

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR
ROUTING AND SCHEDULING POLICE PATROL SERVICE**

POL. CAPT. CHANON KAMNUANSAK

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
(TECHNOLOGY OF INFORMATION SYSTEM MANAGEMENT)
FACULTY OF GRADUATE STUDIES
MAHIDOL UNIVERSITY
2011**

COPYRIGHT OF MAHIDOL UNIVERSITY

Thesis
entitled
**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR
ROUTING AND SCHEDULING POLICE PATROL SERