional constraints were also defined, such as loading capacity of 600 units, the number of hospitals of no more than six stops, the maximum time of three hours, the average service time of 15 minutes, distribution expense of 200 Baht/unit, distribution expense of 21 Baht/km. The results are shown in Tables D.1-D6.

Table D.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 7th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Nonthavej hospital-Pranangklaow hospital-Chonlaprathan hospital-Mahnam hospital-Chest hospital-Wiphawadee hospital-the NBC	6	171	28.50	2.98	99.44	60.11	34,200	1,262
2	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC	6	79	13.17	2.58	86.11	55.47	15,800	1,165
3	The NBC-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Thonburi 2 hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Phetkasem Bangkok hospital -the NBC	6	72	12.00	3.00	100.00	89.46	14,400	1,879
4	The NBC-Petcharavej hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Mongkutwattana hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC	6	166	27.67	2.97	98.89	64.65	33,200	1,358
5	The NBC-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Ruamchaipracharug hospital-Chularat 9 hospital-Sirinthorn hospital-the NBC	5	40	6.67	2.97	98.89	98.66	8,000	2,072

Table D.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 7th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Vichaiyut hospital-Vajira hospital-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital-Mayo hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC	6	81	13.50	2.85	95.00	65.65	16,200	1,379
7	The NBC-Sukumvit hospital-Camillian hospital-Vibharam hospital-Bangna 1 hospital-the NBC	4	46	7.67	1.88	62.78	52.97	9,200	1,112
8	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Krungthon 1 hospital-the NBC	4	102	17.00	2.10	70.00	57.86	20,400	1,215
9	The NBC-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	2	401	66.83	0.88	29.44	10.50	80,200	220
10	The NBC-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -the NBC	4	105	17.50	1.88	62.78	34.47	21,000	724
11	The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-Prasat Neurological Institute-Mission hospital-the NBC	4	167	27.83	1.12	37.22	13.25	33,400	279
12	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklao hospital-Children hospital-Phyathai 1 hospital-the NBC	4	125	20.83	0.97	32.22	11.61	25,000	244

Table D.1 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 7th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
13	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC	2	23	3.83	0.73	24.44	8.81	4,600	185
14	The NBC-Lerdsin hospital-Navaminthra 2 hospital - Bangpakok 1 hospital -Rajburana hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-the NBC	5	247	41.17	1.20	40.00	25.01	49,400	525
15	The NBC-Police hospital-Veterans General hospital-Bhumibol hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -Central General hospital-the NBC	6	130	21.67	2.98	99.44	68.05	26,000	1,429
16	The NBC-Bangkok Christian hospital-Chaiprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattharin hospital-Samrong General hospital-the NBC	5	38	6.33	2.17	72.22	77.86	7,600	1,635
17	The NBC-Chulalongkorn hospital-Bamrungrad hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Theptarin hospital-the NBC	4	369	61.50	1.08	36.11	16.65	73,800	350
18	The NBC-Nongsuea hospital-the NBC	1	45	7.50	4.57	38.92	128.96	9,000	2,708
	Total	82	2,453	22.71	34.35	72.07	940.09	490,600	19,741

Table D.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 8th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Nonthavej hospital-Pranangklaow hospital-Chonlaprathan hospital-Mahnam hospital-Chest hospital-Wiphawadee hospital-the NBC	6	171	28.50	2.98	99.44	60.11	34,200	1,262
2	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC	6	79	13.17	2.58	86.11	55.47	15,800	1,165
3	The NBC-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Thon buri 2 hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Phetkasem Bangkok hospital -the NBC	6	72	12.00	3.00	100.0	89.46	14,400	1,879
4	The NBC-Petcharavej hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Mongkutwattana hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC	6	166	27.67	2.97	98.89	64.65	33,200	1,358
5	The NBC-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Ruamchaipracharug hospital-Chularat 9 hospital-Sirinthorn hospital-the NBC	5	40	6.67	2.97	98.89	98.66	8,000	2,072

Table D.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 8th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Vichaiyut hospital-Vajjira hospital-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital-Mayo hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC	6	81	13.50	2.85	95.00	65.65	16,200	1,379
7	The NBC-Sukumvit hospital-Camillian hospital-Vibharam hospital-Bangna 1 hospital-the NBC	4	46	7.67	1.88	62.78	52.97	9,200	1,112
8	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Krungthon 1 hospital-the NBC	4	102	17.00	2.10	70.00	57.86	20,400	1,215
9	The NBC-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	2	401	66.83	0.88	29.44	10.50	80,200	221
10	The NBC-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -the NBC	4	105	17.50	1.88	62.78	34.47	21,000	724
11	The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-Prasat Neurological Institute-Mission hospital-the NBC	4	167	27.83	1.12	37.22	13.25	33,400	278
12	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklao hospital-Children hospital-Phyathai 1 hospital-the NBC	4	125	20.83	0.97	32.22	11.61	25,000	244

Table D.2 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 8th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
13	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metro politan Administration General hospital-the NBC	2	23	3.83	0.73	24.44	8.81	4,600	185
14	The NBC-Lerdsin hospital-Navaminthra 2 hospital - Bangkok 1 hospital -Rajburana hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-the NBC	5	247	41.17	1.20	40.00	25.01	49,400	525
15	The NBC-Police hospital-Veterans General hospital -Bhumibol hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -Central General hospital- the NBC	6	130	21.67	2.98	99.44	68.05	26,000	1,429
16	The NBC-Bangkok Christian hospital-Chaiprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattharin hospital-Samrong General hospital-the NBC	5	38	6.33	2.17	72.22	77.86	7,600	1,635
17	The NBC-Chulalongkorn hospital-Bamrungrad hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Theptarin hospital-the NBC	4	369	61.50	1.08	36.11	16.65	73,800	350
18	The NBC-Thammasat University hospital-the NBC	1	40	6.66	3.59	119.66	83.32	8,000	1,750
19	The NBC-Thanyaburi hospital-the NBC	1	31	5.17	3.42	114.00	87.45	6,200	1,836
20	The NBC-Klongluang hospital-the NBC	1	25	4.17	3.81	127.00	105.35	5,000	2,212
	Total	83	2,465	20.54	45.17	75.28	1087.25	493,000	22,832

Table D.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 9th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital- Nonthavej hospital-Pranangklaio hospital- Chonlaprathan hospital-Mahnam hospital-Chest hospital-the NBC	6	185	30.83	3.00	100.00	130.76	37,000	2,746
2	The NBC-Ladprao hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Nawamintra hospital- Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC	6	73	6.00	2.87	95.56	65.31	14,600	1,372
3	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital- Samutprakarn hospital-the NBC	2	8	1.33	1.70	56.67	44.02	1,600	925
4	The NBC-Sirinthon hospital-Chularat 9 hospital- Chularat 1 hospital-Bangna 1 hospital-Kluaynamthai hospital-the NBC	5	62	10.33	2.10	70.00	59.75	12,400	1,255
5	The NBC-Petcharavej hospital-Doctor Panya General hospital-Samitivej (Srinakarini) hospital- Vibharam hospital-Piyavate hospital-Praram 9 hospital-the NBC	6	78	13.00	2.03	67.78	35.26	15,600	741

Table D.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 9th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-the NBC	3	259	43.17	0.87	28.89	10.30	51,800	216
7	The NBC-Sukumvit hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Saimai hospital-Klongtan hospital-Camillian hospital-Theptarin hospital-the NBC	6	61	10.17	2.87	95.56	73.80	12,200	1,550
8	The NBC-Somdejprapinkiao hospital-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangkok 3 hospital-Srivichai 2 hospital-Phyathai 3 hospital -the NBC	6	105	17.50	2.98	99.44	87.92	21,000	1,846
9	The NBC-Ramathibodi hospital-Vichaiyut hospital-Phyathai 2 hospital-Rajavithi hospital-the NBC	4	475	79.17	1.28	42.78	15.53	95,000	326
10	The NBC-Charoenkrung Pracharak hospital-Bangkok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-the NBC	3	81	13.50	1.17	38.89	23.62	16,200	496

Table D.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 9th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
11	The NBC-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Ananpattana hospital-Bangbuathong hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Vajjira hospital-the NBC	5	70	11.67	3.00	100.00	64.91	14,000	1,363
12	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-the NBC	2	12	2.00	0.62	20.56	7.538	2,400	158
13	The NBC-Huachiew hospital-Yanhee 2 hospital-Mongkutwattana hospital-Mayo hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC	5	90	15.00	2.97	98.89	61.69	18,000	1,296
14	The NBC-Mahesak hospital-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Lerdsin hospital-the NBC	4	150	25.00	1.70	56.67	30.01	30,000	630
15	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Chaibrakarn hospital-Saint Louis hospital-the NBC	3	48	8.00	1.43	47.78	33.81	9,600	710
16	The NBC-Police hospital-Pathumvech hospital-Rangsit hospital-B Care Medical Center -Central General hospital-the NBC	5	110	18.33	2.97	98.89	67.19	22,000	1,411

Table D.3 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 9th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
17	The NBC-Chulalongkorn hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Burachathaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	4	489	81.50	1.37	45.56	15.67	97,800	329
18	The NBC-Pathumthani hospital-the NBC	1	11	1.83	3.65	121.70	77.94	2,200	1,637
19	The NBC-Nongsuea hospital-the NBC	1	15	2.50	4.57	152.35	128.96	3,000	2,708
20	The NBC-Thammasat University hospital-the NBC	1	15	2.50	3.59	119.66	83.32	3,000	1,750
21	The NBC-Phatara-thonburi -the NBC	1	8	1.33	3.49	116.42	78.83	1,600	1,655
22	The NBC-Ekpathum hospital-the NBC	1	10	1.67	3.05	101.67	70.31	2,000	1,477
	Total	80	2,417	18.31	53.27	80.71	1,266.52	483,400	26,597

Table D.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 10th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Bamrasradura hospital-Mahnam hospital-Pranangklaio hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC	4	113	18.83	3.00	100.00	57.78	22,600	1,214
2	The NBC-Lat Krabang hospital-Nawaminthra hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Ramkhamhaeng hospital-Samitivej (Srinakarini) hospital-the NBC	6	101	16.83	2.72	90.56	76.16	20,200	1,599
3	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Rattharin hospital-the NBC	3	28	4.67	2.05	68.33	88.63	5,600	1,861
4	The NBC-Thainakarini hospital-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC	3	42	7.00	1.52	50.56	36.88	8,400	775
5	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Bangnot hospital-Nakhonthon hospital-Praram 2 hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Srivichai 2 hospital-the NBC	6	211	35.17	2.37	78.89	120.37	42,200	2,528

Table D.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 10th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
6	The NBC-Vibharam hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Ladpraog hospital-Petcharavej hospital-Praram 9 hospital-the NBC	6	97	16.17	2.77	92.22	58.97	19,400	1,239
7	The NBC-Vichaiyut hospital-Paolo Memorial hospital-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital -Ananpattana hospital-Thonburi 1 hospital-the NBC	6	83	13.83	2.68	89.44	42.57	16,600	894
8	The NBC-Phyathai 2 hospital-Mayo hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -the NBC	4	125	20.83	3.00	100.00	67.46	25,000	1,417
9	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-the NBC	4	113	18.83	0.92	30.56	11.11	22,600	233
10	The NBC-Ramathibodi hospital-Prasat Neurological Institute-Mission hospital-the NBC	3	104	17.33	1.08	36.11	12.91	20,800	271
11	The NBC-Thailand Tobacco Monopoly hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Sukumvit hospital-the NBC	3	20	3.33	1.07	35.56	18.21	4,000	382

Table D.4 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 10th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC	2	107	17.83	0.73	24.44	8.81	21,400	185
13	The NBC-Charoenkrung Pracharak hospital-Bangpakok 1 hospital - Krungthon 2 hospital-Lerdsin hospital-the NBC	4	55	9.17	1.18	39.44	23.94	11,000	503
14	The NBC-Mahasak hospital-Phyathai 3 hospital - Bangphai hospital - Taksin hospital-the NBC	4	32	5.33	1.12	37.22	21.35	6,400	448
15	The NBC-Police hospital-Burachatchaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	3	64	10.67	0.75	25.00	8.98	12,800	189
16	The NBC-Bangkok Christian hospital-BNH hospital-Saint Louis hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Thonburi 2 hospital-Rachapipath hospital-the NBC	6	188	31.33	2.35	78.33	67.41	37,600	1,416
17	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC	3	82	13.67	0.65	21.67	7.80	16,400	164
18	The NBC-Thammasat University hospital-the NBC	1	83	13.83	3.59	119.66	83.32	16,600	1,750
	Total	72	1,577	14.60	59.90	62.11	812.73	315,400	17,068

Table D.5 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 11th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Samitivej (Srinakarin) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Nawamintra hospital-Vejthani hospital-Ladpraio hospital-the NBC	6	129	21.50	2.82	93.89	63.54	25,800	1,334
2	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Samrong General hospital-the NBC	2	23	3.83	1.62	53.89	40.12	4,600	843
3	The NBC-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Bangna 1 hospital-Vibharam hospital-Petcharavej hospital-Camillian hospital-the NBC	6	47	7.83	2.12	70.56	49.73	9,400	1,044
4	The NBC-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-the NBC	2	28	4.67	1.12	37.22	22.52	5,600	473
5	The NBC-Sukumvit hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	5	46	7.67	2.98	99.44	70.32	9,200	1,477
6	The NBC-Bamrasnaradura hospital-Chonlaprathan hospital-Pranangklaio hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Vichaiyut hospital-National Cancer Institute-the NBC	6	163	27.17	2.97	98.89	54.66	32,600	1,148

Table D.5 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 11th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
7	The NBC-Phyathai 3 hospital -Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Praram 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-Lersin hospital-the NBC	6	111	18.50	2.07	68.89	60.36	22,200	1,268
8	The NBC-Huachiew hospital-Mission hospital-Yanhee 2 hospital-Thonburi 1 hospital-Taksin hospital-Saint Louis hospital-the NBC	6	181	30.17	2.13	71.11	32.96	36,200	692
9	The NBC-Police hospital-Pathumvech hospital-Mayo hospital-the NBC	3	29	4.83	2.97	98.89	66.46	5,800	1,396
10	The NBC-Bangkok Christian hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Praram 9 hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	4	46	7.67	1.35	45.00	19.05	9,200	400
11	The NBC-Chulalongkorn hospital-Phyathai 1 hospital-Rajavithi hospital-Children hospital-Phramongkutklao hospital-Ramathibodi hospital-the NBC	6	347	57.83	1.02	33.89	12.25	69,400	257
12	The NBC- Pathumthani hospital-the NBC	1	7	116.67	3.65	121.70	77.94	1,400	1,637
	Total	53	1,176	16.33	26.80	74.44	569.95	235,200	11,969

Table D.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 12th July 2010

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC	6	105	17.50	2.68	89.44	58.29	21,000	1,224
2	The NBC-Bangphli hospital-Chularat 3 hospital-Bangna 2 hospital-Chularat 9 hospital-the NBC	4	36	6.00	2.57	85.56	82.72	7,200	1,737
3	The NBC-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC	2	7	1.17	1.48	49.44	35.59	1,400	747
4	The NBC-Veterans General hospital-Wiphawadee hospital-Chonlaprathan hospital-Mahnam hospital-Mongkutwattana hospital-Mayo hospital-the NBC	6	69	11.50	2.93	97.78	59.94	13,800	1,259
5	The NBC-Petcharavej hospital-Seriruk hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-the NBC	4	48	8.00	2.98	99.44	73.32	9,600	1,540
6	The NBC-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Chaiphakarn hospital-the NBC	3	46	7.67	1.80	60.00	47.89	9,200	1,006

Table D.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 12th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
7	The NBC-Piyavate hospital-Doctor Panya General hospital-Samitivej (Srinakarini) hospital-Vibharam hospital-Klongtan hospital-Camillian hospital-the NBC	6	49	8.17	2.12	70.56	71.93	9,800	1,511
8	The NBC-Vichaiyut hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Pranangklaow hospital-Yanhee 2 hospital-Ananpattana hospital-the NBC	5	154	25.67	3.00	100.00	70.95	30,800	1,490
9	The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-National Cancer Institute-the NBC	3	369	61.50	0.88	29.44	19.22	73,800	404
10	The NBC-Mission hospital-Vajjira hospital-Chaophya hospital-Srivichai 1 hospital-Thonburi 1 hospital-Taksin hospital-the NBC	6	185	30.83	1.83	61.11	30.51	37,000	641
11	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklao hospital-Children hospital-Phyathai 1 hospital-the NBC	4	370	61.67	0.97	32.22	11.61	74,000	244
12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC	2	100	16.67	0.73	24.44	8.81	20,000	185

Table D.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 12th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
13	The NBC-Lerdsin hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Rajburana hospital-Krunghon 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-Somdejprapinklao hospital-the NBC	6	384	64.00	1.30	43.33	27.77	76,800	583
14	The NBC-Saint Louis hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-the NBC	4	75	12.50	1.92	63.89	50.56	15,000	1,062
15	The NBC-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital - Mahesak hospital-the NBC	3	65	10.83	1.07	35.56	20.06	13,000	421
16	The NBC-Police hospital-Pathumvech hospital-Rangsit hospital-B Care Medical Center -Bangkok Cancer Center-the NBC	5	45	7.50	2.98	99.44	67.06	9,000	1,408
17	The NBC-Bangkok Christian hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Burachathaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC	4	91	15.17	1.33	44.44	17.68	18,200	371
18	The NBC-Chulalongkorn hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC	3	570	95.00	1.35	45.00	16.08	114,000	338
19	The NBC- Pathumthani hospital-the NBC	1	12	2.00	3.65	121.70	77.94	2,400	1,637

Table D.6 Results from route rearrangement for blood distribution constrained by the maximum travel time of three hours on 12th July 2010 (Cont.)

Route no.	Delivery route	Number of stops	Demand (Units)	Van utilization (%)	Travel time (Hours)	Time utilization (%)	Distance (km)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
20	The NBC- Thammasat University hospital-the NBC	1	36	6.00	3.59	119.66	83.32	7,200	1,750
21	The NBC- Phatara-thonburi -the NBC	1	3	0.50	3.49	116.42	78.83	600	1,655
	Total	79	2,824	22.41	44.67	70.90	1,010.13	564,800	21,213

APPENDIX E
PLANNED DELIVERY SCHEDULE ROUTES CONSTRAINED
ON 100-KM MAXIMUM DISTANCE, JULY 7-12, 2010

The results in this appendix were planned delivery schedule routes during July 7-12, 2010. This case specified the maximum distance of 100 km as the constraint. The new system is designed so that each vehicle can deliver blood for two trips per day, which are during 09.00 – 12.00 a.m. and during 01.00 – 04.00 p.m. The plans are shown in Tables E.1-E6.

Table E.1 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 7th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	2	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Chularat 3 hospital-Bangna 2 hospital-Chularat 9 hospital-Vibharam hospital-the NBC (3.21 hours)		15	The NBC-Bangkok Christian hospital-Saint Louis hospital-Mahesak hospital-the NBC (0.25 hours)	
2	4	The NBC-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Central General hospital-Bhumibol hospital-Ekpatum hospital-Pathumthani hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC (3.31 hours)		9	The NBC-Phyathai 2 hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC (0.52 hours)	
3	6	The NBC-Veterans General hospital-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Phatara-thonburi - Pathumvech hospital-Rangsit hospital-the NBC (3.27 hours)		12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC (0.29 hours)	
4	5	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Srivichai 2 hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-the NBC (3.18 hours)		16	The NBC-Chulalongkorn hospital-Burachachaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-Theptarin hospital-the NBC (0.53 hours)	
5	3	The NBC-Ananpattana hospital-Pranangklaow hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaprathan hospital-Bamrasnaradura hospital-the NBC (2.28 hours)		11	The NBC-Vajjira hospital-Metropolitan Electricity Authority hospital-Vichaiyut hospital-Prasat Neurological Institute-Ramathibodi hospital-Priest hospital-the NBC (0.67 hours)	

Table E.1 Planned Delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 7th 2010 (Cont.)

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route	Route No.	Delivery route	Route No.
6	1	The NBC-Vejthani hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC (1.98 hours)	8	The NBC-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Camillian hospital-Klongtian hospital-Petcharavej hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Doctor Panya General hospital-the NBC (1.13 hours)	
7	7	The NBC-Sukumvit hospital-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-Samrong General hospital-the NBC (1.48 hours)	13	The NBC-Lerdsin hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-Navaminthra 2 hospital -Krungthon 1 hospital-the NBC (0.85 hours)	
8	14	The NBC-Police hospital-Phyathai 1 hospital-Rajavithi hospital-Children hospital-Phramongkutkiao hospital-the NBC (0.37 hours)	10	The NBC-Mission hospital-Y anhee 2 hospital-Chaophya hospital-Thonburi 1 hospital-Bangphai hospital -Taksin hospital-the NBC (1.30 hours)	

Table E.2 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 8th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	8	The NBC-Thainakar in hospital-Ruamchaipracharug hospital-Chularat 9 hospital-Sirinthon hospital-Sukumvit hospital-Theptarin hospital-the NBC (3.31 hours)			-	
2	2	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Mongkutwattana hospital-Pathumthani hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaprathan hospital-the NBC (3.17 hours)		13	The NBC-Police hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (0.24 hours)	
3	5	The NBC-Veterans General hospital-Pathumvech hospital-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Wiphawadee hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC (3.28 hours)		11	The NBC-Phyathai 1 hospital-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (0.44 hours)	
4	9	The NBC-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Thanyaburi hospital-B Care Medical Center -Bhumibol hospital-Central General hospital-Mayo hospital-the NBC (3.08 hours)		10	The NBC-Mission hospital-Vajjira hospital-Vichaiyut hospital-Prasat Neurological Institute-Ramathibodi hospital-Priest hospital-the NBC (0.64 hours)	
5	4	The NBC-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital-Nonthavej hospital-Pranangkiao hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Thonburi 2 hospital-the NBC (2.50 hours)		15	The NBC-Bangpakok 1 hospital -Navaminthra 2 hospital -Rajburana hospital-Lerdsin hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC (0.82 hours)	

Table E.2 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 8th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
6	3	The NBC-Samrong General hospital-Chaiprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattharin hospital-Bangna 1 hospital-Kluaynamthai hospital-the NBC (2.29 hours)	12	The NBC-Taksin hospital-Phyathai 3 hospital-Bangphai hospital -Thonburi 1 hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Huachiew hospital-the NBC (0.91 hours)
7	1	The NBC-Vejthani hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhaphibal 3 hospital-the NBC (2.06 hours)	6	The NBC-Camillian hospital-Petcharavej hospital-Vibharam hospital-Samitivej (Srinakarim) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Ladprao hospital-the NBC (1.34 hours)
8	7	The NBC-Krungthon 1 hospital-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-the NBC (1.92 hours)	14	The NBC-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Phetkasem Bangkok hospital - Bangkok Christian hospital-the NBC (1.67 hours)

Table E.3 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 9th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	1	The NBC-Saimai hospital-Ekpatum hospital-Pathumthani hospital-the NBC (3.33 hours)		12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC (0.29 hours)	
2	2	The NBC-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Phatara-thonburi - Pathumvech hospital-Rangsit hospital-B Care Medical Center -the NBC (3.30 hours)		14	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-Police hospital-the NBC (0.30 hours)	
3	7	The NBC-Somdejprapinklao hospital-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Srivichai 2 hospital-Phyathai 3 hospital -the NBC (2.93 hours)		13	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (0.51 hours)	
4	5	The NBC-Mayo hospital-Central General hospital-Mongkutwattana hospital-Mahnum hospital-Chest hospital-Chonlaprathan hospital-the NBC (2.33 hours)		8	The NBC-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Camilian hospital-Klongtan hospital-Petcharavej hospital-Doctor Panya General hospital-Piyavate hospital-the NBC (0.82 hours)	
5	6	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangklaio hospital-Bangbuathong hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Ananpattana hospital-the NBC (2.28 hours)		16	The NBC-Mahesak hospital-Bangpakok 1 hospital - Krungthon 2 hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Lerdsin hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC (0.83 hours)	

Table E.3 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 9th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route		Delivery route	
6	4	The NBC-Samitivej (Srinakarim) hospital-Vibharam hospital-Sirinthon hospital-Chularat 9 hospital-Chularat 1 hospital-Bangna 1 hospital-the NBC (2.12 hours)	11	The NBC-Burachatchaiyakorn hospital-Praram 9 hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC (1.00 hours)	
7	3	The NBC-Ladprao hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Navaminthra hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC (2.04 hours)	10	The NBC-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Yanhee 2 hospital-Vajjira hospital-Vichaiyut hospital-Ramathibodi hospital-the NBC (1.12 hours)	
8	9	The NBC-Theptarin hospital-Sukumvit hospital-Kluaynamthai hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Samutprakarn hospital-the NBC (1.64 hours)	15	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Chaiprakarn hospital-Saint Louis hospital-the NBC (1.13 hours)	

Table E.4 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 10th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	4	The NBC-Mayo hospital-B Care Medical Center - Pathumvech hospital-Thammasat University hospital-Navanakorn General hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC (3.33 hours)		-		
2	1	The NBC-Lat Krabang hospital-Seriruk hospital-Lat Krabang hospital-Navaminthra 9 hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-the NBC (2.73 hours)		13	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-Police hospital-the NBC (0.30 hours)	
3	2	The NBC-Nakhonthon hospital-Praram 2 hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-the NBC (2.43 hours)		8	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklo hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (0.41 hours)	
4	3	The NBC-Yanhee 2 hospital-Bamrasnaradura hospital-Mahnum hospital-Pranangklo hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Bangpo General hospital-the NBC (2.11 hours)		7	The NBC-Ramathibodi hospital-Prasat Neuro-logical Institute-Vichaiyut hospital-the NBC (0.46 hours)	
5	10	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Rattharin hospital-Thailand Tobacco Monopoly hospital-the NBC (2.02 hours)		15	The NBC-Chulalongkorn hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Burachachaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (0.55 hours)	

Table E.4 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 10th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
6	9	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Thonburi 1 hospital-Thonburi 2 hospital-Ananpattana hospital-Mission hospital-the NBC (1.63 hours)	12	The NBC-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Mahesak hospital-the NBC (0.80 hours)
7	6	The NBC-Petcharavej hospital-Vibharam hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Ramkhamaeng hospital-Ladprao hospital-Praram 9 hospital-the NBC (1.31 hours)	14	The NBC-Taksin hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -Saint Louis hospital-BNH hospital-Bangkok Christian hospital-the NBC (0.81 hours)
8	5	The NBC-Sukumvit hospital-Thainakarin hospital-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC (1.28 hours)	11	The NBC-Bangmot hospital-Bangkok International 9 hospital-Lerdsin hospital-the NBC (1.07 hours)

Table E.5 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 11th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	2	The NBC-Chonlaphrathan hospital-Pathumthani hospital-Pathumvech hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-Mayo hospital-the NBC (3.32 hours)			-	
2	1	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Lat Krabang hospital-Ramkhamhaeng hospital-Samitivej (Srinakarini) hospital-the NBC (2.02 hours)		10	The NBC-Saint Louis hospital-Bangkok Christian hospital-the NBC (0.19 hours)	
3	4	The NBC-Thonburi 1 hospital-Phyathai 3 hospital -Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Praram 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-the NBC (2.14 hours)		9	The NBC-Police hospital-Phyathai 1 hospital-Rajavithi hospital-Children hospital-Phramongkutkiao hospital-the NBC (0.37 hours)	
4	6	The NBC-Yanhee 2 hospital-Bamrasnaradura hospital-Pranangkla hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Praram 9 hospital-the NBC (2.01 hours)		11	The NBC-Bamrungrad hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC (0.49 hours)	
5	3	The NBC-Camillian hospital-Petcharavej hospital-Vibharam hospital-Thainakarini hospital-Bangna 1 hospital-Kluaynamthai hospital-the NBC (1.52 hours)		7	The NBC-Huachiew hospital-Mission hospital-Ramathibodi hospital-National Cancer Institute-Vichaiyut hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (0.62 hours)	
6	5	The NBC-Sukumvit hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Samrong General hospital-the NBC (1.43 hours)		8	The NBC-Lerdsin hospital-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-Taksin hospital-the NBC (0.86 hours)	

Table E.6 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 12th 2010

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route		Delivery route	Delivery route
1	3	The NBC-B Care Medical Center -Rangsit hospital-Thammasat University hospital-Phatara-thonburi - Pathumvech hospital-Wiphawadee hospital-the NBC (3.20 hours)	8	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (0.41 hours)	
2	5	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Mongkutwattana hospital-Mahnum hospital-Pathumthani hospital-Chonlaprathan hospital-Pranangkla hospital-the NBC (3.20 hours)	14	The NBC-Mission hospital-Ramathibodi hospital-Priest hospital-Phyathai 1 hospital-Police hospital-the NBC (0.50 hours)	
3	4	The NBC-Bangphli hospital-Chularat 3 hospital-Bangna 2 hospital-Chularat 9 hospital-Vibharam hospital-Samitivej (Srinakarini) hospital-the NBC (2.98 hours)	10	The NBC-Bamrungrad hospital-Veterans General hospital-Bangkok Cancer Center-the NBC (0.65 hours)	
4	6	The NBC-Petcharavej hospital-Doctor Panya General hospital-Ladprao hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-Mayo hospital-the NBC (2.31 hours)	16	The NBC-Chulalongkorn hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Camillian hospital-Klongtan hospital-Piyavate hospital-Burachachaiyakorn hospital-the NBC (0.72 hours)	
5	2	The NBC-Vejthani hospital-Synphaet hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC (1.98 hours)	12	The NBC-Taksin hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -Saint Louis hospital-the NBC (0.77hours)	

Table E.6 Planned delivery schedule route constrained on 100-km maximum distance, July 12th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
6	15	The NBC-Bangkok Christian hospital-Chaiprakarn hospital-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-the NBC (1.63 hours)	11	The NBC-Lerdsin hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Rajburana hospital -Krungthon 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-Somdejprapinklao hospital-the NBC (0.93 hours)
7	13	The NBC-Mahesak hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-the NBC (1.63 hours)	9	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Srivichai 1 hospital-Thonburi 1 hospital-the NBC (1.02 hours)
8	1	The NBC-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC (1.19 hours)	7	The NBC-Chaophya hospital-Ananpattana hospital-Yanhee 2 hospital-Vajjira hospital-Vichaiyut hospital-National Cancer Institute-the NBC (1.17 hours)

APPENDIX F
PLANNED DELIVERY SCHEDULE ROUTES CONSTRAINED
ON THREE-HOUR TRAVEL TIME, JULY 7-12, 2010

The results in this appendix were planned delivery schedule routes during July 7-12, 2010. The vehicle can deliver blood for two trips per day, which are during 09.00 – 12.00 a.m. and during 01.00 – 04.00 p.m. Each trip is designed to take no longer than three hours, and comprises no more than six stops. The plans are shown in Tables F.1-F.6.

Table F.1 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 7th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
		Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
1	18	13	The NBC-Nongsuea hospital-the NBC (4.57 hours)	13	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC (0.73 hours)
2	3	9	The NBC-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Thonburi 2 hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Phetkasem Bangkhae hospital -the NBC (3.00 hours)	9	The NBC-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (0.88 hours)
3	15	12	The NBC-Police hospital-Veterans General hospital-Bhumibol hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -Central General hospital-the NBC (2.98 hours)	12	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Phyathai 1 hospital-the NBC (0.97 hours)
4	1	17	The NBC-Nonthavej hospital-Pranangkao hospital-Chonlaprathan hospital-Mahnam hospital-Chest hospital-Wiphawadee hospital-the NBC (2.98 hours)	17	The NBC-Chulalongkorn hospital-Bamrungrad hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Theptarin hospital-the NBC (1.08 hours)
5	4	11	The NBC-Petcharavej hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Mongkutwattana hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC (2.97 hours)	11	The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-Prasat Neurological Institute-Mission hospital-the NBC (1.12 hours)

Table F.1 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 7th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
6	5	The NBC-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Ruamchaipracharug hospital-Chularat 9 hospital-Sirinthorn hospital-the NBC (2.97 hours)	14	The NBC-Lerdsin hospital-Navaminthra 2 hospital -Bangpakok 1 hospital -Rajburana hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-the NBC (1.20 hours)
7	2	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC (2.58 hours)	7	The NBC-Sukumvit hospital-Camillian hospital-Vibharam hospital-Bangna 1 hospital-the NBC (1.88 hours)
8	6	The NBC-Vichaiyut hospital-Vajjira hospital-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital-Mayo hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC (2.85 hours)	10	The NBC-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -the NBC (1.88 hours)
9	16	The NBC-Bangkok Christian hospital-Chaiprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattharin hospital-Samrong General hospital-the NBC (2.17 hours)	8	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Krungthon 1 hospital-the NBC (2.10 hours)

Note: Observe that the estimated travel time of route number 18 is 4.57 hours, which exceeds three hours. There is only one hospital on the route; i.e., Nongsuea hospital. Meanwhile, the route number 13 takes only 0.73 hours. Therefore, these two routes may be merged into one. The resulting route is the NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Nongsuea hospital-the NBC. The total travel time is 5.21 hours.

Table F.2 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 8th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
			Delivery route			Delivery route
1	20		The NBC-Klongluang hospital-the NBC (3.81 hours)			
	18		The NBC-Thammasat University hospital-the NBC (3.59 hours)			
	19		The NBC-Thanyaburi hospital-the NBC (3.42 hours)	13		The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC (0.73 hours)
2	3		The NBC-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-Thon buri 2 hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Phetkasem Bangkhae hospital -the NBC (3.00 hours)	9		The NBC-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (0.88 hours)
3	1		The NBC-Nonthavej hospital-Pranangkla hospital-Chonlaphathan hospital-Mahnam hospital-Chest hospital-Wiphawadee hospital-the NBC (2.98 hours)	12		The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklao hospital-Children hospital-Phyathai 1 hospital-the NBC (0.97 hours)
4	5		The NBC-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Ruamchaipracharug hospital-Chularat 9 hospital-Sirinthorn hospital-the NBC (2.97 hours)	17		The NBC-Chulalongkorn hospital-Bamrungrad hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Theptarin hospital-the NBC (1.08 hours)
5	15		The NBC-Police hospital-Veterans General hospital-Bhumibol hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -Central General hospital-the NBC (2.98 hours)	11		The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-Prasat Neurological Institute-Mission hospital-the NBC (1.12 hours)

Table F.2 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 8th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
7	4	The NBC-Petcharavej hospital-Samitivej (Srinakarini) hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Mongkutwattana hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC (2.97 hours)	14	The NBC-Lerdsin hospital-Navaminthra 2 hospital -Bangpakok 1 hospital -Rajburana hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-the NBC (1.20 hours)
8	6	The NBC-Vichaiyut hospital-Vajjira hospital-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital-Mayo hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC (2.85 hours)	10	The NBC-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -the NBC (1.88 hours)
9	2	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC (2.58 hours)	7	The NBC-Sukumvit hospital-Camilian hospital-Vibharam hospital-Bangna 1 hospital-the NBC (1.88 hours)
10	16	The NBC-Bangkok Christian hospital-Chaiprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Rattharin hospital-Samrong General hospital-the NBC (2.17 hours)	8	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Krunghthon 1 hospital-the NBC (2.10 hours)

Note: Observe that the estimated travel time of route numbers 18, 19 and 20 exceed three hours. There is only one hospital in each route. Since, they are closed and located in Pathumthani. Therefore, these three routes are merged into one. The resulting route is the NBC-Thammasat University hospital-Thanyaburi hospital-Klongluang hospital-the NBC. The estimated travel time is 4.93 hours. A vehicle is assigned to take this route delivery in the morning, then comes back to complete the day with the delivery route number 13 (0.73 hours) in the afternoon.

Table F.3 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 9th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	19	The NBC-Nongsuea hospital-the NBC (4.57 hours)				
	18	The NBC-Pathumthani hospital-the NBC (3.65 hours)				
	20	The NBC-Thammasat University hospital-the NBC (3.59 hours)				
2	21	The NBC-Phatara-thonburi -the NBC (3.49 hours)				
	22	The NBC-Ekpathum hospital-the NBC (3.05 hours)				
	3	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Samutprakarn hospital-the NBC (3.49 hours)				
3	1	The NBC-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Nonthavej hospital-Pranangklaio hospital-Chonlaprathan hospital-Mahnam hospital-Chest hospital-the NBC (3.00 hours)		12	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-the NBC (0.62 hours)	
4	4	The NBC-Sirinthorn hospital-Chularat 9 hospital-Chularat 1 hospital-Bangna 1 hospital-Kluaynamthai hospital-the NBC (3.00 hours)		6	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutklao hospital-Children hospital-the NBC (0.87 hours)	
5	11	The NBC-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-Ananpattana hospital-Bangbuathong hospital-Kasemrad Rattanaibeth hospital-Vajjira hospital-the NBC (3.00 hours)		10	The NBC-Charoenkrung Pracharak hospital-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-the NBC (1.17 hours)	

Table F.3 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 9th 2010 (Cont.)

Vehicle number	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
	Route No.	Delivery route	Route No.	Delivery route
6	8	The NBC-Somdejprapinklae hospital-Bangkok International 9 hospital-Nakhonthon hospital-Bangpakok 3 hospital-Srivichai 2 hospital-Phyathai 3 hospital -the NBC (2.98 hours)	9	The NBC-Ramathibodi hospital-Vichaiyut hospital-Phyathai 2 hospital-Rajavithi hospital-the NBC (1.28 hours)
7	13	The NBC-Huachiew hospital-Yanhee 2 hospital-Mongkutwattana hospital-Mayo hospital-Paolo Memorial hospital-the NBC (2.97 hours)	17	The NBC-Chulalongkorn hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Burachachaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (1.37 hours)
8	16	The NBC-Police hospital-Pathumvech hospital-Rangsit hospital-B Care Medical Center -Central General hospital-the NBC (2.97 hours)	15	The NBC-Mueangsamutpuchao hospital-Chaiprakarn hospital-Saint Louis hospital-the NBC (1.43 hours)
9	2	The NBC-Ladprao hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Nawamintra hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC (2.87 hours)	14	The NBC-Mahesak hospital-Taksin hospital-Thonburi 1 hospital-Lerdsin hospital-the NBC (1.70 hours)
10	7	The NBC-Sukumvit hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Saimai hospital-Klongtan hospital-Camilian hospital-Theptarin hospital-the NBC (2.87 hours)	5	The NBC-Petcharavej hospital-Doctor Panya General hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Vibharam hospital-Piyavate hospital-Praram 9 hospital-the NBC (2.03 hours)

Note: Observe that the estimated travel time of route numbers 18, 19, 20, 21 and 22 exceed three hours. There is only one hospital in each route. Since, they are closed and located in Pathumthani. Therefore, these five routes are merged into one. The resulting route is the NBC-Ekpathum hospital-Pathumthani hospital-Thammasat University hospital-Nongsuea hospital-Phatara-thonburi-the NBC. The estimated travel time is 6.32 hours.

Table F.4 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 10th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	18	The NBC-Thammasat University hospital-the NBC (3.59 hours)		17	The NBC-Phyathai 1 hospital-Decha hospital-Chulalongkorn hospital-the NBC (0.65 hours)	
2	1	The NBC-Bamrasradura hospital-Mahnam hospital-Pranangkao hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-the NBC (3.00 hours)		12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC (0.73 hours)	
3	8	The NBC-Phyathai 2 hospital-Mayo hospital-Pathumvech hospital-B Care Medical Center -the NBC (3.00 hours)		15	The NBC-Police hospital-Burachachaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (0.75 hours)	
4	6	The NBC-Vibharam hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Ladprao hospital-Petcharavej hospital-Praram 9 hospital-the NBC (2.77 hours)		9	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Rajavithi hospital-the NBC (0.92 hours)	
5	2	The NBC-Lat Krabang hospital-Nawaminthra hospital-Navaminthra 9 hospital-Seriruk hospital-Ramkhamhaeng hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-the NBC (2.72 hours)		11	The NBC-Thailand Tobacco Monopoly hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Sukumvit hospital-the NBC (1.07 hours)	
6	7	The NBC-Vichaiyut hospital-Paolo Memorial hospital-Bangpo General hospital-Yanhee 2 hospital-Ananpattana hospital-Thonburi 1 hospital-the NBC (2.68 hours)		10	The NBC-Ramathibodi hospital-Prasat Neurological Institute-Mission hospital-the NBC (1.08 hours)	

Table F.4 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 10th 2010 (Cont.)

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
7	5	The NBC-Bangkok International 9 hospital-Bangmot hospital-Nakhonthon hospital-Praram 2 hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Srivichai 2 hospital-the NBC (2.37 hours)		14	The NBC-Mahesak hospital-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -Taksin hospital-the NBC (1.12 hours)	
8	16	The NBC-Bangkok Christian hospital-BNH hospital-Saint Louis hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Thonburi 2 hospital-Rachapipath hospital-the NBC (2.35 hours)		13	The NBC-Charoenkrung Pracharak hospital-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-Lerdsin hospital-the NBC (1.18 hours)	
9	3	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Rattharin hospital-the NBC (2.05 hours)		4	The NBC-Thainakarin hospital-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC (1.52 hours)	

Table F.5 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 11th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route	Route No.	Delivery route	Route No.
1	12	The NBC-Pathumthani hospital-the NBC (3.65 hours)	11	The NBC-Chulalongkorn hospital-Phyathai 1 hospital-Rajavithi hospital-Children hospital-Phramongkutkloa hospital-Ramathibodi hospital-the NBC (1.02 hours)	
2	5	The NBC-Sukumvit hospital-Paolo Memorial chokchai 4 hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (2.98 hours)	3	The NBC-Kluaynamthai hospital-Thainakarin hospital-Bangna 1 hospital-Vibharam hospital-Petcharavej hospital-Camillian hospital-the NBC (2.12 hours)	
3	9	The NBC-Police hospital-Pathumvech hospital-Mayo hospital-the NBC (2.97 hours)	4	The NBC-Bangpakok 1 hospital -Krungthon 2 hospital-the NBC (1.12 hours)	
4	6	The NBC-Bamrasnaradura hospital-Chonlaprathan hospital-Pranangkla hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Vichaiyut hospital-National Cancer Institute-the NBC (2.97 hours)	8	The NBC-Huachiew hospital-Mission hospital-Yanhee 2 hospital-Thonburi 1 hospital-Taksin hospital-Saint Louis hospital-the NBC (2.13 hours)	
5	1	The NBC-Samitivej (Srinakarin) hospital-Ramkhamhaeng hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Nawamintra hospital-Vejithani hospital-Ladprao hospital-the NBC (2.82 hours)	10	The NBC-Bangkok Christian hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Praram 9 hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (1.35 hours)	
6	7	The NBC-Phyathai 3 hospital -Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Luangpho Thaweesak hospital-Praram 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-Lerdsin hospital-the NBC (2.07 hours)	2	The NBC-Mueangsamut Paknam hospital-Samrong General hospital-the NBC (1.62 hours)	

Table F.6 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 12th 2010

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		Route No.	01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route			Delivery route	
1	19	The NBC- Pathumthani hospital-the NBC (3.65 hours)			-	
	20	The NBC-Thammasat University hospital-the NBC (3.59 hours)				
	21	The NBC- Phatara-thonburi -the NBC (3.49 hours)				
2	8	The NBC-Vichaiyut hospital-Kasemrad 2 Prachachuen hospital-Pranangklae hospital-Yanhee 2 hospital -Ananpattana hospital-the NBC (3.00 hours)		12	The NBC-Huachiew hospital-Bangkok Metropolitan Administration General hospital-the NBC (0.73 hours)	
	5	The NBC-Petcharavej hospital-Seriruk hospital-Saimai hospital-Bhumibol hospital-the NBC (2.98 hours)		9	The NBC-Priest hospital-Ramathibodi hospital-National Cancer Institute-the NBC (0.88 hours)	
4	16	The NBC-Police hospital-Pathumvech hospital-Rangsit hospital-B Care Medical Center -Bangkok Cancer Center-the NBC (2.98 hours)		11	The NBC-Hospital for Tropical Diseases-Phramongkutkiao hospital-Children hospital-Phyathai 1 hospital-the NBC (0.97 hours)	
5	4	The NBC-Veterans General hospital-Wiphawadee hospital-Chonlaphathan hospital-Mahnam hospital-Mongkutwattana hospital-Mayo hospital-the NBC (2.93 hours)		15	The NBC-Phyathai 3 hospital -Bangphai hospital -Mahesak hospital-the NBC (1.07 hours)	
6	1	The NBC-Ladprao hospital-Vejthani hospital-Nopparat Rajathanee hospital-Synphaet hospital-Kasemrad Sukhapibal 3 hospital-Ramkhamhaeng hospital-the NBC (2.68 hours)		13	The NBC-Lerdsin hospital-Charoenkrung Pracharak hospital-Rajburana hospital-Krungthon 2 hospital-Bangkok International 9 hospital-Somdejrapinkiao hospital-the NBC (1.30 hours)	

Table F.6 Planned delivery schedule route constrained on three-hour maximum travel time, July 12th 2010 (Cont.)

Vehicle number	Route No.	09.00 – 12.00 a.m.		01.00 – 04.00 p.m.	
		Delivery route		Delivery route	
7	2	The NBC-Bangphli hospital-Chularat 3 hospital-Bangna 2 hospital-Chularat 9 hospital-the NBC (2.57 hours)	17	The NBC-Bangkok Christian hospital-Samitivej (Sukhumvit) hospital-Burachachaiyakorn hospital-Bamrungrad hospital-the NBC (1.33 hours)	
8	7	The NBC-Piyavate hospital-Doctor Panya General hospital-Samitivej (Srinakarin) hospital-Vibharam hospital-Klongtan hospital-Camillian hospital-the NBC (2.12 hours)	18	The NBC-Chulalongkorn hospital-Rajavithi hospital-Phyathai 2 hospital-the NBC (1.35 hours)	
9	14	The NBC-Saint Louis hospital-Kasemrad 1 (Bangkhae) hospital-Srivichai 2 hospital-Rachapipath hospital-the NBC (1.92 hours)	3	The NBC-Sikarin hospital-Bangna 1 hospital-the NBC (1.48 hours)	
10	10	The NBC-Mission hospital-Vajira hospital-Chaophya hospital-Srivichai 1 hospital-Thonburi 1 hospital-Taksin hospital-the NBC (1.83 hours)	6	The NBC-Paolomemorial Samutprakarn hospital-Mueangsamut Paknam hospital-Chaiprakarn hospital-the NBC (1.80 hours)	

Note: Observe that the estimated travel time of route numbers 19, 20 and 21 exceed three hours. These three routes are merged into one because they are closed and located in Pathumthani. The resulting route is the NBC-Pathumthani hospital-Thammasat University hospital-Phatara-thonburi-the NBC. The estimated travel time is 4.56 hours.

APPENDIX G
A CERTIFICATION OF BEST PAPER AWARD (HONORARY MENTION) FROM THE NATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING 2010



Figure G.1 A certification of best paper award (honorary mention) from the National Conference on Industrial Engineering 2010

APPENDIX H
A PUBLICATION IN THE NATIONAL CONFERENCE ON
INDUSTRIAL ENGINEERING 2010



การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมแห่งชาติ 2010
 เพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เนื่องในวโรกาสทรงพระชนมายุ 84 พรรษา

**ประเด็นปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
 และปริมณฑล กรณีศึกษาของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย**

**Issues and Framework for Improving the Efficiency of Blood Distribution in Bangkok
 Metropolitan Area: A Case Study of the National Blood Center, Thai Red Cross Society**

บทคัดย่อ : ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดหาและให้บริการโลหิตแก่โรงพยาบาลที่มีความต้องการใช้โลหิตสำหรับคนไข้ โดยคำนึงถึงความรวดเร็วและความปลอดภัยเป็นหัวใจสำคัญของภารกิจ บทความนี้กล่าวถึงผลการศึกษาข้อมูลภาคสนามของโลหิตในส่วนของการกระจายโลหิตจากศูนย์ฯ ไปให้กับโรงพยาบาลต่างๆ ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร การสำรวจข้อมูลภาคสนามทำในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม 2553 โดยพบว่าในแต่ละวันจะมีโรงพยาบาลประมาณ 80 แห่งส่งยานพาหนะมาขอรับโลหิตจากศูนย์ฯ มากกว่า 100 เที่ยว แต่ละเที่ยวได้รับโลหิตไประหว่าง 1 ถึง 300 ถุง จึงเห็นได้ชัดเจนว่าทุกวันจะมีปริมาณรถเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นมากมายทั้งขาไปและขากลับซึ่งบรรทุกได้น้อยมากเมื่อเทียบกับความจุของยานพาหนะ ผลการวิเคราะห์ได้คำนวณให้เห็นมูลค่าของความสูญเสียอันสืบเนื่องมาจากระบบการกระจายโลหิตตามสภาพปัจจุบัน โดยได้เสนอแนวคิดในการลดจำนวนรถเที่ยวเปล่า ลดต้นทุนการกระจายโลหิต ลดการสูญเสียโอกาสในการใช้ยานพาหนะของโรงพยาบาลเพื่อกิจการอื่นที่มีค่ากว่า อันเป็นการปรับปรุงการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพมหานครให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณภาพทางการแพทย์ที่ได้มาตรฐานสากล

ABSTRACT: The National Blood Center (NBC), Thai Red Cross Society is responsible for providing blood and blood products to hospitals that need them. To accomplish the task, NBC cares most about speed and medical safety. This paper discusses the supply chain of blood and its distribution to hospitals in the Bangkok Metropolitan Region (BMR). The data is based on field survey results during June to August 2010. In brief, it was found that on daily basis, there were about 80 hospitals dispatching their variety of vehicles of more than 100 trips daily to pick up 1 – 300 blood bags. It is obvious that such distribution creates many empty movements from both front- and back-haul, as compared to the vehicle capacity. We estimated the monetary and opportunity loss due to these empty movements. In addition, the framework for reducing the loss and improving the distribution efficiency was proposed.

KEYWORDS: Blood, National Blood Center, Distribution, Milk run, Blood supply chain

ห่วงโซ่อุปทานโลหิต จะเป็นขั้นตอนเชื่อมกันตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ คือ เริ่มตั้งแต่โลหิตของผู้บริจาคโลหิตไปจนถึงผู้รับโลหิต ขั้นสุดท้าย [3] ในกระบวนการทั้งหมดนี้จะเห็นว่ามีผู้บริจาคโลหิต มีการเจาะเก็บโลหิต มีการแยกส่วนประกอบของโลหิต ตรวจสอบคุณภาพของโลหิต จัดเก็บให้เรียบร้อย และจ่ายโลหิตเมื่อไปถึงโรงพยาบาลแล้ว หากมีผลิตภัณฑ์โลหิตที่เข้ากันได้ จึงจะนำไปให้ผู้ป่วย [1] ซึ่งในห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้นมีความซับซ้อนมาก [4] ในประเทศอังกฤษจะส่งรถออกไปรับบริจาคตามบริษัทหรืออุตสาหกรรม จากนั้นนำกลับมาตรวจสอบที่สภากาชาด ถ้าโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตนั้น มีคุณภาพดีก็จะนำมาเก็บไว้ที่ธนาคารเลือดของศูนย์บริการโลหิตด้วยวิธีเข้าก่อนออกก่อน (First In First Out, FIFO) จนกระทั่งมีการร้องขอโลหิตจากโรงพยาบาล จึงนำไปกระจาย ในการไปส่งนั้นจะมีแบบทำเป็นประจำด้วยวิธีการส่งแบบ Milk Runs และการส่งด้วยรถจักรยาน โดยมีดัชนีชี้วัดเป็นของเสีย/การหมดอายุ การขาดแคลนด้านคุณภาพ และด้านการขนส่ง [2] เมื่อแนวโน้มความต้องการโลหิตมีมากขึ้น [3] ทำให้โลหิตเกิดการขาดแคลน จึงทำให้ต้องพัฒนาแบบจำลองต่างๆ เช่น Logistic Regression Model ในการพยากรณ์ผู้ที่จะมาบริจาค [5] และใช้เทคโนโลยีต่างๆ เช่น Barcode [6], RFID [7] เป็นต้น ช่วยในการติดตามข้อมูลและรายงานอุณหภูมิ มีการแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีความผิดปกติของอุณหภูมิเกิดขึ้นที่จุดโลหิต เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของโลหิตระหว่างการนำไปส่งโรงพยาบาลและการส่งโลหิตชนิดนี้ให้กับผู้ป่วย และเมื่อเกิดความขาดแคลนจึงทำให้ต้องมีการจัดหาโลหิตเพิ่มขึ้น และทำการขนส่งมากตามความต้องการไปด้วยผลที่ตามมาคือทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของทรัพยากรในการกระจายโลหิต เช่น รถจากโรงพยาบาลเครือข่ายที่นำมารับโลหิต พนักงานประจำรถที่มารับโลหิต เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพทางการขนส่งให้ดีขึ้น

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้จำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อทำการ ศึกษากระบวนการกระจายโลหิต วิเคราะห์ประเมินค่าใช้จ่าย และเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงการกระจายโลหิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.1 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติกับโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งมีสมาชิกโรงพยาบาลทั้งหมด 131 แห่ง ทำการสำรวจข้อมูลภาคสนามในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงสิงหาคม 2553 และนำข้อมูลการจ่ายโลหิตเป็นจำนวน 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 6 – 12 กรกฎาคม 2553 มาใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายกระจายโลหิต

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.2.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ลักษณะของบรรจุภัณฑ์โลหิต ตลอดจนวิธีการขนส่ง ประเภทและชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งโลหิต ซึ่งบ่งบอกถึงขีดความสามารถในการบรรทุกและอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง เพื่อประเมินมูลค่าความสูญเสียได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ที่ตั้งของโรงพยาบาลที่ร้องขอใช้โลหิต เส้นทางขนส่ง พฤติกรรมการขนส่ง เช่น เวลาการเข้ารับบริการ ความหนาแน่น

3.2.2 ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลซึ่งมีการเก็บรวบรวมและบันทึกไว้แล้ว ได้แก่ ฐานข้อมูล หนังสือ เว็บไซต์ งานวิจัย บทความต่างประเทศ หรือคู่มือการทำงาน ข้อมูลทุติยภูมิอาจรวมถึง ลักษณะของคำขอใช้โลหิต รายการประเภทโลหิตที่ทำการจัดส่ง ขนาดของบรรจุภัณฑ์มาตรฐานที่ใช้งานกันอยู่ ปริมาณความต้องการใช้เลือดในแต่ละวัน ปริมาณโลหิตที่มีอยู่ในคลัง รวมถึงข้อมูลอื่นๆ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3 การสำรวจรวบรวมข้อมูล

ศึกษาสภาพทั่วไปของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย รวมถึงเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยเริ่มต้นจากการศึกษาเบื้องต้นจากบทความต่างประเทศ และงานประชุมเชิงปฏิบัติการงานบริการโลหิตระดับชาติ จากนั้นเก็บข้อมูลภาคสนามที่ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย โดยเริ่มจากการสัมภาษณ์บุคลากรภายใน รวบรวมรายชื่อและที่ตั้งของโรงพยาบาลที่เป็นสมาชิกเครือข่าย เก็บภาพ ศึกษาขั้นตอนการขอรับโลหิต สำรวจประเภทและจำนวนยานพาหนะ บรรจุภัณฑ์ที่นำมารับโลหิตในแต่ละวัน รวมถึงจับเวลาผู้เข้าคิวรอรับโลหิต เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์วิธีการกระจายโลหิตในกรุงเทพและปริมณฑล

3.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

ข้อมูลที่ตั้งศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยและโรงพยาบาลเครือข่าย จะถูกนำมาใช้คำนวณ Travel Distance

Matrix โดยใช้โปรแกรม ArcMap 9.3 จากนั้นนำค่าระยะทางและระยะเวลาที่คำนวณได้มาทำการวิเคราะห์ประเมินให้เห็นมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น อันสืบเนื่องมาจากระบบการกระจายโลหิตตามสภาพปัจจุบัน หลังจากนั้นจึงได้เสนอแนวคิดในการลดจำนวนรถเที่ยวเปล่า ลดต้นทุนการกระจายโลหิต ลดการสูญเสียโอกาสในการใช้ยานพาหนะของโรงพยาบาลเพื่อกิจการอื่นที่มีค่ากว่า เป็นการปรับปรุงการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณภาพทางการแพทย์ที่ได้มาตรฐานสากล

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาการกระจายโลหิตระหว่างศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย และโรงพยาบาลเครือข่ายโดยละเอียดด้วยวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบถึงขั้นตอนการขอใช้โลหิต วิธีการกระจายการประเมินความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงแนวทางในการปรับปรุง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ขั้นตอนการขอใช้โลหิต

การที่จะรับโลหิตได้นั้น ทางโรงพยาบาลจะต้องเป็นสมาชิกของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยเสียก่อน โดยขั้นตอนการขอใช้โลหิตเริ่มจากโรงพยาบาลเครือข่ายโทรมาสอบถามกับทางศูนย์ฯ ว่ามีโลหิตเพียงพอสำหรับการเบิกจ่ายหรือไม่ หากมีทางโรงพยาบาลจะส่งรถไปยังศูนย์ฯ เพื่อมารับโลหิต ผู้ที่มารับโลหิตจะยื่นเอกสารใบขอใช้โลหิต จากนั้นรอคิวเรียกชื่อ เมื่อถึงคิว ผู้ที่มารับโลหิตจะนำภาชนะบรรจุโลหิตมาใส่ โดยภาชนะที่จะนำมาใส่โลหิตต้องมีความแข็งแรง และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดี ซึ่งภาชนะที่โรงพยาบาลแต่ละแห่งนำมานั้นจะมีความหลากหลายมาก ไม่ว่าจะเป็นขนาดและประเภทภาชนะ เช่น ลัง กระติก กระเป๋ากลองโฟม กลองพลาสติก เป็นต้น ทางเจ้าหน้าที่ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติจะจัดเตรียมโลหิตและอิงบาร์ได้ค้ำยโลหิตให้กับผู้ที่มารับ ซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบว่าได้รับโลหิตและผลิตภัณฑ์ของโลหิตตรงตามที่ขอมารหรือไม่ พร้อมทั้งตรวจสอบทางกายภาพ เช่น จำนวนโลหิต การรั่วของถุงโลหิต เป็นต้น

4.2 การกระจายโลหิต

ในการกระจายโลหิตนั้น เริ่มจากผู้ป่วยมีความต้องการใช้โลหิต แพทย์จึงทำการสั่งโลหิตผ่านทางโรงพยาบาลต้นสังกัด โรงพยาบาลก็จะทำการร้องขอโลหิตไปยังศูนย์ฯ จากนั้นจะทำการตรวจสอบกับทางศูนย์ฯ ว่ามีโลหิตเพียงพอสำหรับการ

เบิกจ่ายหรือไม่ หากมีทางโรงพยาบาลจะส่งรถไปยังศูนย์ฯ ซึ่งในการได้รับแต่ละครั้งนั้น อาจจะไม่เพียงพอกับความต้องการหรือเท่ากับยอดโลหิตที่ขอมาร เนื่องจากจำเป็นต้องสำรองไว้สำหรับโรงพยาบาลอื่นๆ หรือในกรณีฉุกเฉิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพิจารณาของเจ้าหน้าที่จ่ายโลหิตของศูนย์ฯ เมื่อผู้มารับได้รับโลหิตเรียบร้อยแล้ว จึงนำโลหิตกลับไปยังโรงพยาบาลต้นสังกัด เพื่อนำไปรักษาผู้ป่วย ซึ่งเป็นผู้ใช้ขั้นสุดท้าย นั่นคือปลายน้ำของห่วงโซ่อุปทานโลหิต แสดงดังภาพที่ 2



แต่ละวัน มีรถจำนวนมากที่โรงพยาบาลเครือข่ายส่งมารับโลหิต จากการเก็บข้อมูลพบว่าในแต่ละวันจะมีจำนวนเที่ยวไม่เท่ากัน บางโรงพยาบาลส่งมาหลายเที่ยวต่อวัน ซึ่งในช่วงวันที่ 6 – 12 กรกฎาคม 2553 มีจำนวนโรงพยาบาลและจำนวนเที่ยวรถที่มารับโลหิต สรุปได้ตามดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนโรงพยาบาลและจำนวนเที่ยวที่มารับโลหิต

วัน/เดือน/ปี	จำนวนโรงพยาบาล	จำนวนเที่ยว	จำนวนโลหิต (หน่วย)
06/07/53	131	131	2,309
07/07/53	72	83	2,418
08/07/53	80	99	2,435
09/07/53	82	98	2,358
10/07/53	101	121	1,533
11/07/53	70	80	1,146
12/07/53	95	104	2,764
รวม	631	716	14,963

4.3 การประเมินค่าใช้จ่ายสูญเสีย

เมื่อได้ข้อมูลรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยและโรงพยาบาลเครือข่ายแล้ว จึงนำมาคำนวณ Travel Distance Matrix โดยใช้โปรแกรม ArcMap 9.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณจะได้อะไรทางตามโครงข่ายถนน โดยใช้เวลาน้อยที่สุด ซึ่งแสดงลักษณะของผลลัพธ์ได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างศูนย์ฯ และโรงพยาบาลในเครือข่าย (หน่วยเป็นเมตร)

Cij	จุดปลายทาง	0	1	..	..	131
จุดเริ่มต้น	สถานที่	ศูนย์ฯ	001001	:	:	104206
0	ศูนย์ฯ	0.00	913.85	..	..	19,751.34
1	001001	1,964.27	0.00	..	..	29,218.89
..
..
131	104206	19,549.70	19,134.99	..	..	0.00

กิจกรรมการกระจายโลหิต มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นทั้งค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายแปรผัน ซึ่งในการท่วิจัยนี้จะทำการหาค่าความสูญเสีย ประเภทของความสูญเสียนั้นประกอบขึ้นจากค่าใช้จ่ายต่างๆ ค่าใช้จ่ายในการกระจายจะแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะของเส้นทางที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางและระยะเวลาของการขนส่ง เป็นต้น และมีทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในการกระจายโลหิต ซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยตรงอยู่ 2 ส่วน คือ

- รวดจากโรงพยาบาลเครือข่ายที่นำมารับโลหิต ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ได้แก่ ค่าน้ำมัน ค่าเสื่อมราคา ค่าประกันภัย ค่าบำรุงรักษา
- พนักงานประจำรถของโรงพยาบาลเครือข่ายที่นำมารับโลหิต ขณะเดียวกันในการไปกระจายโลหิตนั้น จะขึ้นอยู่กับความคุ้นเคยในการเลือกเส้นทางของพนักงานขับรถที่นำมารับโลหิต เส้นทางที่เลือกอาจจะไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุด ซึ่งความไม่มีประสิทธิภาพเหล่านี้จะนำมาซึ่งความสูญเสียหลายประเภท ดังนั้นการประเมินความสูญเสีย ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

4.3.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ยังคงมีอยู่หรือเกิดขึ้น ถึงแม้จะมีหรือไม่มีการใช้รถก็ตาม ได้แก่ ต้นทุนราคารถ ค่าจ้างพนักงานขับรถ เป็นต้น [8] ในการประเมินความสูญเสียทางด้านค่าใช้จ่ายการใช้รถนี้ ได้ตั้งสมมติฐานว่าใช้รถตู้ Toyota รุ่น Commuter ในการกระจายโลหิต รถมีอายุการใช้งาน 5 ปี ค่าจ้างพนักงานขับรถ 8,000 บาท/เดือน ประเมินค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไปกับการเดินทางเที่ยวเปล่าไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินความสูญเสียของค่าใช้จ่ายการใช้รถและค่าจ้างพนักงานขับรถ

วัน/เดือน/ปี	ค่าใช้จ่ายการใช้รถ (บาท) ¹	ค่าจ้างพนักงานขับรถ (บาท) ²	รวม (X _i) (บาท/วัน)
06/07/53	5,361.99	4,369.56	9,731.55
07/07/53	6,329.28	5,157.82	11,487.1
08/07/53	6,426.62	5,237.14	11,663.76
09/07/53	7,904.33	6,441.36	14,345.69
10/07/53	5,051.97	1,951.81	7,003.78
11/07/53	6,816.80	5,555.11	12,371.91
12/07/53	8,279.93	6,747.44	15,027.37
รวม	46,170.92	35,460.24	81,631.16

¹ ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ = ต้นทุนราคารถ*(เวลาการเดินทาง+เวลารอคอย)

² ค่าใช้จ่ายพนักงานขับรถ = เงินเดือน*(เวลาการเดินทาง+เวลารอคอย)

ต้นทุนราคารถ = (ราคารถ - มูลค่าซาก) / อายุการใช้งาน

จากการประเมินความสูญเสียประเภทค่าใช้จ่ายคงที่ในช่วงเวลา 7 วัน พบว่ามีค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย $X_i/7 = 11,661$ บาท/วัน แต่ในปัจจุบันนี้ โรงพยาบาลส่งรถมารับทุกวัน ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปี จึงมีความสูญเสียทางด้านค่าใช้จ่ายการใช้รถและค่าจ้างพนักงานเป็นจำนวนเงิน 4,256,480 บาท

4.3.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Running Costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้รถ เมื่อใดก็ตามที่มีการใช้รถจะมีค่าใช้จ่ายส่วนนี้เกิดขึ้น ประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมบำรุงรักษาและค่าเสียโอกาสในการใช้รถ [8] ซึ่งประเมินมูลค่าความสูญเสียจากการเดินทางเที่ยวเปล่ามารับโลหิตจากศูนย์ฯ ไว้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประเมินความสูญเสียของค่าน้ำมันและค่าเสียโอกาส

วัน/เดือน/ปี	ค่าน้ำมัน (X ₁) (บาท/วัน) ¹	ค่าเสียโอกาส (X ₂) (บาท/วัน) ²	รวม (บาท/วัน)
06/07/53	4,635.80	41,500	46,135.80
07/07/53	5,835.44	49,500	55,335.44
08/07/53	5,892.12	49,000	54,892.12
09/07/53	7,444.32	60,500	67,944.32
10/07/53	4,235.04	40,000	44,235.04
11/07/53	6,197.09	52,000	58,197.09

ตารางที่ 4 การประเมินความสูญเสียของค่าน้ำมันและค่าเสียโอกาส (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าน้ำมัน (X ₁) (บาท/วัน) ¹	ค่าเสียโอกาส (X ₂) (บาท/วัน) ²	รวม (บาท/วัน)
12/07/53	7,544.93	65,000	72,544.93
รวม	41,784.74	357,500	399,284.74

¹ ค่าน้ำมัน = ระยะทาง*อัตราการใช้ น้ำมัน*ราคาน้ำมัน

³ ค่าเสียโอกาส = จำนวนเที่ยว*500

ราคาน้ำมัน 27.99 บาท/ลิตร (ณ วันที่ 5 สิงหาคม 2553)

ค่ากลางค่าบริการรถพยาบาลฉุกเฉิน 500 บาท/เที่ยว

จากการประเมินความสูญเสียทางด้านค่าใช้จ่ายแปรผันเฉพาะ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่ามีค่าใช้จ่ายถึง 41,785 บาท โดยเฉลี่ยแล้ว $X_2/7 = 5,969$ บาท/วัน แต่เมื่อรวมค่าเสียโอกาสด้วย จึงทำให้มีค่าความสูญเสียมูลค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือ $X_1+X_2+X_3 = 480,915.90$ บาท โดยเฉลี่ย 68,702.27 บาท หากคิดเป็นรายปี จะเห็นว่ามียุทธค่าความสูญเสียถึง 25,076,328.55 บาท นับเป็นมูลค่าที่มหาศาล

4.4 แนวทางการปรับปรุง

จากการประเมินความสูญเสียดังกล่าว พบว่ามีมูลค่าต่อวันที่สูงมาก ไม่ว่าจะเป็นทางด้านค่าใช้จ่ายในการใช้รถ ค่าจ้างพนักงานขับรถ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าเสียโอกาส ซึ่งหากมีการวิเคราะห์และออกแบบการกระจายโลหิตเสียใหม่ โดยใช้แนวความคิดในการกระจายคล้ายกับวิธีการจัดเส้นทางแบบ Milk Runs โดยให้ทางศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย รวบรวมความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาล ทำการจัดเตรียมโลหิต จากนั้นนำรถพร้อมโลหิตออกไปกระจายให้กับทางโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้เคียงในเส้นทางเดียวกัน แทนการส่งรถจากโรงพยาบาลมารับที่สภากาชาดไทย จะช่วยประหยัดต้นทุนและพลังงาน ในการขนส่งได้เป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นงานวิจัยที่สร้างคุณประโยชน์อย่างยิ่งต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันมีผู้ป่วยที่ต้องการโลหิตเป็นจำนวนมาก ยังมีภาระขนส่งโลหิตไปยังผู้ป่วยเร็วและตรงเวลาเท่าใด ก็จะช่วยให้การรักษาทันทีมีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้เสนอผลการศึกษาระบบการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล ทำให้ทราบว่าแต่ละโรงพยาบาลต่างก็ส่งรถมารับโลหิต ส่งผลให้จำนวนเที่ยววิ่งรวมมีจำนวนมากและอาจต้องวิ่งหลายรอบ จำนวนเที่ยววิ่งรถที่มากขึ้นนี้เอง ทำให้เกิดความสูญเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการขนส่งโลหิตมากตามไปด้วย ดังนั้นหากมีการวิเคราะห์ออกแบบเส้นทางกระจายโลหิตเสียใหม่ โดยที่ใช้การกระจายออกจากศูนย์กลาง ซึ่งแนวความคิดในการกระจายนั้นคล้ายกับวิธีการจัดเส้นทางแบบ Milk Runs เปลี่ยนจากการที่โรงพยาบาลต้องส่งรถมารับโลหิตเป็นทางศูนย์บริการ

โลหิต สภากาชาดไทยนำรถพร้อมโลหิตออกไปกระจายให้กับทางโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้กันเส้นทางเดียวกัน จะพบว่าหากมีการกระจายโลหิตไปแล้ว จะช่วยให้ภาระขนส่งนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสูญเสียโอกาสในการใช้รถของโรงพยาบาล อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงาน และเชื้อเพลิงในการขนส่งได้เป็นอย่างมากอีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ในการสนับสนุนข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่เสียสละเวลาให้ข้อมูลในการทำวิจัย

7. บรรณานุกรม

- [1] ชัยเวช นุชประยูร. (2553) National Blood Centre: Dream and Reality. การประชุมเชิงปฏิบัติการงานบริการโลหิตระดับชาติครั้งที่ 18
- [2] Katsaliaki, K. (2008) Cost-effective practices in the blood service sector. Health Policy, Vol.86, pp.276-135
- [3] Ryttila, J.S., Spens K.M. (2006) Using simulation to increase efficiency in blood supply chain. Management Research News, Vol.29, No.12, pp.801-819
- [4] Sime, S.L. (2005) Strengthening the service continuum between transfusion providers and suppliers: enhancing the blood services network. transfusion, Vol.45, October, pp.206-223
- [5] Bosnes, V., Aldrin, M., Heier H.E. (2005), Predicting blood donor arrival. transfusion, Vol.45, February, pp.162-170
- [6] Li, B.N., Chao, S., Dong, M.C. (2006) Barcode Technology in Blood Bank Information Systems: Upgrade and Its Impac. Journal of medical system, Vol.30, pp.449-457
- [7] Kim, D., Yoo, S.K., Kim, H., Chang BC., Bae, H.S., Kim, S.J. (2007) Location Based Blood Bag Management using active RFID and Ubiquitous Sensor Network. International Special Topic Conference
- [8] ฝ่ายวางโครงการ กองวางแผน กรมทางหลวง, 2531. รายงานการศึกษาค่าใช้จ่ายในการใช้รถ

APPENDIX I

A PUBLICATION IN THE IE NETWORK CONFERENCE 2011

การประชุมวิชาการอำนวยการวิศวกรรมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ประจำปี 2554
20-21 ตุลาคม 2554



การจัดเส้นทางกระจายโลหิตในเขตกรุงเทพและปริมณฑล กรณีศึกษา: ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ROUTING OF BLOOD DISTRIBUTION IN BANGKOK METROPOLITAN REGION: A CASE STUDY FOR THE NATIONAL BLOOD CENTRE, THAI RED CROSS SOCIETY

ปกัสตร สุชาบุรณ์¹ สมชาย ปฐมศิริ^{2*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73170

² ศูนย์ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบขนส่ง การจราจรและโลจิสติกส์ (T - LEX Center) และ
ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73170

E-mail: Somchai.Pat@mahodol.ac.th*

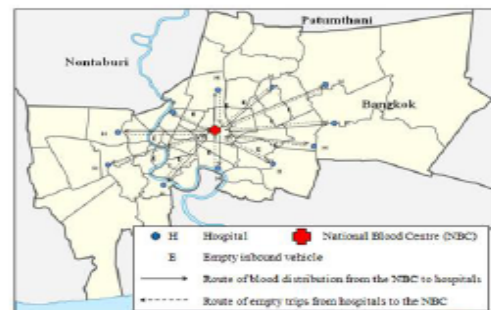
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบการกระจายโลหิตโดยใช้ระบบการจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์ จากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ให้กับโรงพยาบาลต่างๆ ในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล การวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบัน พบว่าในแต่ละวันมีโรงพยาบาลประมาณ 80 แห่งส่งยานพาหนะมาขอรับโลหิตจากศูนย์ฯ วันละหลายเที่ยว แต่เที่ยวเดียวได้โลหิตไประหว่าง 1 ถึง 300 ถุง จึงเห็นได้ชัดเลยว่าทุกวันนี้จะมีปริมาณรถเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นมากมายทั้งขาไปและขากลับ ซึ่งบรรทุกลำได้โดยมากเมื่อเทียบกับความจุของยานพาหนะ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมสำหรับจัดเส้นทางกระจายโลหิต ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบ Saving algorithm ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และใช้เวลาในการประมวลผลน้อย โดยกำหนดข้อจำกัดทางด้านระยะทาง และความจุของรถขนส่งโลหิตได้ตามที่ต้องการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ระยะทางการขนส่งโดยรวมต่ำที่สุด ผลการวิเคราะห์พบว่าการจัดเส้นทางใหม่ด้วยวิธีการ Heuristic นั้นสามารถลดระยะทางลงได้ถึง 246.84 กิโลเมตร/วัน และมีประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น 24.70% ซึ่งมีผลให้ต้นทุนการขนส่งลดลง อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงาน และเชื้อเพลิงในการขนส่งได้เป็นอย่างมาก คำหลัก การกระจายโลหิต, โลหิต, ตัวแบบคณิตศาสตร์, ไซอูปทาน, ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ, ฮิวริสติก

1. บทนำ

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย มีหน้าที่ความรับผิดชอบโดยตรงเกี่ยวกับงานบริการโลหิตระดับชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปช่วยเหลือผู้ป่วย ผู้ประสบอุบัติเหตุ การผ่าตัด และเก็บสำรองไว้ใช้ในโรงพยาบาลต่างๆ ทั้งรัฐบาลและเอกชน และในแต่ละวันนั้น โลหิตถูกนำมาใช้ในการรักษาเป็นปริมาณมาก [1] ซึ่งการได้รับโลหิตหรือส่วนประกอบโลหิตที่รวดเร็วและมีความปลอดภัย จะ

ช่วยให้การรักษาของแพทย์มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อรักษาชีวิตผู้ป่วยไว้ได้ในที่สุด ในการได้รับโลหิตและส่วนประกอบโลหิตที่ถูกต้องตรงตามความต้องการอย่างรวดเร็วและปลอดภัยจะสามารถดำเนินไปได้ด้วยดี หากบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับโลหิตสามารถจัดการและดำเนินการกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการจัดการด้านการขนส่งโลหิตไปยังผู้ป่วย โดยโลหิตที่ได้จากการบริจาค นั้นจะนำไปกระจายให้กับผู้ป่วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ เขตกรุงเทพมหานครและภูมิภาค เมื่อมีผู้ป่วยต้องการโลหิต แพทย์จะทำการสั่งโลหิต จากนั้นโรงพยาบาลจะทำการร้องขอโลหิตไปยังศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ [2] และทางโรงพยาบาลจะมีหน้าที่ส่งรถไปยังศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย เพื่อรอรับโลหิต รถเหล่านี้เกือบทั้งหมดเป็นรถเที่ยวเปล่า



รูปที่ 1 ลักษณะการกระจายโลหิตโดยศูนย์กระจายโลหิตแห่งชาติ

รูปที่ 1 แสดงลักษณะตัวอย่างรูปแบบการกระจายโลหิตภายในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในรูปนี้ สมมติว่ามีโรงพยาบาลที่ต้องการโลหิตทั้งสิ้น 11 แห่ง โรงพยาบาลแต่ละแห่งจะต้องส่งรถไปรับโลหิตถึง 11 คัน และต้องวิ่งเป็นจำนวน 11 เส้นทาง (ตาม



เส้นประ) ในปัจจุบัน การรับบริการโลหิตจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย โรงพยาบาลแต่ละแห่งต้องจัดส่งรถออกไปรับโลหิตเอง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วรถที่วิ่งมารับโลหิตนั้นจะเป็นรถเปล่า (ตัวอักษร E) เมื่อได้รับโลหิตแล้ว ขากลับจึงบรรทุกโลหิตกลับมายังโรงพยาบาล ทุกครั้งที่วิ่งจะมีเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นหนึ่งเที่ยวเสมอ โดยรวมแล้วจึงมีจำนวนเที่ยวที่สูญเสียมากถึง 11 เที่ยว ซึ่งเป็นความสิ้นเปลืองทรัพยากร เวลา และพลังงานเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก จากสถิติพบว่าในแต่ละวันจะมีรถจากโรงพยาบาลมารับโลหิต ที่ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยเป็นจำนวนมาก และเส้นทางที่รถวิ่งนั้นอาจจะไม่ได้สั้นที่สุด ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญเส้นทางของพนักงานขับรถ อีกทั้งแต่ละคันยังจะต้องเสียเวลารอคอยเป็นระยะเวลาานานมาก เนื่องจากต้องเข้าคิวรอรับโลหิตที่ส่งกลับรถที่มาจากโรงพยาบาลอื่น ๆ รถแต่ละคันจึงถูกใช้งานไม่คุ้มค่า เนื่องจากเป็นการขนส่งไม่เต็มคัน เพราะว่ามีปริมาณโลหิตที่ได้รับไปนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดความจุและปริมาณของรถ ที่สำคัญคือ รถเหล่านี้ส่วนมากเป็นรถพยาบาล ซึ่งมีคุณค่ามากกว่ารถขนส่งทั่วไป ดังนั้นเพื่อช่วยปรับปรุงการกระจายโลหิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงเสนอการวิเคราะห์ห่ออกแบบเส้นทางการกระจายโลหิตให้มีการไปส่งโลหิตให้โรงพยาบาลทุกแห่ง โดยใช้การกระจายออกจากศูนย์กลางใหม่ เปลี่ยนจากการที่โรงพยาบาลต้องส่งรถมารับโลหิตเป็นทางศูนย์บริการโลหิต สภากาชาดไทยนำรถพร้อมโลหิตออกไปกระจายให้กับทางโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้กันในเส้นทางเดียวกัน ให้มีระยะทางที่สั้นที่สุด จะช่วยให้การขนส่งนั้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการสูญเสียโอกาสในการใช้รถของโรงพยาบาล อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงอีกด้วย

2. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการกระจายโลหิต

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยเปรียบได้กับศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center, DC) เป็นศูนย์กลางในการจัดหา ตรวจสอบ จัดเก็บและเบิกจ่ายโลหิต ให้กับสาขาบริการโลหิต เริ่มตั้งแต่ผู้บริจาคเข้ามาบริจาคโลหิตจนกระทั่งถึงผู้บริโภคนั้นคือ ผู้ป่วย

ห่วงโซ่อุปทานโลหิต จะเป็นขั้นตอนเชื่อมกันตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ คือ เริ่มตั้งแต่โลหิตของผู้บริจาคโลหิตไปจนถึงผู้รับโลหิตขั้นสุดท้าย [3] ในกระบวนการทั้งหมดนี้จะเห็นว่าผู้บริจาคโลหิตมีการเจาะเก็บโลหิต มีการแยกส่วนประกอบของโลหิต ตรวจสอบคุณภาพของโลหิต จัดเก็บให้เรียบร้อย และจ่ายโลหิต เมื่อไปถึงโรงพยาบาลแล้ว หากมีผลิตภัณฑ์โลหิตที่เข้ากันได้ จึงจะนำไปให้ผู้ป่วย ซึ่งในห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้นมีความซับซ้อนมาก [4] ในประเทศอังกฤษจะส่งรถออกไปรับบริจาคตามบริษัทหรืออุตสาหกรรม จากนั้นนำกลับมาตรวจสอบที่สภากาชาด ถ้าโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตนั้น มีคุณภาพดีก็จะนำมาเก็บไว้ที่ธนาคารเลือดของศูนย์บริการโลหิตด้วยวิธีเข้าก่อน-ออกก่อน (First In First Out, FIFO) จนกระทั่งมีการร้องขอโลหิต จากโรงพยาบาล จึงนำไป

กระจาย ในการไปส่งนั้นจะมีแบบทำเป็นประจำด้วยวิธีการส่งแบบ Milk Runs และการส่งด้วยรถฉุกเฉิน โดยมีดัชนีชี้วัดเป็นของเสีย/การหมดอายุ การขาดแคลน ด้านคุณภาพ และด้านการขนส่ง [2] เมื่อแนวโน้มความต้องการโลหิตมีมากขึ้น [3] ทำให้โลหิตเกิดการขาดแคลน จึงทำให้ต้องพัฒนาแบบจำลองต่างๆ เช่น Logistic Regression Model ในการพยากรณ์ผู้ที่จะเข้ามาบริจาค [5] และใช้เทคโนโลยีต่างๆ เช่น Barcode , RFID เป็นต้น ช่วยในการติดตามข้อมูลและรายงานอุณหภูมิ มีการแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีความผิดปกติของอุณหภูมิเกิดขึ้นที่ถุงโลหิต เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของโลหิตระหว่างการนำไปส่งโรงพยาบาลและการส่งโลหิตผิดชนิดให้กับผู้ป่วย และเมื่อเกิดความขาดแคลนจึงทำให้ต้องมีการจัดหาโลหิตเพิ่มขึ้น และทำการขนส่งมากตามความต้องการไปด้วย ผลที่ตามมาคือทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของทรัพยากรในการกระจายโลหิต เช่น รถจากโรงพยาบาลเครือข่ายที่นำมารับโลหิต พนักงานประจำรถที่มารับโลหิต เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพทางการขนส่งให้ดีขึ้น

2.2 แนวทางการจัดเส้นทาง

ผลการทบทวนทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าการศึกษาควรเลือกใช้วิธีการหาค่าตอบด้วยวิธีอวิวิธวิธี แต่จะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimization) ซึ่งการคำนวณหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ใช้ระยะเวลาอันเกินไประยะยาวก็ตามวิธีการหาค่าตอบด้วยวิธีอวิวิธวิธี อาจไม่สามารถแก้ปัญหาในบางสถานการณ์ได้ดี ในทางปฏิบัติวิธีอวิวิธวิธีอาจไม่สามารถแก้ปัญหาให้ใกล้เคียงกับคำตอบจริงได้ เนื่องจากมีข้อด้อย เช่นวิธี Sweep Approach จะไม่สามารถจัดสรรเส้นทางได้ดีหากศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้ตั้งอยู่ใจกลางกลุ่มลูกค้า, วิธีการแบบอวิวิธวิธี เป็นวิธีที่ขาดมุมมองที่กว้างไกล เนื่องจากมุ่งหวังที่จะแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเป็นหลัก เช่น การจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธี Nearest Neighbor เมื่อจัดเส้นทางจนถึงจุดส่งสุดท้ายแล้วก็จะต้องเชื่อมเส้นทางกลับมายังที่ศูนย์ ซึ่งในบางครั้งระยะทางดังกล่าวเป็นระยะทางที่ไกลจนทำให้คำตอบที่ได้ไม่มีคุณภาพ ผู้ทำวิจัยจึงเลือกวิธีการหาค่าตอบด้วย Saving Algorithm เนื่องจากเป็นวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็นที่รู้จักการอย่างกว้างขวาง เหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ได้จำกัดจำนวนยานพาหนะ และใช้เวลาในการประมวลผลหาค่าตอบน้อย [6] อีกทั้งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ไม่ยาก ทำให้สะดวกและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริง

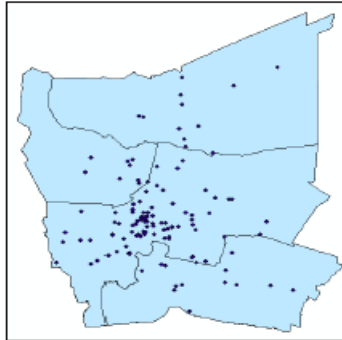
3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาวิเคราะห์การกระจายโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติกับโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งมีสมาชิกโรงพยาบาลทั้งหมด 131 แห่ง รูปที่ 2



แสดงการกระจายของตำแหน่งโรงพยาบาลเครือข่ายบนแผนที่
ดิจิทัลระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ



รูปที่ 2 ตำแหน่งโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่
กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ลักษณะของบรรจุภัณฑ์โลหิต ตลอดจนวิธีการขนส่ง ประเภทและชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งโลหิต ซึ่งบ่งบอกถึงขีดความสามารถในการบรรทุก และอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ที่ตั้งของโรงพยาบาลที่ร้องขอใช้โลหิต เส้นทางขนส่ง พฤติกรรมการขนส่ง เช่น เวลาการเข้ารับบริการ ความหนาแน่น
- 2) ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลซึ่งมีการเก็บรวบรวมและบันทึกไว้แล้ว ได้แก่ ฐานข้อมูล หนังสือ เว็บไซต์ งานวิจัย บทความต่างประเทศ หรือคู่มือการทำงาน ลักษณะของคำขอใช้โลหิต รวมถึงข้อมูลอื่นๆ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3 การสำรวจรวบรวมข้อมูล

ศึกษาสภาพทั่วไปของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย รวมถึงเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยเริ่มต้นจากการศึกษาเบื้องต้นจากบทความต่างประเทศ และงานประชุมเชิงปฏิบัติการงานบริการโลหิตระดับชาติ จากนั้นเก็บข้อมูลภาคสนามที่ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย โดยเริ่มจากการสัมภาษณ์บุคลากรภายใน รวบรวมรายชื่อและที่ตั้งของโรงพยาบาลที่เป็นสมาชิกเครือข่าย เก็บภาพ ศึกษาขั้นตอนการขอรับโลหิตสำรวจประเภทและจำนวนยานพาหนะ บรรจุภัณฑ์ที่นำมารับโลหิตในแต่ละวัน จับเวลาผู้เข้าคิวรอรับโลหิต รวมถึงฐานข้อมูลจากชุดข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ด้านเส้นทางคมนาคม (Transport Fundamental Geographic Data Set TFGDS) ของสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคมที่มีการรวบรวมข้อมูลไว้แล้ว เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์วิธีการกระจายโลหิตในกรุงเทพฯและปริมณฑล

3.4 ตัวแบบคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหา

จากการพิจารณาสภาพปัญหาของงานวิจัยนี้ พบว่าสอดคล้องกับรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem, VRP) ในขั้นตอนของการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหามีหลากหลายวิธีการที่ต้องใช้ความสามารถด้านการใช้โปรแกรมเฉพาะในการดำเนินการ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ย่างยากในการที่จะนำมาใช้ในการดำเนินการจริง งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการแก้ปัญหา VRP แบบ Heuristic เนื่องจากหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ไม่มีความซับซ้อนมาก และเป็นวิธีที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา เพื่อหาคำตอบที่พอใช้ได้ ถึงแม้ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด จากการเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาจากส่วนของการทบทวนวรรณกรรมนั้น ผู้วิจัยได้เลือกวิธี Saving Algorithm มาใช้ในการแก้ปัญหาครั้งนี้ เนื่องจากใช้เวลาในการเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการคำนวณน้อย วิธีการหาคำตอบแบบ Saving Algorithm เป็นการคำนวณหาวิธีเปรียบเทียบการประหยัดระยะทาง โดยมีกฎเกณฑ์ในการค้นหาจุดส่ง (points) ที่ทำให้เกิดการประหยัด (saving) โดย links 2 points เข้าสู่เส้นทางเดียวกันแทนการแยกกันส่งคนละเส้นทาง โดยมีหลักการดังนี้

- 1) เลือกจุด (Node) ที่เป็นศูนย์กลางกระจายโลหิต (Central Depot) แล้วกำหนดเป็นจุดส่งที่ 1
- 2) คำนวณหาค่าการประหยัดที่จะผนวกเป็นเส้นทางเดียวกันของคู่จุดส่ง i ใดๆ ไปยังจุดส่ง j ใดๆ (S_{ij}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $C_{1i} + C_{1j} - C_{ij}$
- 3) เรียงลำดับค่าการประหยัด (S_{ij}) จากมากไปน้อย
- 4) เลือกค่าการประหยัดมากที่สุดจากคู่จุดส่ง i และ j โดยที่ i และ j ต้องไม่ซ้ำกัน จากนั้นสร้างเส้นทางย่อยโดยเชื่อมจุดส่ง i และ j
- 5) ทำ 3) และ 4) ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกจุดส่ง

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาการกระจายโลหิตระหว่างศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย และโรงพยาบาลเครือข่ายโดยละเอียดด้วยวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบถึงขั้นตอนการขอใช้โลหิต วิธีการกระจายการประเมินความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงแนวทางในการปรับปรุง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ปริมาณความต้องการโลหิต

ในการกระจายโลหิตนั้น เริ่มจากผู้ป่วยมีความต้องการใช้โลหิต แพทย์จึงทำการสั่งโลหิตผ่านทางโรงพยาบาลต้นสังกัด โรงพยาบาลก็จะทำการร้องขอโลหิตไปยังศูนย์ฯ จากนั้นจะทำการตรวจสอบกับทางศูนย์ฯ ว่ามีโลหิตเพียงพอสำหรับการเบิกจ่ายหรือไม่ หากมีทางโรงพยาบาลจะส่งรถไปยังศูนย์ฯ ซึ่งในการได้รับแต่ละครั้งนั้น อาจจะไม่เพียงพอกับความต้องการหรือเท่ากับยอดโลหิตที่ขอมมา เนื่องจากจำเป็นต้องสำรองไว้สำหรับโรงพยาบาลอื่นๆ หรือในกรณีฉุกเฉิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพิจารณาของเจ้าหน้าที่จ่ายโลหิตของศูนย์ฯ เมื่อผู้มารับได้รับโลหิตเรียบร้อยแล้ว จึงนำ



โลหิตกลับไปยังโรงพยาบาลต้นสังกัด เพื่อนำไปรักษาผู้ป่วย ซึ่งเป็นผู้ใช้ขั้นสุดท้าย นั่นคือปลายน้ำของห่วงโซ่อุปทานโลหิต โดยแต่ละวัน มีรถจำนวนมากที่โรงพยาบาลเครือข่ายส่งมารับโลหิต จาก การเก็บข้อมูลพบว่าในแต่ละวันจะมีจำนวนเที่ยวไม่เท่ากัน บางโรงพยาบาลส่งมาหลายเที่ยวต่อวัน ซึ่งในช่วงวันที่ 6 - 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 มีจำนวนโรงพยาบาลและจำนวนเที่ยวรถ ที่มารับโลหิต สรุปได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณความต้องการโลหิต

วันเดือนปี	จำนวน โรงพยาบาล	จำนวน เที่ยว	จำนวนโลหิต (หน่วย)
06/07/53	72	75	2,324
07/07/53	84	94	2,453
08/07/53	83	92	2,465
09/07/53	80	89	2,417
10/07/53	69	75	1,577
11/07/53	54	62	1,176
12/07/53	78	87	2,824
รวม	520	574	15,236

4.2 การปรับปรุงเส้นทางการกระจายโลหิต

เมื่อกำหนดข้อมูลรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยและโรงพยาบาลเครือข่ายทั้งหมดลงบนแผนที่ดิจิทัลแล้ว จึงนำมาคำนวณ Travel Distance Matrix, d_{ij} โดยใช้โปรแกรม ArcMap 9.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณจะได้ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุด i และ j ใดๆ ทั้งนี้การคำนวณจะใช้เวลาน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ ตารางที่ 2 แสดงลักษณะของผลลัพธ์

ตารางที่ 2 ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างศูนย์ฯ และโรงพยาบาลในเครือข่าย (หน่วยเป็นเมตร)

C_{ij}	ปลายทาง	0	1	..	..	131
เริ่มต้น	สถานที่	ศูนย์ฯ	001001	:	:	104206
0	ศูนย์ฯ	0	913	..	..	19,751
1	001001	1,964	0	..	..	29,218
..
..
131	104206	19,549	19,134	..	..	0

โดยกำหนดให้

- ศูนย์ฯ = ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ (0)
- 001001 = โรงพยาบาลที่ 1
- 001101 = โรงพยาบาลที่ 2
- ...
- 104206 = โรงพยาบาลที่ 131

การที่แต่ละโรงพยาบาล ต้องเดินทางไปรับโลหิตเองจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ทำให้เกิดความสูญเสียเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นการวิ่งไปแล้วกลับ โดยได้โลหิตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ก่อให้เกิดความสูญเสียต่างๆ เป็นจำนวนมาก สมควรทำการปรับปรุงวิธีการกระจายโลหิตเสียใหม่ให้ดีขึ้น โดยงานวิจัยนี้ทำการจัดเส้นทางโดยอาศัย Saving Algorithm เขียนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual Basic 2008 เนื่องจากสะดวก ง่ายต่อการศึกษา และนำไปใช้ ขั้นตอนการคำนวณเป็นดังนี้

1) การคำนวณค่า saving S_{ij}

$$S_{ij} = d_{oi} + d_{jo} - d_{ij} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้

- O = จุดเริ่มต้น (ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย)
- d_{oi} = ระยะทางจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติไปยังโรงพยาบาลที่ i
- d_{jo} = ระยะทางจากโรงพยาบาลที่ i ไปยังศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ
- d_{ij} = ระยะทางจากโรงพยาบาลที่ i ไปยังโรงพยาบาลที่ j

โดยตัวอย่างผลลัพธ์ค่า Saving ของการคำนวณระยะทางการเดินทางแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณ saving value (หน่วยเป็นเมตร)

	d_{oi}	d_{jo}	d_{ij}	Saving value
$S_{1,2}$	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

2) นำค่า Saving $S(i, j)$ ที่ได้จากการคำนวณมาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เพื่อหาเส้นทางการเดินทางที่ประหยัดที่สุด

3) จัดเรียงลำดับเส้นทางการกระจายโลหิต โดยพิจารณาเรียงตามค่า Saving Value จากค่ามากไปยังค่าน้อย ได้ผลเป็นลำดับเส้นทางการกระจายโลหิตดังตารางที่ 4

เนื่องจากสภาพการเดินทางไปรับโลหิตในปัจจุบัน เป็นการส่งรถจากโรงพยาบาลในเครือข่ายมายังศูนย์ฯ จึงทำให้เกิดความสูญเสียเป็นจำนวนมาก ในกรณีของตัวอย่างพบว่ามีการเดินทางทั้งหมด 75 เที่ยว และมีระยะทางการเดินทางเท่ากับ 999.05 กิโลเมตร แต่เมื่อนำมาจัดเรียงเส้นทางการกระจายโลหิตเสียใหม่ โดยเริ่มต้นจากการบรรทุกโลหิตจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ไปยังโรงพยาบาลต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงในเส้นทางเดียวกัน จนกว่าจะ



ครบข้อจำกัดหรือส่งโลหิตครบ จากนั้นจึงกลับมายังศูนย์บริการโลหิต ซึ่งตัวอย่างการจัดเส้นทาง จะเห็นว่ามีการขนส่งทั้งหมด 16 รอบ ระยะทางรวม 756.21 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางรวมทั้งสิ้นกว่าวิธีการกระจายโลหิตที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันสามารถลดระยะทางลงได้ถึง 246.84 กิโลเมตร ประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น 24.70% จึงเห็นได้ชัดว่าหากมีการออกแบบวิเคราะห์เส้นทางการกระจายโลหิตเสียใหม่ จะช่วยให้ต้นทุนการขนส่งลดลง และช่วยประหยัดพลังงานในการขนส่งด้วย

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการกระจายโลหิต

ลำดับที่	เส้นทาง	ระยะทางรวม (m)
1	0-100-96-99-97-0	77,572
2	0-45-89-73-94-46-0	70,474
3	0-57-60-105-110-51-0	98,559
4	0-22-34-21-55-63-0	35,599
5	0-93-15-67-114-109-0	97,138
6	0-66-62-50-39-80-0	46,974
7	0-28-24-95-102-16-0	46,711
8	0-30-58-124-122-35-0	76,325
9	0-85-88-11-5-84-0	54,916
10	0-70-79-68-0	10,779
11	0-71-76-72-74-20-0	13,257
12	0-90-126-116-119-0	60,119
13	0-83-10-0	8,853
14	0-81-3-92 -59-6-0	27,984
15	0-4-8-2-1-0	18,472
16	0-14-29-9-69-0	8,480
ระยะทางรวม		752,212

5. สรุป

เมื่อวิเคราะห์เส้นทางการกระจายโลหิต โดยปรับปรุงจากวิธีการส่งโลหิตแบบปัจจุบัน คือ ส่งยานพาหนะมาจากโรงพยาบาลเครือข่ายตรงมารับโลหิตยังศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย จากนั้นจึงกลับไปยังโรงพยาบาลต้นสังกัด พบว่าเกิดความสูญเสียในด้านต่างๆ เช่น ค่าใช้จ่ายการใช้รถ ค่าจ้างพนักงาน ค่าน้ำมัน รวมถึงค่าเสียโอกาส อีกทั้งแต่ละคันยังจะต้องเสียเวลารอคอยเป็นระยะเวลานานมาก เนื่องจากต้องเข้าคิวรอรับโลหิตแข่งกับรถที่มาจากโรงพยาบาลอื่นๆ รถแต่ละคันจึงถูกใช้งานไม่คุ้มค่า เนื่องจากเป็นการขนส่งไม่เต็มคัน ปริมาณโลหิตที่ได้รับไปนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดความจุและปริมาตรของรถ ที่สำคัญคือ รถเหล่านี้ส่วนมากเป็นรถพยาบาล ซึ่งมีคุณค่ามากกว่ารถขนส่งทั่วไป ดังนั้นเพื่อช่วยปรับปรุงการกระจายโลหิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงทำการวิเคราะห์เส้นทางการกระจายโลหิตเสียใหม่ ด้วยวิธี Saving Algorithm เข้ามาช่วย โดยจุดเริ่มต้นของเส้นทางเริ่มจาก

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติไปยังโรงพยาบาลในเครือข่ายต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกัน เมื่อส่งครบจึงกลับไปยังศูนย์ฯ ทำให้มีระยะทางการเดินรถเท่ากับ 752.21 กิโลเมตร จากระยะทางที่วิ่งด้วยวิธีปัจจุบัน 999.05 กิโลเมตร จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น 24.70% ซึ่งมีผลให้ต้นทุนการขนส่งลดลง ลดการสูญเสียโอกาสในการใช้รถของโรงพยาบาล อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงาน และเชื้อเพลิงในการขนส่งได้เป็นอย่างมากอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และมหาวิทยาลัยมหิดล ภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและความร่วมมือระหว่างการสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ศูนย์ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบขนส่ง การจราจรและโลจิสติกส์ (T-LEX Center) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ Hardware และ Software สำหรับการทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Delen D., Erraguntla M., Mayer J. R., Wu C. 2009. Better management of blood supply-chain with GIS-based. Annual Operation Research, 185, 181 - 193.
- [2] Katsaliaki K. 2008. Cost-effective practices in the blood service sector. Health Policy, 86: 276 - 135
- [3] Rytla 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] Bosnes V., Aldrin M., Heier H.E. 2005. Predicting blood donor arrival. Transfusion, 45, February, 162 - 170
- [6] 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

APPENDIX J

A PUBLICATION IN THE JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชภัฏธนบุรี 41

การวิเคราะห์และออกแบบระบบการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล
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 ปฐมศิริ¹ ปกัสนร สุขาบูรณ์²

บทคัดย่อ

ในแต่ละวัน มีความต้องการใช้โลหิตจำนวนมากสำหรับการรักษาชีวิตมนุษย์ การได้รับโลหิตอย่างรวดเร็วและปลอดภัย จะช่วยให้การรักษาของแพทย์มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ต้นทุนการกระจายโลหิตก็เป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึง สำหรับในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลนั้น โรงพยาบาลแต่ละแห่งที่ต้องการใช้โลหิตจะต้องส่งรถไปรับโลหิตเองโดยตรงที่ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย โดยเฉลี่ยแล้วแต่ละวันจะมีโรงพยาบาล 74 แห่งส่งรถนำมาขนมาขอรับโลหิตจากศูนย์ฯ วันละหลายเที่ยว แต่ละเที่ยวได้รับโลหิตไประหว่าง 1 ถึง 300 ถุง ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก อันเนื่องจากการวิ่งไปแล้ววิ่งกลับทันที รถแต่ละคันบรรทุกโลหิตได้น้อยมากเมื่อเทียบกับความจุของรถ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา วิเคราะห์ปัญหาการขนส่งโลหิตที่เกิดขึ้น และทำการออกแบบระบบขนส่งเสียใหม่ โดยอาศัยหลักการบริหารศาสตร์และแนวคิดด้านโลจิสติกส์จำลองปัญหาเป็นการจัดระบบเส้นทางการขนส่ง ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกของ Clark and Wright ในการแก้ปัญหา ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริงพบว่าระบบที่เสนอสามารถช่วยให้การขนส่งโลหิตในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลลดจำนวนเที่ยวและระยะทางการขนส่งได้ มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งให้สูงขึ้นอีก 68.53% ซึ่งทำให้ต้นทุนการกระจายโลหิตลดลง 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 ผู้ช่วยวิจัยและนักศึกษาระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมและการจัดการโลจิสติกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

42 วารสารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตราชภัฏบุรีรัมย์

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 ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของห่วงโซ่อุปทานโลหิตเชื่อมโยกรับโลหิตจากผู้บริจาค (Donor) ทางด้านต้นน้ำ (Upstream) ของห่วงโซ่ ทำการคัดกรอง ตรวจสอบคุณภาพให้ได้มาตรฐานความปลอดภัยสูงสุดในระดับสากล คัดแยกจัดเก็บโลหิตเป็นอย่างดี ก่อนที่จะทำการขนส่งไปถึงผู้ป่วยในโรงพยาบาลที่ปลายน้ำ (Downstream) โดยเฉลี่ยศูนย์ฯ ต้องการรับบริจาคโลหิตวันละ 1,500 ถุง สำหรับใช้ในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล และสนับสนุนโรงพยาบาลในส่วนภูมิภาค

ตลอดความยาวของห่วงโซ่อุปทานโลหิต มีกิจกรรมโลหิตตักตักเกิดขึ้นมากมาย การขนส่งโลหิตออกจากศูนย์ฯ ไปถึงผู้ป่วยที่โรงพยาบาลปลายทางเป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญมาก การขนส่งโลหิตสามารถแบ่งเป็นสองส่วนตามพื้นที่และลักษณะการขนส่ง ได้แก่ 1) ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล และ 2) ในส่วนภูมิภาค [1] ในส่วนแรกนั้น หน้าที่การขนส่งโลหิตเป็นของโรงพยาบาลที่ร้องขอใช้โลหิตจะต้องเป็นผู้จัดรถมารับโลหิตที่ศูนย์ฯเอง สำหรับการขนส่งในส่วนหลัง เป็นภาระหน้าที่ของศูนย์ฯ

ที่จะต้องขนส่งโลหิตไปส่งยังภาคบริการโลหิตและโรงพยาบาลตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ [1, 2]

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาระบบการขนส่งโลหิตโดยศูนย์ฯ ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล 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 กว่าที่โลหิตจะถูกนำไปใช้งานได้จริง ต้องผ่านกรรมวิธีต่างๆ มากมายหลายขั้นตอน ได้แก่ การเจาะเก็บโลหิต การคัดกรอง การแยกส่วนประกอบของโลหิต การตรวจคุณภาพ การจัดเก็บ และการจ่ายโลหิต แม้กระนั้น เมื่อโลหิตถูกส่งไปถึงโรงพยาบาลแล้ว ต้องตรวจสอบอีกขั้นหนึ่งว่าสามารถเข้ากันได้ (Cross-match) กับโลหิตของผู้ป่วยหรือไม่ จึงจะนำไปให้ผู้ป่วยได้ การทำงานในห่วงโซ่อุปทานโลหิตจึงมีความสลับซับซ้อนมากกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไปเป็นอย่างมาก [4] ต้องอาศัยความปราณีต ละเอียด รอบคอบสูงสุด เพราะความผิดพลาดซึ่งอาจหมายถึงความเป็นความตายของผู้ป่วย

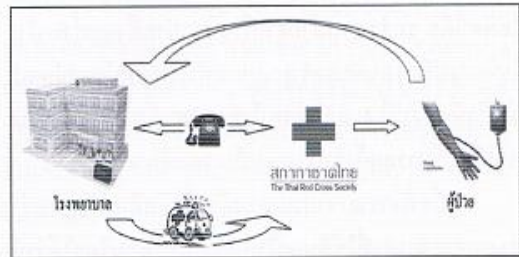
การบริหารจัดการระบบขนส่งโลหิตเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจมากในต่างประเทศ สภาวิชาชีพของประเทศไทยหรือสหประชาชาติการวิเคราะห์การขนส่ง โดยใช้การจำลองสถานการณ์สำหรับจัดการเวลาของรถฉุกเฉิน [5] ขณะที่ประเทศอังกฤษจะส่งรถออกไปรับบริจาคตามบริษัทหรืออุตสาหกรรม จากนั้นนำกลับมาตรวจสอบที่สภาวิชาชีพ ถ้าโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตนั้น มีคุณภาพดีก็จะนำมาเก็บไว้ที่ธนาคารเลือดของศูนย์บริการโลหิตด้วยวิธีเข้าก่อน-ออกก่อน (First-In First-Out, FIFO) จนกระทั่งมีการร้องขอโลหิต จากโรงพยาบาล จึงนำไปกระจาย การขนส่งโลหิตจะมีแบบแผนประจำโดยอาศัยหลักการบริหารศาสตร์ที่เรียกว่า Milk Runs และการส่งด้วยรถฉุกเฉินเพื่อความรวดเร็ว โดยมีดัชนีชี้วัดเป็นของเสีย/การหมดอายุ การขาดแคลน ด้านคุณภาพ และด้านการขนส่ง [6] เมื่อแนวโน้มความต้องการโลหิตเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดปัญหาโลหิตขาดแคลน นักวิจัยพยายามพัฒนาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ เช่น Logistic Regression Model ในการพยากรณ์จำนวนผู้บริจาค [7] การบริหารจัดการโลหิตคงคลังมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้งาน เช่น Barcode, RFID เป็นต้น ช่วยในการติดตามข้อมูลและรายงานอุณหภูมิ มีการแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีความผิดปกติของอุณหภูมิเกิดขึ้นที่รถโลหิต เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของโลหิตระหว่างการขนส่งไปให้โรงพยาบาล และการส่งโลหิตชนิดชนิดให้กับผู้ป่วย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติของประเทศไทยก็มีการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการทำงานโลหิตให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิชาการด้านการแพทย์และสุขภาพ แต่สำหรับการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์แล้ว ยังมีจุดอ่อนอยู่บ้าง

2.2 การกระจายโลหิตโดยศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภาวิชาชีพไทย จัดตั้งขึ้นเพื่อรับผิดชอบงานบริการโลหิตของประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดหาโลหิตไว้สำหรับช่วยเหลือผู้ป่วย ผู้ประสบอุบัติเหตุและเก็บสำรองไว้ใช้ในโรงพยาบาลต่างๆ

ทั้งของรัฐบาลและเอกชน พื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลเป็นแหล่งจัดหาโลหิตที่สำคัญที่สุดของประเทศ ทั้งนี้เพราะว่าอัตราการบริจาคโลหิตของคนในกรุงเทพและปริมณฑลสูงกว่าจังหวัดอื่นๆ หลายเท่าตัว แต่ละปีศูนย์ฯ จัดส่งโลหิตประมาณ 43% ของที่ได้รับบริจาคทั้งหมดไปสนับสนุนภาคบริการโลหิตและโรงพยาบาลต่างๆ ในส่วนภูมิภาค [8] โรงพยาบาลที่ต้องการใช้โลหิตจากศูนย์ฯ จะต้องสมัครเป็นสมาชิกในเครือข่ายเสียก่อน

เมื่อใดก็ตามที่มีผู้ป่วยต้องการใช้โลหิต แพทย์จะทำการสั่งโลหิต โรงพยาบาลต้นสังกัดจะส่งเอกสารร้องขอใช้โลหิตไปยังศูนย์ฯ [2] สำหรับพื้นที่บริการในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล โรงพยาบาลจะต้องส่งรถไปรับโลหิตเองที่ศูนย์ฯ ซึ่งอยู่บริเวณถนนอังรีดูนังต์ รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการติดต่อขอใช้โลหิตจากศูนย์ฯ



รูปที่ 2 ขั้นตอนการขอใช้โลหิตจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ



รูปที่ 3 รถที่มาจอดรอรับโลหิต ณ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

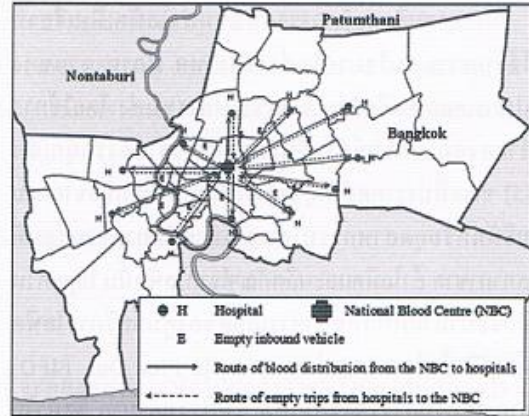
44 วารสารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตของคลรัญบุรี



รูปที่ 4 เจ้าหน้าที่จากโรงพยาบาลที่รอรับโลหิตหน้า เคาน์เตอร์จ่ายโลหิตในศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

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 ดังนั้นทุกครั้งที่มีรถวิ่งไปรับโลหิตจะมีเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นหนึ่งเที่ยวเสมอ ส่วนการวิ่งรถขากลับนั้นก็เป็นการวิ่งรถเกือบจะเที่ยวเปล่าเช่นกัน เนื่องจากบรรทุกถุงโลหิตจำนวนเพียงน้อยนิดเมื่อเทียบกับความจุและปริมาณของรถขนส่ง โดยรวมแล้วจึงมีจำนวนเที่ยววิ่งรถที่สูญเปล่ามากถึง 11 เที่ยว



รูปที่ 5 ลักษณะการกระจายโลหิตโดย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

ในสภาวะความเป็นจริง อาจจะมีโรงพยาบาลขอใช้โลหิตจากศูนย์มากถึง 100 แห่งต่อวัน ความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นจริงจะมากกว่าในตัวอย่างนี้หลายเท่าตัว 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 แนวทางวิเคราะห์ห้ออกแบบการขนส่งโลหิต

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 จะไม่สามารถจัดสรรเส้นทางได้ดี หากศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้ตั้งอยู่ใจกลางกลุ่มลูกค้า [9]

วิธี Nearest Neighborhood เมื่อจัดเส้นทางจนถึงจุดส่งสุดท้ายแล้วก็ต้องเชื่อมเส้นทางกลับมายังที่ศูนย์ ซึ่งในบางครั้งระยะทางช่วงสุดท้ายนี้ยาวไกลมากจนทำให้คำตอบที่ได้ไม่มีคุณภาพ สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีฮิวริสติกที่เรียกว่า Saving Algorithm ซึ่งเสนอโดย Clarke and Wright [10] เนื่องจากเป็นวิธีการจัดเส้นทางขนส่งที่เรียบง่ายใช้ได้ผลดีกับปัญหามหาขนาดใหญ่มิฉะนั้นลูกค้ามาก (โรงพยาบาล) เช่นงานวิจัยนี้ ใช้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบน้อย ได้รับความนิยมนยอมรับกันอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลานานสามารถนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ไม่ยาก จึงมีความสะดวกและสามารถประยุกต์ใช้งานได้จริง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษา วิเคราะห์และออกแบบระบบการขนส่งโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ กับโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

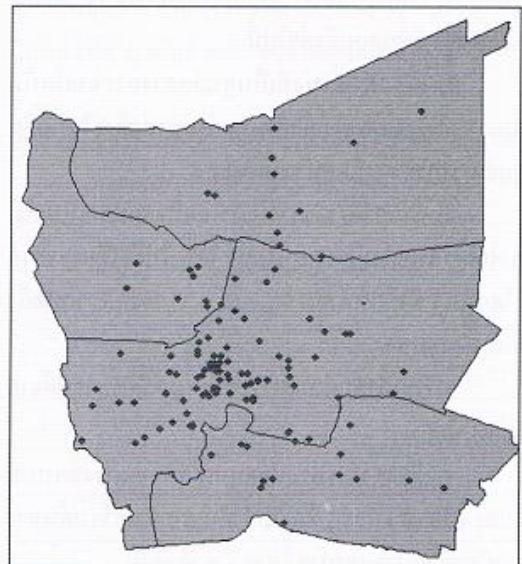
ซึ่งมีสมาชิกโรงพยาบาลทั้งหมด 131 แห่ง รูปที่ 6 แสดงการกระจายของตำแหน่งโรงพยาบาลในเครือข่ายบนแผนที่ดิจิทัลของระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ

3.2 ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ลักษณะของบรรจุภัณฑ์โลหิต วิธีการขนส่ง ประเภทและชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งโลหิต ซึ่งบ่งบอกถึงขีดความสามารถในการบรรทุก และอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ที่ตั้งของโรงพยาบาลที่ร้องขอใช้โลหิต เส้นทางขนส่ง พฤติกรรมการขนส่ง เช่น เวลาการเข้ารับบริการ ความหนาแน่น แหล่งของข้อมูลส่วนมากได้มาจากการสังเกต และการสอบถามจากเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ และผู้ที่มารับโลหิต

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



รูปที่ 6 ตำแหน่งโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

46 วารสารวิศวกรรมศาสตรสาขของคลังบุญศรี

3.3 ตัวแบบคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหา

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

Saving Algorithm พยายามรวมลูกค้า (โรงพยาบาล) หลายๆ รายให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางเดียวกันให้มากที่สุด ครอบคลุมเท่าที่รยังสามารถบรรทุกได้ การตัดสินใจว่าควร จะรวมเอาโรงพยาบาลหนึ่งๆ เข้ามาในเส้นทางเดียวกันหรือไม่ พิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนรวม (ระยะทาง) ระหว่างการแวะไปส่งโลหิตให้กับโรงพยาบาลเพิ่มขึ้น กับ การวิ่งกลับมายังศูนย์โดยทันทีหากพบว่าการแวะส่งโลหิต ทำให้ต้นทุนรวมลดลง (Saving) ก็ให้รวมโรงพยาบาล ดังกล่าวนั้นเข้ามาในเส้นทางขนส่งเดียวกัน Saving Algorithm จึงเป็นการเชื่อม 2 โรงพยาบาลเข้าสู่เส้นทางเดียวกันให้ได้มากที่สุดแทนการแยกกันส่งคนละเส้นทาง (หรือคนละเที่ยวนั่นเอง) หลักการคำนวณของ Saving Algorithm มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

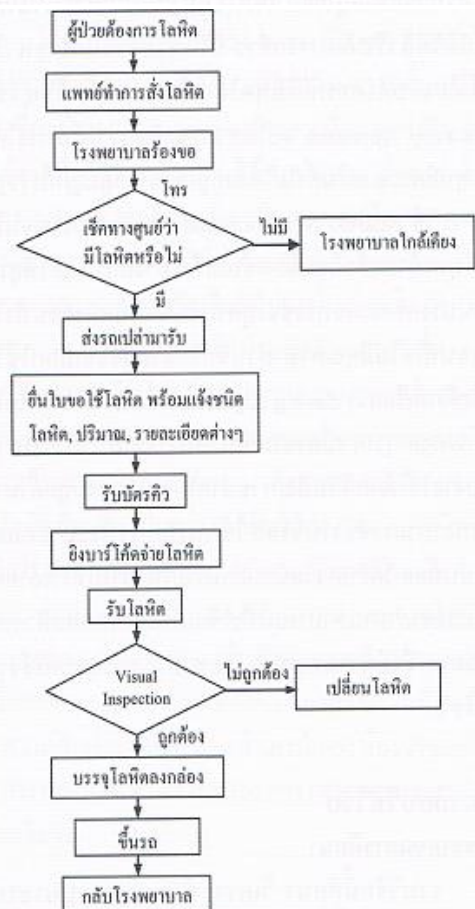
- 1) เลือกตำแหน่งที่เป็นศูนย์กลางกระจายโลหิต (Distribution Center) แล้วกำหนดเป็นจุดส่งที่ 0 ในที่นี้คือ ศูนย์การบริการโลหิตแห่งชาตินั้นเอง
- 2) คำนวณหาค่าการประหยัดที่จะผนวกเป็นเส้นทางเดียวกันของคูโรงพยาบาล i ใดๆ ไปยังโรงพยาบาล j ใดๆ (S_{ij}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $C_{0i} + C_{0j} - C_{ij}$ ทั้งนี้ C หมายถึง ต้นทุนค่าขนส่ง
- 3) เรียงลำดับค่าการประหยัด (S_{ij}) ที่คำนวณได้จาก มากไปน้อย
- 4) เลือกค่าการประหยัดมากที่สุดจากคูโรงพยาบาล i และ j โดยที่ i และ j ต้องไม่ซ้ำกัน จากนั้นสร้างเส้นทางย่อยโดยเชื่อมโรงพยาบาล i และ j เข้าด้วยกัน
- 5) ทำการคำนวณตามข้อ 3) และ 4) ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกโรงพยาบาลที่มาขอรับโลหิต

ในที่สุดจะได้ผลลัพธ์เส้นทางขนส่งซึ่งครอบคลุมทุกโรงพยาบาลตามที่ต้องการ

4. ผลการวิจัย

4.1 ปริมาณความต้องการใช้โลหิต

กระบวนการกระจายโลหิตนั้น เริ่มจากผู้ป่วยมีความต้องการใช้โลหิต แพทย์จึงทำการสั่งโลหิตผ่านทางโรงพยาบาลต้นสังกัดให้ห้องขอโลหิตไปยังศูนย์ฯ ตามแบบฟอร์มที่กำหนด ศูนย์ฯ ทำการตรวจสอบกับคลังว่ามีโลหิตเพียงพอให้เบิกจ่ายหรือไม่ หากมีพอ โรงพยาบาลจะจัดส่งรถไปยังศูนย์ฯ เพื่อมารับโลหิตที่ห้องจ่ายโลหิต ผู้ที่มารับโลหิตจะยื่นเอกสารใบขอใช้โลหิต จากนั้นรอกิวเรียกชื่อ รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนทั้งหมดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 7 ขั้นตอนการรับ - จ่ายโลหิตของศูนย์ฯ และโรงพยาบาลเครือข่าย

เมื่อถึงคิว ผู้ที่มารับโลหิตจะนำภาชนะมาบรรจุ โดยเจ้าหน้าที่ของศูนย์ฯ จะจัดเตรียมโลหิต และอิงบาร์-โค้ดจ่ายให้กับผู้ที่มารับ จากนั้นตรวจสอบว่าได้รับโลหิต และผลิตภัณฑ์ของโลหิตตรงตามที่ขอมาหรือไม่ 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 มีรถจำนวนมากจากโรงพยาบาล เครื่องข่ายมารับโลหิตที่ศูนย์ฯ 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 และความจุของรถงานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลแผนที่ดิจิทัลจากชุดข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ด้านเส้นทางคมนาคม (Transport Fundamental Geographic Data Set, TFGDS) ของสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม เมื่อกำหนดข้อมูลรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์ฯ และโรงพยาบาลเครือข่ายทั้งหมดลงบนแผนที่ดิจิทัลแล้ว 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

48 วารสารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตราชภัฏธนบุรี

โดยกำหนดให้

ศูนย์₁ = ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ (0)

001001 = โรงพยาบาลที่ 1

001101 = โรงพยาบาลที่ 2

...

104206 = โรงพยาบาลที่ 131

สำหรับข้อมูลปริมาณความต้องการใช้โลหิตของแต่ละโรงพยาบาลได้มาจากการสำรวจภาคสนามและสรุปไว้ในตารางที่ 1 ในการวิเคราะห์จะกำหนดให้ใช้รถตู้เป็นรถขนส่งต้นแบบ ซึ่งสามารถบรรทุกโลหิตได้ไม่เกิน 600 ถุง

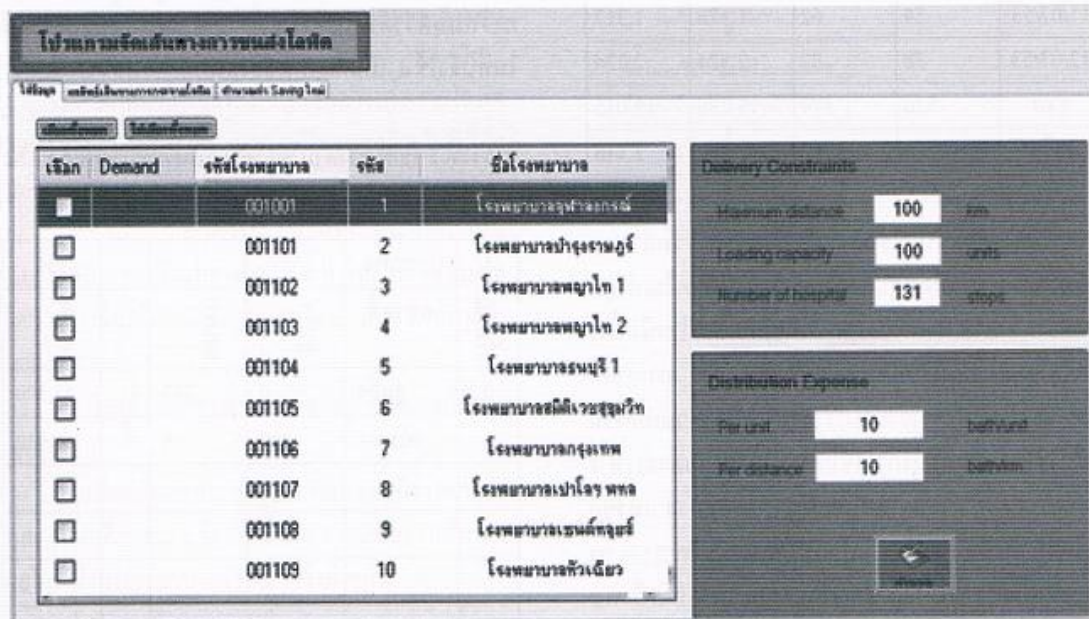
ข้อมูลทั้งหมดถูกบันทึกเป็นฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Access ในส่วนของการพัฒนา Saving Algorithm นั้น เขียนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Visual Basic 2008 ออกแบบให้มีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ที่เข้าใจง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน ลักษณะของโปรแกรมที่ออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นหน้าจอของโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลพื้นฐานก่อนที่จะทำการวิเคราะห์หรือออกแบบจัดเส้นทางขนส่ง ในหน้าจอนี้ผู้ใช้สามารถเลือกโรงพยาบาลที่ต้องการกระจาย

โลหิต 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 โปรแกรมการจัดการเส้นทางรถขนส่งโลหิต

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

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางรถขนส่งโลहित

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

หากเปรียบเทียบกับสภาพรถขนส่งที่เกิดขึ้นจริงเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 ซึ่ง 84 โรงพยาบาล ในเครือข่าย (จากตารางที่ 1) ต้องส่งรถมายังศูนย์ฯ เพื่อรอรับโลहित ระยะทางการวิ่งรถทั้งหมดสูงถึง 2,520 กม. เมื่อเทียบกับระบบขนส่งที่มีการจัดเส้นทางเสียใหม่ เห็นได้ชัดเจนว่ามีความประหยัดกว่ามาก จำนวนเที่ยววิ่งรถน้อยลงไป 67 เที่ยว ประหยัดระยะทางการขนส่งได้มากถึง

1,727 กม. หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้น 68.53% เห็นได้ชัดว่าหากมีการวิเคราะห์ที่ออกแบบระบบขนส่งโลहितเสียใหม่ จะสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งโลहितได้อย่างมาก และช่วยให้ประเทศชาติประหยัดพลังงานในภาคการขนส่งอีกด้วย

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาโซลูชันรถขนส่งโลहितของศูนย์บริการโลहितแห่งชาติ สภากาชาดไทย พบว่าระบบการขนส่งโลहितที่ปฏิบัติกันอยู่ในปัจจุบันยังสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้อีกมาก การที่แต่ละโรงพยาบาลต้องวิ่งรถเที่ยวเปล่ามารับโลहितไปจากศูนย์ฯ เสียทั้งเงิน เวลา และโอกาสในการนำรถขนส่งซึ่งส่วนมากเป็นรถพยาบาลไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น งานวิจัยนี้ใช้ความรู้ด้านบริหารศาสตร์และแนวคิดทางธุรกิจโลจิสติกส์มาออกแบบระบบขนส่งโลहितให้มีจำนวนเที่ยวการขนส่งน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แทนที่แต่ละโรงพยาบาลจะต้องส่งรถมารับโลहितเอง เปลี่ยนเป็นการกระจายโลहितออกจากศูนย์กลางไปให้โรงพยาบาลต่างๆ ที่อยู่ตามเส้นทางร่วมกัน โดยจำลองปัญหาการขนส่งที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาการจัดเส้นทางและวิเคราะห์ด้วยวิธีฮิวริสติก Saving Algorithm ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริงพบว่าสามารถลดจำนวนเที่ยววิ่งขนส่งได้เป็นจำนวนมากถึง 67 เที่ยว ระยะทางขนส่งรวมลดลง 1,727 กม. เมื่อนำไปใช้งานจริงย่อมสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้อย่างแน่นอน

6. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

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

50 วารสารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตราชภัฏธนบุรี

สำหรับงานด้านการขนส่งโลหิตนั้น เป็นศาสตร์ที่ต้องเรียนรู้เพิ่มทำให้การพัฒนาเป็นไปอย่างช้าๆ ประกอบกับภาระหน้าที่ความรับผิดชอบขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลนั้น เป็นของโรงพยาบาลในเครือข่าย ค่าใช้จ่ายมีได้เกิดกับศูนย์ฯ โดยตรง ความเร่งรีบในการปรับปรุงจึงอาจจะไม่มากเท่าที่ควร เนื่องจากความประหยัดที่เกิดขึ้นไม่ได้ติดอยู่กับศูนย์ฯ แต่เป็นของโรงพยาบาล ศูนย์ฯ เองก็ไม่มียุทธศาสตร์ที่เชี่ยวชาญด้านการขนส่ง ดังนั้นแนวทางในการลงทุนจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ทางออกที่ดีที่สุด อาจจะเป็นการให้โรงพยาบาลในเครือข่ายร่วมกันรับผิดชอบมูลค่าการลงทุนในระบบที่ออกแบบไว้ และว่าจ้างบริษัทขนส่งหรือโลจิสติกส์ที่มีความชำนาญรับไปดำเนินการ ซึ่งหากเป็นเช่นนี้ ศูนย์ฯ ก็ไม่จำเป็นต้องรับภาระค่าใช้จ่ายในการลงทุน และทำให้ระบบที่ออกแบบไว้มีความเป็นไปได้สูงในการนำไปปฏิบัติ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจาก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และมหาวิทยาลัยมหิดล ภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ขอบพระคุณแพทย์หญิงสร้อยสอางค์ พิฤศต ผู้อำนวยการนาวาโท แพทย์หญิง อุบลวัฒน์ จรูญเรืองฤทธิ์ รองผู้อำนวยการ และเจ้าหน้าที่ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและความร่วมมือเป็นอย่างดีระหว่างการสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรชนก โภธิบัณฑิตย์, สมชาย ปฐมศิริ, 2554. การวิเคราะห์รูปแบบและต้นทุนการกระจายโลหิตในประเทศไทย. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมแห่งชาติ 2010. 16 – 17 ธันวาคม 2553.
- [2] ปกัสนร สุขาบูรณ์, สมชาย ปฐมศิริ, 2554. ประเด็นปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล กรณีศึกษาของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมแห่งชาติ 2010. 16 – 17 ธันวาคม 2553.
- [3] Ryttila, 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.

APPENDIX K

A PUBLICATION IN THE 8th NATIONAL TRANSPORT CONFERENCE

*การประชุมวิชาการ การขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 8
พัฒนาการขนส่งหลายรูปแบบสู่ความเป็นเลิศทางเศรษฐกิจระดับโลก*



(NTC8-087)

โซ่อุปทานโลหิตและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายโลหิต

กรณีศึกษา: ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย

Blood Supply Chain and a Framework to Improve Distribution Efficiency:

A Case Study of the National Blood Centre, Thai Red Cross Society

ปภัสนสร สุขามูรณ์ (Papassorn Sukaboon)

สมชาย ปฐมศิริ (Somchai Pathomsiri)

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, p_sukaboon@yahoo.com

² ศูนย์ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบขนส่ง การจราจรและ โลจิสติกส์ (T-LEX Center) และ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, Somchai.Pat@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ:

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงเกี่ยวกับงานบริการโลหิตระดับชาติเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับโลหิตหรือส่วนประกอบของโลหิตอย่างเพียงพอ ทันทเวลาและมีความปลอดภัย บทความนี้กล่าวถึงผลการวิจัยโซ่อุปทานโลหิตและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล โดยห้วงไชนั้นเริ่มต้นที่ผู้บริจาคโลหิตไปจนกระทั่งสิ้นสุดที่คนไข้ซึ่งรอคอยใช้โลหิต ณ โรงพยาบาลปลายทาง จากการศึกษาพบว่าในแต่ละวันมีโรงพยาบาลในเครือข่ายมากกว่า 100 แห่ง ส่งรอมารับโลหิตไปจากศูนย์ฯ ทุกวันจึงเกิดการวิ่งรถเที่ยวเปล่าเป็นจำนวนมาก โรงพยาบาลหลายแห่งส่งรอมถูกเงินมารับโลหิต จึงมีต้นทุนค่าเสียโอกาสสูงมาก และที่สำคัญคือ การวิ่งรถจากกลับ ไปโรงพยาบาลก็เกือบจะเป็นเที่ยวเปล่าเช่นกัน เนื่องจากโลหิตที่ได้รับไปนั้นมิพริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับความจุของตัวรถ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวความคิดสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายโลหิตจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติไปยังโรงพยาบาลทั้งหลาย โดยการประยุกต์ใช้ศาสตร์การจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing) อาศัยวิธีการอวิวิตติคส์ของ Clark and Wright เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบเส้นทางขนส่ง ซึ่งช่วยลดจำนวนการวิ่งรถเที่ยวเปล่า ลดต้นทุนการกระจายโลหิต และลดการสูญเสียโอกาสในการใช้รถของโรงพยาบาลเพื่อกิจการอื่นที่มีค่ากว่า อันเป็นการปรับปรุงกระบวนการ โลจิสติกส์ของโลหิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามประเด็นที่ท้าทายที่สุดก็คือจะหาอย่างไรให้เส้นทางที่ออกแบบไว้นั้นเป็นจริงได้ในทางปฏิบัติ

คำสำคัญ: ห่วงโซ่อุปทานโลหิต, การกระจายโลหิต, อวิวิตติค, โลหิต, ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ



1. บทนำ

โลหิตมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิต โดยอาจนำไปช่วยเหลือผู้ป่วย ผู้ประสบอุบัติเหตุ การผ่าตัด และเก็บสำรองไว้ใช้ในโรงพยาบาลต่างๆ ทั้งของรัฐและของเอกชน ในแต่ละวัน โลหิตถูกนำมาใช้ในการรักษาเป็นปริมาณมาก [1] ซึ่งการได้รับโลหิตหรือส่วนประกอบโลหิตที่รวดเร็วและปลอดภัย จะช่วยให้การรักษาของแพทย์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการและดำเนินการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะด้านการกระจายโลหิตไปยังผู้ป่วย

ในประเทศไทย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทยเป็นเจ้าภาพหลักในการให้บริการโลหิต การกระจายโลหิตออกจากศูนย์ฯ ไปยังโรงพยาบาลต่างๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล (การกระจายโลหิตในพื้นที่ภูมิภาคมีลักษณะแตกต่างกัน อ่านได้จาก [8 – 9]) เริ่มจากผู้ป่วยมีความต้องการใช้โลหิต แพทย์จึงทำการสั่งโลหิตผ่านทางโรงพยาบาลต้นสังกัด โรงพยาบาลก็จะทำการร้องขอไปยังศูนย์ฯ จากนั้นตรวจสอบกับทางศูนย์ฯ ว่ามีโลหิตเพียงพอสำหรับการเบิกจ่ายหรือไม่ หากว่ามีพร้อม โรงพยาบาลจะส่งรถไปรับโลหิตจากศูนย์ฯ เมื่อผู้มารับได้รับโลหิตเรียบร้อยแล้ว จึงนำโลหิตกลับไปยังโรงพยาบาลต้นสังกัดเพื่อนำไปใช้กับผู้ป่วย ซึ่งเป็นผู้ใช้ขั้นสุดท้าย โดยขั้นตอนการกระจายโลหิตแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการกระจายโลหิต

จากสถิติพบว่าในแต่ละวันจะมีรถจากโรงพยาบาลวิ่งมารับโลหิตที่ศูนย์ฯ เป็นจำนวนมาก ทุกเที่ยวที่วิ่งมาจึงมีเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นหนึ่งเที่ยวเสมอ ทุกวันจึงมีปริมาณรถเที่ยว

เปล่าจำนวนมาก ก่อให้เกิดความสูญเปล่าในด้านพลังงาน เชื้อเพลิง อีกทั้งแต่ละคันยังจะต้องเสียเวลารอคอยเนื่องจากต้องเข้าคิวรอรับโลหิต โดยที่รถแต่ละคันถูกใช้งานไม่คุ้มค่า เนื่องจากเป็นการขนส่งที่ไม่เต็มคัน และปริมาณโลหิตที่ได้รับไปนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดความจุและปริมาตรของรถ ที่สำคัญคือ รถเหล่านี้เป็นรถพยาบาล ซึ่งมีคุณค่ามากกว่ารถขนส่งทั่วไป การนำรถพยาบาลมาวิ่งเที่ยวเปล่าถือเป็นการสูญเสียโอกาสอย่างใหญ่หลวงต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการบริการทางการแพทย์ให้กับผู้ป่วยที่มีความจำเป็นต้องใช้งาน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเด็นปัญหาการกระจายโลหิต

ในประเทศอังกฤษ อเมริกา ฝรั่งเศส และนอร์เวย์มีการจัดการและควบคุมการปฏิบัติงานเกี่ยวกับโลหิตจากส่วนกลาง [2] คล้ายกับศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ซึ่งเปรียบได้กับศูนย์กระจายสินค้า ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการจัดหา ตรวจสอบ จัดเก็บและเบิกจ่ายโลหิต ให้กับโรงพยาบาลในเครือข่ายและภาคบริการโลหิต โดยห่วงโซ่อุปทานโลหิต จะเป็นขั้นตอนเชื่อมกันตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ เริ่มตั้งแต่โลหิตของผู้บริจาคโลหิตไปจนถึงผู้รับโลหิตขั้นสุดท้าย นั่นคือ ผู้ป่วย [3] ในกระบวนการทั้งหมดนี้จะมีผู้บริจาคโลหิต มีการเจาะเก็บโลหิต มีการแยกส่วนประกอบของโลหิต ตรวจสอบคุณภาพของโลหิต จัดเก็บ เบิกจ่ายโลหิต และการกระจายโลหิต ซึ่งในห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้นมีปัญหาและความซับซ้อนมาก [4] โดยเฉพาะปัญหาทางด้านการกระจายโลหิต จึงเป็นประเด็นปัญหาที่ต้องได้รับการใส่ใจ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการจัดการขนส่งอย่างประหยัด หรือการควบคุมคุณภาพของโลหิต ระหว่างการขนส่ง ปัญหาที่พบเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เกิดขึ้นกับหลายประเทศ ทั่วโลก ประเทศต่างๆ จึงพยายามที่จะจัดทำตารางเวลาการขนส่งและเส้นทางการเดินทาง โดยมีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ เกิดต้นทุนรวมต่ำที่สุด ระยะทาง



ต่ำที่สุด และลดการรอคอยของรถที่มารับ โลหิต [5] เช่นเดียวกับประเทศไทย ที่มีปัญหาทางการกระจายโลหิต แต่ละวันจะมีรถส่งมาจากโรงพยาบาลเป็นจำนวนมาก ผลที่ตามมาคือทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของทรัพยากรในการกระจายโลหิต เช่น รถจากโรงพยาบาล เครือข่ายที่นำมารับโลหิต พนักงานประจำรถที่มารับโลหิต เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพทางการขนส่งให้ดีขึ้น เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของการกระจายโลหิต

2.2 แนวคิดการจัดเส้นทางการขนส่ง

อาจกล่าวได้ว่าลักษณะการขนส่งโลหิตเป็นปัญหาที่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการอาศัยศาสตร์การจัดเส้นทางที่ใช้กันในทางธุรกิจขนส่งและโลจิสติกส์ การทบทวนทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในวิจัยนี้ควรเลือกใช้วิธีการหาค่าตอบด้วยฮิวริสติก เนื่องจากขนาดของปัญหาใหญ่มาก มีจำนวนลูกค้า (โรงพยาบาล) มากกว่าหนึ่งร้อยแห่ง ซึ่งการคำนวณหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) นั้นใช้ระยะเวลาเกินไป ในทางปฏิบัติวิธีฮิวริสติกอาจไม่สามารถแก้ปัญหาให้ใกล้เคียงกับคำตอบจริงได้ เนื่องจากมีข้อด้อย เช่น วิธี Sweep Approach จะไม่สามารถจัดสรรเส้นทางได้ดีหากศูนย์กลางการกระจายไม่ได้ตั้งอยู่ใจกลางกลุ่มลูกค้า วิธีการแบบฮิวริสติกเป็นวิธีที่ขาดมุมมองที่กว้างไกล เนื่องจากมุ่งหวังที่จะแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเป็นหลัก เช่น การจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธี Nearest Neighborhood จะจัดเส้นทางจนถึงจุดส่งสุดท้ายแล้วก็ต้องเชื่อมเส้นทางกลับมายังที่ศูนย์ ซึ่งในบางครั้งระยะทางดังกล่าวเป็นระยะทางที่ไกลจนทำให้คำตอบที่ได้ไม่มีคุณภาพ วิธีการในงานวิจัยนี้เลือกใช้ได้แก่ Clark and Wright (1964) [6] เนื่องจากเป็นวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ได้จำกัดจำนวนยานพาหนะ และใช้เวลาประมวลผลหาค่าตอบน้อย [7] อีกทั้งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ไม่ยาก ทำให้

สะดวกและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายโลหิตระหว่างศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติกับโรงพยาบาลเครือข่ายภายในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งมีจำนวนโรงพยาบาลสมาชิกทั้งหมด 131 แห่ง

3.2 ตัวแบบคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหา

จากการพิจารณาสภาพปัญหาของงานวิจัยนี้ พบว่าสอดคล้องกับรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem, VRP) การแก้ปัญหานี้มีทำได้หลากหลายวิธี เช่น การสร้างตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ตัวแปรจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Program) ซึ่งถือเป็นงานที่ยู่ยากมากหากต้องการนำไปใช้งานจริง หรือการใช้โปรแกรมเฉพาะทางในการประมาณการคำตอบ ซึ่งมีราคาแพง งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการแก้ปัญหา VRP แบบฮิวริสติก เนื่องจากหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ไม่ซับซ้อนมาก อาศัยเพียงการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา เพื่อหาค่าตอบที่พอใช้ได้ และพัฒนาได้เองด้วยต้นทุนที่ต่ำ Clark and Wright (1964) [6] เป็นวิธีการฮิวริสติกส์แบบหนึ่งที่สามารถใช้แก้ปัญหาได้ดี ใช้เวลาในการเตรียมข้อมูลสำหรับการคำนวณค่อนข้างน้อย อาศัยกฎเกณฑ์ในการค้นหาจุดส่ง โดยเชื่อม 2 nodes เข้าสู่เส้นทางขนส่งเดียวกัน หากประหยัดกว่าการแยกกันส่งคนละเส้นทาง หลักการคำนวณเป็นดังนี้

- 1) เลือกจุด (Node) ที่เป็นศูนย์กลางกระจายโลหิต (Central Depot) แล้วกำหนดเป็นจุดส่งที่ o
- 2) คำนวณหาค่าการประหยัดที่จะผนวกเป็นเส้นทางเดียวกันของคู่จุดส่ง i ใดๆ ไปยังจุดส่ง j ใดๆ (S_{ij}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d_{oi} + d_{oj} - d_{ij}$
- 3) เรียงลำดับค่าการประหยัด (S_{ij}) จากมากไปน้อย



4) เลือกค่าการประหยัคมากที่สุดจากคู่จุดส่ง i และ j โดยที่ i และ j ต้องไม่ซ้ำกัน จากนั้นสร้างเส้นทางย่อยโดยเชื่อมจุดส่ง i และ j

5) ทำ 3) และ 4) ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกจุดส่ง

3.3 การสำรวจรวบรวมข้อมูล

เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลทุกมิติที่เกี่ยวข้องกับการกระจายโลหิต เช่น บทความต่างประเทศ และงานประชุมเชิงปฏิบัติการงานบริการโลหิตระดับชาติ ส่วนการสำรวจข้อมูลภาคสนามทำระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงสิงหาคม พ.ศ. 2553 เป็นการศึกษาขั้นตอนของกระบวนการกระจายโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ โดยการสัมภาษณ์และเพื่อสังเกตการทำงานของบุคลากรภายใน รวบรวมรายชื่อและที่ตั้งของโรงพยาบาลที่เป็นสมาชิกเครือข่าย เก็บภาพ ศึกษาขั้นตอนการขอรับโลหิต สำรวจประเภทและจำนวนยานพาหนะ บรรจุภัณฑ์ที่นำมารับโลหิตในแต่ละวัน จับเวลาผู้เข้าคิวรอรับโลหิต รวมถึงฐานข้อมูลจากชุดข้อมูลพื้นฐานเชิงพื้นที่ที่ด้านเส้นทางคมนาคม (Transport Fundamental Geographic Data Set: TFGDS) ของสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์วิธีการกระจายโลหิตในกรุงเทพและปริมณฑล

4. ผลการศึกษาวิเคราะห์และบทวิจารณ์

4.1 ปริมาณความต้องการโลหิต

ในแต่ละวัน มีรถจำนวนมากที่โรงพยาบาลเครือข่ายส่งมารับโลหิต บางโรงพยาบาลส่งมาหลายเที่ยวต่อวัน ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจำนวนโรงพยาบาล จำนวนเที่ยวรถที่มารับโลหิตและปริมาณโลหิตที่จ่ายระหว่างวันที่ 6 – 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2553

ตารางที่ 1 ปริมาณความต้องการโลหิต

วัน/เดือน/ปี	จำนวนโรงพยาบาล	จำนวนเที่ยว	จำนวนโลหิต (หน่วย)
06/07/53	72	75	2,324
07/07/53	84	94	2,453
08/07/53	83	92	2,465
09/07/53	80	89	2,417
10/07/53	69	75	1,577
11/07/53	54	62	1,176
12/07/53	78	87	2,824
รวม	520	574	15,236

4.2 การปรับปรุงวิธีการกระจายโลหิต

การที่แต่ละโรงพยาบาล ต้องเดินทางไปรับโลหิตเองจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากเกินควร เนื่องจากเป็นการวิ่งไปแล้วกลับ โดยได้โลหิตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน สมควรทำการปรับปรุงวิธีการกระจายโลหิตเสียใหม่ให้ดีขึ้น จึงเสนอให้ทดลองเปลี่ยนเป็นการกระจายออกจากศูนย์ฯ และเวียนรถไปส่งโลหิตให้กับโรงพยาบาลต่างๆ ที่ต้องการใช้โลหิต

การวิเคราะห์เริ่มจากการกำหนดข้อมูลรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ และโรงพยาบาลเครือข่ายทั้งหมดลงบนแผนที่ดิจิทัลแล้วคำนวณระยะทางเดินทางระหว่างจุดต่างๆ หรือ Travel Distance Matrix, d_{ij} โดยใช้โปรแกรม ArcMap 9.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณจะได้ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุด i และ j ใดๆ ทั้งนี้การคำนวณจะใช้เวลาน้อยที่สุด (Shortest Time) เป็นเกณฑ์ ลักษณะของผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 2 ในตารางนี้ โรงพยาบาลต่างๆ ถูกแทนด้วยรหัสประจำซึ่งศูนย์ฯ เป็นผู้กำหนด



ตารางที่ 2 Travel Distance Matrix (เมตร)

d_{ij}	ปลายทาง	0	1	...	...	131
เริ่มต้น	สถานที่	ศูนย์	001001			104206
	ศูนย์		0	163	...	...	18,870
0	001001	377	0	...	...	18,930
...
...
131	104206	18,863	19,134	...	...	0

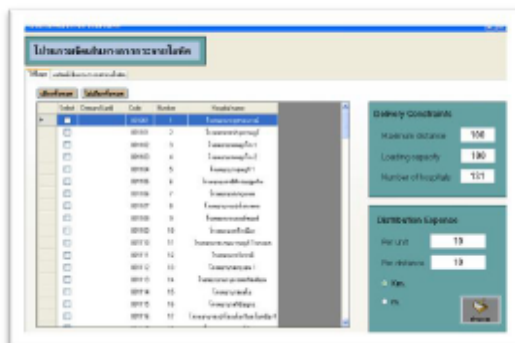
ตารางที่ 3 ตัวอย่างการจัดเส้นทางกระจายโลหิต

ลำดับที่	เส้นทาง	ระยะทางรวม (เมตร)
1	0-61-36-0	35,592
2	0-45-65-56-73-53-0	59,723
3	0-129-118-124-121-64-0	86,327
...
...
...
17	0-120-116-127-14-0	47,966
ระยะทางรวม		804,039

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual Basic 2008 พัฒนาวิธีการของ Clark and Wright [6] เนื่องจากความสะดวกง่ายต่อการศึกษา ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณบันทึกด้วยฐานข้อมูล Microsoft Access ภาพที่ 2 แสดงหน้าจอของโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลพื้นฐานก่อนที่โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์จัดเส้นทางให้

โปรแกรมที่ออกแบบมานั้น ผู้ใช้สามารถเลือกโรงพยาบาลที่ต้องการกระจายโลหิต กำหนดปริมาตรความต้องการและข้อจำกัดต่างๆ เช่น ระยะทางขนส่งไกลที่สุดของแต่ละเส้นทาง ข้อจำกัดค่าน้ำมันกบรถทุก จำนวนจุดส่งตลอดเส้นทาง เป็นต้น จากนั้นทำการคำนวณโดยเลือกจัดเส้นทางกระจายโลหิตสำหรับวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 มาเป็นตัวอย่าง ซึ่งได้ผลลัพธ์เส้นทางตามที่แสดงในตารางที่ 3

ตามข้อมูลในตารางที่ 1 วันที่ 12 กรกฎาคม มีการขนส่งโลหิตไป-กลับทั้งสิ้น 87 เที่ยว (หรือ 87 เส้นทางนั่นเอง) เมื่อคำนวณระยะทางรวมทั้งหมด พบว่ามีค่าเท่ากับ 2,437 กิโลเมตร แต่เมื่อนำมาจัดเรียงเส้นทางกระจายโลหิตเสียใหม่ โดยเริ่มต้นจากการบรรทุกโลหิตจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ไปยังโรงพยาบาลต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงในเส้นทางเดียวกัน จนกว่าจะครบข้อจำกัดหรือส่งโลหิตครบ จากนั้นจึงกลับมาถึงศูนย์บริการโลหิต ซึ่งตัวอย่างการจัดเส้นทาง จะเห็นว่ามีจำนวนการขนส่งทั้งหมด 17 เที่ยว (หรือ 17 รอบหรือ 17 เส้นทาง) ระยะทางรวมเหลือเพียง 804.04 กิโลเมตร (33% ของระยะทางรวม ณ ปัจจุบัน) ซึ่งประหยัดระยะทางการขนส่งลงได้ 1,633 กิโลเมตรต่อวัน เห็นได้อย่างชัดเจนว่าหากมีการวิเคราะห์และออกแบบการกระจายโลหิตในกรุงเทพและปริมณฑลเสียใหม่ สามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งของโรงพยาบาลเครือข่ายลงได้อย่างมาก ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานของชาติได้อีกทางหนึ่งด้วย



ภาพที่ 2 โปรแกรมการจัดเส้นทางกระจายโลหิต

5. สรุปผล

การกระจายโลหิตในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลยังมีปัญหาอยู่มากที่รอการปรับปรุงแก้ไข งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของความพยายามในการปรับปรุงโซ่อุปทานโลหิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ จากวิธีการส่ง



โลหิตแบบปัจจุบันที่โรงพยาบาลเครือข่ายส่งรอมารับโลหิตไปจากศูนย์ฯ มีต้นทุนสูงมาก เสนอแนวคิดให้มีการกระจายโลหิตออกจากศูนย์กลางแทน จากการวิเคราะห์คำนวณพบว่าแนวคิดที่เสนอมีสถียรภาพในการลดระยะทางการขนส่งรวมลงได้ถึง 1,633 กิโลเมตรต่อวัน หรือลดไปจากเดิม 67%

อย่างไรก็ตามความประหยัดจำนวนมากนี้ หากเกิดขึ้นจริงจะเป็นประโยชน์โดยตรงกับโรงพยาบาลในเครือข่าย มิได้ลดต้นทุนการดำเนินการของศูนย์ฯ แต่อย่างใด เนื่องจากศูนย์ฯ ไม่ได้มีภาระหน้าที่ในการกระจายโลหิตให้ถึงโรงพยาบาลในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล จึงอาจจะไม่มีแรงจูงใจที่จะนำแนวคิดนี้ไปปฏิบัติจริง เพราะแทบจะไม่มีส่วนได้ส่วนเสีย อีกทั้งไม่มีความถนัดในการดำเนินการขนส่ง แนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ ศูนย์ฯ อาจเชิญชวนให้บริษัทภายนอก (Outsource) มาเป็นผู้รับภาระหน้าที่การกระจายโลหิต โดยได้รับค่าจ้างจากมูลค่าการประหยัดที่โรงพยาบาลแต่ละแห่งไม่ต้องจ่าย ศูนย์ฯ เอง ก็จะได้รับความสะดวกสบายมากขึ้นไม่ต้องติดต่อประสานงานกับโรงพยาบาลจำนวนมากในแต่ละวัน ลดความแออัดคับคั่งบริเวณหน้าเคาน์เตอร์จ่ายโลหิต ระดับการให้บริการ (Level of Service) ก็จะดีขึ้น แนวทางนี้ถือว่าเป็นกลยุทธ์การลงทุนแบบ Win-Win การดำเนินการตามแนวทางนี้ ศูนย์ฯ อาจกำหนดต้นทุนที่เหมาะสมหรือ “ราคากลาง” สำหรับการว่าจ้างบริษัทภายนอก โดยประมาณการได้จากระยะทางรวมที่โปรแกรมคำนวณไว้ให้ โดยอนุญาตให้บริษัทมีต้นทุนค่าเสียหายและกำไรเพิ่มเติมขึ้นส่วนหนึ่ง ส่วนจะเป็นไปได้มากน้อยหรือรวดเร็วเพียงใด ต้องยอมรับความจริงว่าขึ้นอยู่กับผลตอบแทนทางธุรกิจเป็นสำคัญหากสามารถจูงใจให้โรงพยาบาลเข้าร่วมได้มากๆ บริษัทภายนอกเห็นโอกาสทางธุรกิจ ศูนย์ฯ ไม่ทำ

ให้ผู้ใช้ต้องแบกภาระต้นทุนค่าใช้จ่ายโลหิตเพิ่มสูงขึ้น แนวทางดังกล่าวก็มีโอกาสมากที่จะเกิดขึ้นได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และมหาวิทยาลัยมหิดล ภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและความร่วมมือระหว่างการศึกษา รวบรวมข้อมูลภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

- 1) Delen D., Erraguutla M., Mayer J. R., Wu C. 2009. Better management of blood supply-chain with GIS-based. Annual Operation Research, 185, 181 - 193.
- 2) Rock, G., Akerblom, O., Berneus, O., Herve P., Jacobs, P., Kelly, T., MacPherson, J., Nydegger, U., Segatchian, G., Urbaniak, S., Valbonesi, M. (2000) "The supply of blood products in 10 different systems or countries." Transfusion Science 22: 171-182
- 3) Ryttila 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) Jinxin, Y., (2003) "Vehicle routing with time windows and time-dependent reward: A problem from the American Red Cross" Manufacturing and Service Operations Management 5(1): 74-77
- 6) 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.
- 7) Laporte G., Gendreau M., Potvin J., Semet F. 2000 Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem.

การประชุมวิชาการ การขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 8
พัฒนาการขนส่งหลายรูปแบบสู่ความเป็นเลิศทางเศรษฐกิจระดับโลก



- International Transactions in Operational Research, 7: 285 - 300.
- 8) พรชนก โพธิ์บัณญัติ และ สมชาย ปฐมศิริ 2553. การกระจายโลจิสติกส์ระดับชาติ: วิธีการปัจจุบัน ประเด็นปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพ การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการแห่งชาติ 2010 (CD-ROM) สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ กรุงเทพฯ 16 - 17 ธันวาคม 2553
 - 9) พรชนก โพธิ์บัณญัติ และสมชาย ปฐมศิริ 2554. การวิเคราะห์รูปแบบและต้นทุนการกระจายโลจิสติกส์ในประเทศไทย ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554 (CD-ROM) ชลบุรี 20 - 21 ตุลาคม 2554

ผศ. ดร. สมชาย ปฐมศิริ เป็นอาจารย์ประจำสอนหนังสือ ทำวิจัยและบริการวิชาการ ด้านวิศวกรรมขนส่ง จราจรและโลจิสติกส์ อีกทั้งดำรงตำแหน่งเป็นหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 25/25 ถ. พุทธมณฑล 4 ต. ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170 โทร. 02-889-2138 ต่อ 6396-7 โทรสาร 02-889-2138 ต่อ 6388 E-mail: Somchai.Pat@mahidol.ac.th

เกี่ยวกับผู้เขียน

	<p>นางสาวปัทสสร สุขาบूर्ณ ประวัติการศึกษา ปริญญาตรี : สำเร็จการศึกษา สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปริญญาโท : กำลังศึกษา สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล งานวิจัยที่สนใจ Logistics and Supply Chain Management เน้นทางเรื่อง Healthcare logistics</p>
	<p>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ปฐมศิริ วุฒิสมาชิกของ วสท. และสมาชิกสภาวิศวกรระดับสามัญ สำเร็จการศึกษา วศบ. โยธา (เกียรตินิยม), วศม. (ขนส่งและจราจร) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, MBA (หลักสูตรผู้บริหารระดับสูง) จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และ PhD. (Transportation Systems Engineering and Planning) จาก University of Maryland, USA</p>

APPENDIX L

A PUBLICATION IN THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND SYSTEM 2013 (ICIESM 2013), BARCELONA, SPAIN, FEBRUARY 27-28, 2013

Determination of a Fair Price for Blood Transportation by Applying the Vehicle Routing Problem: a Case for National Blood Center, Thailand

S. Pathomsiri, P. Sukaboon

Abstract—The National Blood Center, Thai Red Cross Society is responsible for providing blood to hospitals all over the country. When any hospital needs blood, it will have to send the vehicle to pick up at the NBC. There are a lot of vehicles to pick up blood at the NBC every day. Each vehicle is usually empty for inbound trip and a little loaded for outbound. The NBC realized such waste or loss and there have been the third party offered to distribute blood and charge for fee. This paper proposes to apply the vehicle routing problem (VRP) for estimating the fair price. The idea is tested with the real data during seven-day period of 6 – 12 July 2010 to estimate the fair price for transporting blood in Bangkok Metropolitan Region.

Keywords—Blood Supply Chain, Vehicle Routing Problem, Heuristic, Saving Algorithm, Fair Price.

I. INTRODUCTION

Like other countries around the world, Thailand uses a large amount of blood every day. Blood service in Thailand is responsible by the National Blood Center (NBC) housed in Bangkok, the capital city. When a hospital needs blood for its patient, it has to request and send a vehicle to pick-up blood at the NBC. The incoming vehicle is always almost empty for the front-haul trip and little loaded for the back-haul because the amount of blood is very little as compared to the capacity of the vehicle. In addition, the drivers have to spend a long time waiting for only few blood units due to crowded queues from different hospitals at the NBC. Many vehicles are the ambulance which is very valuable for emergency case. From the logistic perspective, the current protocol incurs a lot of inefficiency in terms of excessive fuel and other resources as well as the opportunity loss to utilize the vehicle.

In fact, the NBC is well aware about this inefficient transportation system. However, it cannot do much due to the lack of expertise and understanding about transportation business. Although in the past, there have been a few third party logistic providers offered to take care of the blood

transportation in exchange of fee, the NBC administrators could not make decision. On one hand, the NBC feels that the fee is too high and is very reluctant to add it to the price of blood. On the other hand, the NBC does not know the right or fair price for negotiation or bidding.

This research is aimed to supply the information on the fair price for the NBC to make an informed decision. We propose to determine the fair price for transporting blood by using the solution to the vehicle routing problem (VRP) as the basis. The idea is to treat blood just like other goods that usually required efficient route planning when the customers (or hospitals, in this application) are many. Then, we seek to re-route transportation of blood where the NBC is the distribution center (or depot in VRP terminology) and hospitals in the blood service network are customer points. Suppose that the carrier is somehow efficient, the least-cost solution to the VRP should be close to its cost. And if we allow for some overhead charge and profit, the NBC will be able to come up with the reasonable fair price for bidding. In this paper, we report the research results in six sections. Followed this introductory section, section II briefly provides the literature review on blood distribution issues, VRP mathematical model and transportation management. Section III explains about the research methodology. The analysis results and discussion are in section IV. Last, section V concludes the paper together with the recommendations.

II. LITERATURE REVIEW

A. Blood Distribution Problems

Daily, there are a large number of patients who need blood in their treatment, so it is vital that hospitals store sufficient blood. However, the life cycle of blood is relatively short; therefore, too many blood units should not be stored. Nonetheless, we cannot allow a blood shortage to happen as it will endanger lives of patients. Consequently, hospitals have to send their vehicles to the NBC for picking up blood. As a result, there is a transportation cost which mainly consists of the vehicle cost, gasoline, and the driver, etc.

Past researches show that analyzing the blood supply chain is difficult and complex. In particular, the problem of blood distribution [1] in developed countries such as the United States of America and England tried to schedule transportation

P. Sukaboon is with the Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, Nakornpathom province 73170, Thailand (e-mail: p_sukaboon@yahoo.com)

S. Pathomsiri is with the Department of Civil and Environmental Engineering, Mahidol University, Nakornpathom province 73170, Thailand (phone: + 662-889-2138 ext. 6396-7; fax: +662-889-2138 ext. 6388; e-mail: Somchai.Pat@mahidol.ac.th)

and routes [2]. The best answer to this problem is the effective and most profitable or most economical distribution plan. The blood distribution problem can be viewed as the vehicle routing problem (VRP) which is an important problem in logistics management. The distribution concept is similar to milk runs (delivery problem) operation. Rather than the hospital arranges the vehicle to pick-up blood at the NBC, a vehicle may be dispatched to deliver the blood to a series of hospitals along the route.

B. Mathematical Model for Vehicle Routing Problem

The VRP occurs in many types of businesses such as mail, raw milk, auto parts, oil transporting, etc. Mathematically, the vehicle routing problem is the NP-Problem which is very difficult to find an optimal solution, especially when the problem in terms of the number of customer nodes is large. Finding the best answer may take a very long time to calculate or it may be impossible to find an answer. There are two possible solution approaches to tackle the VRP; i.e., exact and approximation methods.

I. Exact Method

First of all, the VRP is formulated as the mixed integer linear program (MILP). This method solves such the mathematical formulation by using the sophisticated algorithm to explore all possibilities until it finds the optimal solution. Intuitively, this method is very time-consuming, so it is ideal for a small problem which has a small number of customers. However, it also requires very high efficient solver.

II. Approximation Method

This method uses heuristic to define some steps to solve the problem. The solution does not guarantee to be the optimal. If an algorithm is efficient, it will be able to solve the large problem quickly. One of well-known heuristics is saving algorithm [3 - 4] etc.

Zanakis and Evan (1981) [5] suggested using a heuristic to find a solution when the nature of the problem is complex like a problem that has so many practical terms that the exact method takes too long time to find the solution. Having learned from previous research, here the saving algorithm is adopted. Although the algorithm may be old, the research idea is simply to get the fair price, not the optimal one. Therefore, the algorithm is suitable to obtain the solution in a short period of time [4], [6]. Another good thing is that it is not difficult to code. This makes it convenient and easy to apply in the real implementation.

C. Transportation Management

An important objective of transportation is to deliver products to customers according to their requirements with the minimum total cost. If the problem of route management and distribution are solved effectively, the total transportation cost can be reduced to as much as 5 - 20% [7]. For the success of their businesses, entrepreneurs should try to reduce all involved costs as much as possible, particularly the transportation cost, which is the highest logistics cost of most businesses. Regarding the transportation management, the

owners of goods have two options; namely, to deliver the merchandise by oneself, or to hire a carrier for the transportation task.

At present, the NBC is analogous to a merchandise (blood) owner. However, the NBC is currently not taking responsibility of delivering blood to hospitals in Bangkok Metropolitan Region. Thus it does not have so much pressure or motivation to improve the blood distribution. Since it does not carry the cost of transportation, the NBC does not have to worry much about the expense. However, there is the possibility for upcoming future that stakeholders of blood distribution will realize the necessity of enhancing efficiency of blood distribution. There used to be a few carrier companies contacted the NBC and offer their services for blood distribution. These companies suggested charging for transportation cost as the percentage of blood price delivered to hospitals. However, the NBC perceived that the charge was quite high, and it would incur criticism of taking too much profit if the cost is transferred to hospitals. This would contrast with the operational philosophy of the NBC, which was founded as a non-profit organization. Thus the NBC has not taken any decisions regarding this matter, although it recognizes the persistent problems of blood distribution. If, in the future, the NBC make a decision that it should administer blood distribution, the likelihood is that the NBC will hire a carrier company for transportation services. This is due to its inadequacy of transportation skill. The analyses on route administration presented in this paper will reveal costs of efficient blood transportation, which should be useful for the NBC. With the guidance of these resulting costs, the NBC should be able to determine a fair price for considering about hiring a company.

III. RESEARCH METHODOGY

A. Scope of the Study

This research analyzes blood distribution between the NBC and the network hospitals in Bangkok Metropolitan Region. There are totally 131 member hospitals in the network. Fig. 1 shows location arrangement of the network hospitals on a digital Geographic Information System map within Bangkok Metropolitan Region.

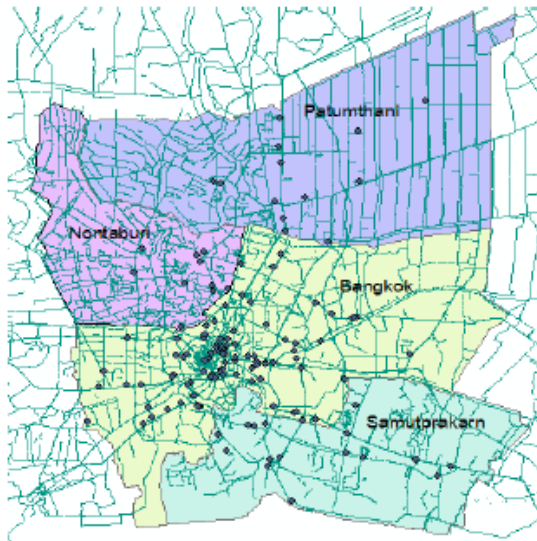


Fig. 1 Locations of the network hospitals in Bangkok Metropolitan Region

B. Data Collection

This research collected a great deal of relevant data regarding general characteristics of blood services by the NBC. The procedures of data collection started from preliminarily reviewing a good number of international journals and national symposiums/workshops regarding blood distribution services. Then a series of field observations were conducted to collect detailed data. The field observations began by interviewing the NBC’s staff. Names and locations of hospitals that are network members of the NBC were collected. Photos were taken in order to study procedures of receiving blood at the NBC. Types and number of vehicles sent from hospitals as well as their containers used for receiving blood were recorded. Quantity of daily blood demand of the network hospitals was also collected. Data

collection regarding daily blood demand took place at the NBC for a period of seven days, during 6 to 12 July 2010.

C. Data Preparation

The first set of data needed for solving the VRP is the distance matrix, which represents all distances along the roads from all nodes to all nodes in the network. These nodes refer to the NBC and all the network hospitals. For distance calculation, a GIS software package called ArcMap 9.3 was used. The distances were recorded in a form of Travel Distance Matrix, d_{ij} . Some part of the matrix is shown as an example in Table I.

TABLE I
AN EXAMPLE OF THE DISTANCE MATRIX

d_{ij}	0	1	2	...	...	131
0	0	163	3,406	...	...	18,870
1	377	0	3,244	...	...	18,930
2	3,759	3,383	0.00	...	...	20,285
...
...
131	18,863	19,026	20,544	...	...	0

Set 0 = the NBC
 1 = Hospital 1
 2 = Hospital 2
 ...
 131 = Hospital 131

The second set of data is blood demands of the hospitals. The data were collected during a period of seven days. The mean value of daily blood demand by hospital was calculated. The results were then used as the figures of blood quantity delivered to the network hospitals. This will allow VRP ready to be solved. Characteristics of daily blood demand data are presented in Table II.

TABLE II
BLOOD DEMAND DURING JULY 6-12, 2010

number	Hospitals	Blood Volume (bags)							Total	Average
		6	7	8	9	10	11	12		
1	Hospitals 1	346	481	251	438	75	116	330	2037	291
2	Hospitals 2	43	25	107	28	22	24	76	325	46
...
...
131	Hospitals 131	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	2,324	2,453	2,465	2,417	1,577	1,176	2,824	15,236	2,177

D. Mathematical Modeling

The problem of blood distribution has a characteristic that correspond to a pattern of VRP. Since the problem size is very large, by containing over 100 customers (network hospitals), a saving heuristic is then adopted for solving the VRP in the reasonable amount of time. The algorithm is coded in Visual Basic 2008. Procedures for calculation of the algorithm are as follows;

I. Choose the central depot, which is the NBC

II. Calculate for saving values that will be resulted from integrating multiple routes into the same one between each pair of node *i* to node *j*. The saving cost (S_{ij}) is equal to $d_{oi} + d_{jo} - d_{ij}$, where:

O = the central depot (the NBC)

d_{oi} = distance from the NBC to hospital *i*

d_{jo} = distance from the hospital *j* to the NBC

d_{ij} = distance from hospital *i* to hospital *j*

TABLE III
AN EXAMPLE OF SAVING DISTANCE VALUES (M.)

S_{ij}	d_{oi}	d_{jo}	d_{ij}	Saving distance
$S_{1,2}$	377	3,406	3,244	$377 + 3,406 - 3,244 = 539$
$S_{1,3}$	377	3,485	3,323	$377 + 3,485 - 3,323 = 539$
$S_{1,4}$	377	4,830	4,963	$377 + 4,830 - 4,963 = 244$
..
$S_{131,129}$	18,863	27,391	32,948	$18,863 + 27,391 - 32,948 = 13,307$
$S_{131,130}$	18,863	42,093	47,649	$18,863 + 42,093 - 47,649 = 13,307$

Table III Show example of saving values. Sort the saving values (S_{ij}) descending

IV. Choose the highest saving value from each pair of node *i* to node *j*, without any repetition of node *i* and node *j*. Then create sub-routes by connecting between each pair of node *i* and node *j*.

V. Repeat step 3) and step 4) until all nodes are completed.

The solution to the VRP can be used to estimate the transportation costs. These costs can be regarded as the most efficient costs. A professional carrier company should adopt this method of vehicle routing for proposing a plan to support the distribution service for the NBC. After adding costs incurred in other tasks and percentage of profit to these costs, such company can obtain the total cost to propose to the NBC. Alternatively, the NBC may set this total cost as a

fair price for arranging an auction to find an appropriate carrier.

IV. RESULTS

A. Results of Re-designed Route

The saving algorithm was coded by Visual Basic 2008 with the user-interface (Fig. 2) specially designed for easy and convenient access. The user is only required to select from the name-list hospitals in need of blood transport, assign the demanded amount as well as other constraints such as distance, loading capacity, number of stops, travel time, etc.



Fig. 2 User interface of the program for designing blood distribution routes

Once all inputs are in, the program will calculate the routes for transport. The analysis was conducted base on blood distribution data during seven days and determined constraints regarding loading capacity 600 units and maximum travel time three hours. For each trip, the number

of stops is added by 1, starting from 1,2,3,..., to 10 stops, in order to observe the performance of the problem and find the proper number of hospitals in the trip. Table IV shows results of the calculation.

TABLE IV
COMPUTING TIME FROM REDESIGNING FOR BLOOD DISTRIBUTION BY USING SAVING ALGORITHM

D/M/Y	Trips	Computing time (Sec)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	72	30.7	16.8	16.8	16.6	15.3	16.8	16.6	16.8	15.8	15.6
2	84	38.4	20.8	20.2	20.1	19.4	19.7	19.8	20.1	20.2	19.9
3	83	37.0	21.9	21.7	21.5	21.3	21.4	21.5	21.3	20.5	20.8
4	80	35.4	20.3	19.3	19.6	18.4	18.6	18.5	18.5	18.2	18.4
5	69	28.1	16.2	15.6	15.4	15.4	15.6	16.7	16.7	15.7	15.8
6	54	18.8	11.5	11.7	10.9	10.9	11.6	12.3	11.3	11.7	14.2
7	78	33.1	18.8	18.4	18.2	18.2	17.6	18.0	17.9	18.4	18.3
Average	82	31.6	18.0	17.7	17.5	17.0	17.3	17.6	17.5	17.2	17.6

From testing with real implementation of more than 100 hospitals, the program seems to prove effectively functional, be able to design route in a short period of time (less than 40 seconds). It can be concluded that there is no calculation-related difficulty. The average time for processing is only within 20 seconds. In reality, the problem posed might not be technical, but could be caused by the transport management which either be operated by the NBC itself or a third party service. But due to the lack of expertise in transportation business, the NBC should not be able to develop efficient transport routing plan, such as how the routes should be re-designed, how many stops should be placed on a route. This inability suggests that the NBC is likely to hire the third party. There comes another problem when the NBC cannot make a decision on which carrier it should hire. This research provides a solution to such a situation. The simplest means is to assess the cost first and then determine a fair price.

B. Calculation for Proper Transportation Hiring Cost

Table V shows the results on routing calculated by the computer for 6 July, 2010. It can be seen that totally 17 trips (routes) are required in order to guarantee that every hospital receives desired amount of blood. The total distance is 885 km., compared to the current situation where hospitals need to take 72 rounds or 1,957 km. in total. It is obvious that the VRP solution can potentially reduce the energy consumption dramatically by $(1,957 - 885) = 1,072$ km. per day. Provided the transport cost, the fixed cost (e.g. vehicle, registration, insurance, driver, etc.), and the variable cost (fuel, engine oil, maintenance, depreciation, etc.) are 21 Baht/km., saving value by transport routing is $1,072 \text{ km./day} \times 21 \text{ Baht/km.} = 22,512 \text{ km./day}$.

TABLE V
RESULTS FROM THE PROGRAM FOR DESIGNING BLOOD DISTRIBUTION ROUTES

Route no.	Delivery route	Demand (Units)	Distance (km)	Travel Time (hours)	Expense by unit (Baht)	Expense by distance (Baht)
1	0-99-98-60-15-0	78	60.6	3.0	15,600	1,273
2	0-55-63-73-94-87-0	93	107.7	2.8	18,600	2,262
3	0-116-119-124-122-58-0	64	97.0	2.9	12,800	2,038
4	0-93-78-67-51-0	189	67.6	2.9	37,800	1,420
5	0-89-6-46-21-34-0	63	51.4	2.2	12,600	1,080
6	0-8-57-95-102-24-0	165	60.0	2.6	33,000	1,260
7	0-5-28-96-11-0	114	102.4	2.9	22,800	2,150
8	0-88-62-50-66-13-0	197	61.7	2.2	39,400	1,295
9	0-82-91-16-74-72-0	143	20.2	1.6	28,600	423
10	0-30-6-22-59-92-0	33	28.6	2.0	6,600	601
11	0-70-79-76-71-20-0	381	13.7	1.1	76,200	287
12	0-10-83-0	67	8.8	0.7	13,400	185
13	0-80-84-69-0	148	17.5	0.9	29,600	368
14	0-14-29-9-116-35-0	77	34.1	1.6	15,400	715
15	0-3-68-4-2-1-0	481	14.2	1.2	96,200	297
16	0-109-0	6	61.8	3.4	1,200	1,298
17	0-110-0	25	77.9	3.6	5,000	1,637
	Total	2,324	885.2	42	464,800	18,589

The saving value of 22,512 Baht/day is contributed to all hospitals received blood service on the sample day. This money might be sufficient for paying the third party to take responsibility for blood distribution. According to the NBC, there have been several companies offered their services. Some charge for 10% of the blood value. This may result in the higher cost of blood, affecting the end-consumers, the patients, who will have to face more medical fees. To prevent this, a fair price is set in order to select the most proper transportation service provider, and can be applied in an auction.

This sample calculation is only conducted for 6 July 2012. The transport cost per blood bag, provided the average cost of blood is 2,000 Baht/unit. The charge is 10% of the blood value. For route 1, the expense can be calculated as follows.

$$\begin{aligned}\text{Expense by unit} &= \text{The number of units} \times 200 \\ &\quad (\text{Baht/unit}) \times 10\% \\ &= 78 \times 2,000 \times 0.1 \\ &= 15,600 \text{ Baht}\end{aligned}$$

If the total cost is calculated with transport cost, fixed cost (e.g. vehicle, registration, insurance, driver, etc.), and the variable cost (fuel, engine oil, maintenance, depreciation, etc.) are 21 Baht/km. The results are as follows;

$$\begin{aligned}\text{Expense by distance} &= \text{Cost per km. (Baht/km.)} \times \\ &\quad \text{Distance (km.)} \\ &= 21 \times 60.60 \\ &= 1,273 \text{ Baht}\end{aligned}$$

Routes 2-17 are calculated in the same way. Table 5 shows the summary of transport cost on 6 July 2010. As seen in the table, each route takes no longer than three hours. Thus the new blood distribution system can be designed to have two trips per day, three hours per trip, and working hour from 09.00 – 12.00 a.m. and from 01.00 – 04.00 p.m. However, there are two routes that take longer than three hours. These are routes No. 16 and 17, which go to Phatara-Thonburi Hospital and Pathum Thani Hospital respectively. These two hospitals are located relatively very far from the NBC, comparing to other hospitals in the network. In practice, the vehicle assigned for either the route No. 16 or No. 17 can be allowed to spend more than 3 hours for the trip. After arriving back at the NBC, the vehicle can be assigned for another short route, such as the route No. 12 or No. 13.

It is seen that if the transportation cost is calculated by percent, the cost may be as high as 464,800 Baht per day. It is possible that the NBC or the network hospitals will altogether bear so much expense. Another choice is to estimate cost by distance, which should be more reasonable as the transport cost depends on distance. This way, the transport cost is 18,589 Baht/day or about 1,100 Baht per round trip. This number is much lower than the current cost ($1,957 \times 21 = 41,097$ Baht).

Provided that a carrier has expertise in route planning and is able to design the route not less efficiently than reported herein, the transportation cost should be around 18,600 Baht, plus 30% for operating cost and 20% for profit. The fair price for the carrier should be $18,600 \times 1.30 \times 1.20 = 29,000$ Baht. This can be used as the fair price to start the auction. On the other hand, if all hospitals reach an agreement to cooperate, the money saved can be spent on hiring third party transport service provider to offer more efficient blood distribution.

V. CONCLUSION

From the view of transportation people, solving the VRP is only an effort to meet the need of clients for the best efficiency, especially for the least-cost transportation plan. However, from the view of the NBC, the product (blood) owner, it is something more. It is about the proper and fair cost of transport if it is necessary to hire a third party to take responsibility for distributing blood to hospitals. This paper suggests that the analysis of vehicle routing problem by transport businesses can be also used for the interests of the owner of products in order to set up a proper price for hiring. If the third party can manage the transport routes efficiently, and calculate cost properly, along with reasonable operating cost and profit, they will have a proper price for themselves. The NBC can possibly use this final price as a 'fair price' for hiring transport carrier to distribute blood in Bangkok Metropolitan Region in the future.

ACKNOWLEDGMENT

This research project is supported by the Office of Higher Education Commission (OHEC) and Mahidol University under the National Research University campaign. Tools and places used during the research were kindly supported by the Transportation, Traffic and Logistics Expert Center (T-LEX Center), Department of Civil Engineering, Faculty of Engineer, Mahidol University. Special thanks to staff and the board of the National Blood Center (NBC), The Thai Red Cross Society, for all their great cooperation and assistance while conducting this research.

REFERENCES

- [1] S.L. Sime, "Strengthening the service continuum between transfusion providers and suppliers: enhancing the blood services network," *Transfusion* 45, October, 2005, 206 – 223
- [2] Y. Jinxin, "Vehicle routing with time windows and time-dependent reward: A problem from the American Red Cross," *Manufacturing and Service Operations Management* 5(1), 2003, 74-77
- [3] G. Clarke, J. Wright, "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery point," *Operation Research* 4, 1964, Volume 12
- [4] C. R. Larson, R. A. Odini, "Urban Operations Research," Prentice-Hall, 1981, Chapter 6.
- [5] S. Zanakis, J. Evans, A. Vazacopoulos, "Heuristic methods and applications: A categorized survey," *European Journal of Operational Research* 43, 1981, 88-110
- [6] G. Laporte, M. Gendreau, J. Potvin, F. Semet, "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem," *International Transactions in Operational Research* 7, 2000, 285-300
- [7] B.G. Danzig, H.I. Ramser, "The truck dispatching problem," *Management Science*, 6(1), 1959, 80-91

BIOGRAPHY

NAME	Ms. Papassorn Sukaboon
DATE OF BIRTH	17 March 1987
PLACE OF BIRTH	Nakornpathom, Thailand
INSTITUTIONS ATTENDED	Silpakorn University, 2005-2008 Bachelor of Engineering (Industrial Management Technology) Mahidol University, 2009-2012 Master of Engineering (Industrial Engineering)
HOME ADDRESS	54/4 M. 4 T. Thatumnak Nakhonchaisri District, Nakhonpathom, 73120 Tel: 083-540-7225 E-mail: p_sukaboon@yahoo.com
PUBLICATION / PRESENTATION	Papassorn Sukaboon and Somchai Pathomsiri, 2010, "Issues and framework for improving the efficient of blood distribution in Bangkok Metropolitan area: a case study of the Blood National Centre, Thai Red Cross Society." <u>In the Proceedings of the National Conference on Industrial Engineering 2010</u> , Bangkok, December 16-17, 2010 Papassorn Sukaboon and Somchai Pathomsiri, 2011, "Routing of blood distribution in Bangkok Metropolitan Region: a case study of the blood

PUBLICATION / PRESENTATION

National Centre, Thai Red Cross Society.”
In the Proceedings of the IE Network
Conference 2011, Chonburi, October 20-
21, 2011

Papassorn Sukaboon and Somchai
Pathomsiri, 2011. “Analysis and design of
blood transportation in Bangkok
Metropolitan Region: a case study for the
National Blood Center, Thai Red Cross
Society.” Journal of Engineering,
RMUTT, July-December, 2, 41-50

Papassorn Sukaboon and Somchai
Pathomsiri, 2012, “Blood supply chain
and a framework to improve distribution
efficient: a case study of the Blood
National Centre, Thai Red Cross Society.”
In the Proceedings of the 8th National
Transport Conference: NTC8, Chonburi,
March 15-16, 2012

Papassorn Sukaboon and Somchai
Pathomsiri, 2013, “Determination of a fair
price for blood transportation by applying
the Vehicle Routing Problem: a case for
National Blood Center, Thailand.” In the
Proceeding of the International
Conference on Industrial Engineering and
System 2013: ICIESM 2013, Barcelona,
Spain, February 27-28, 2013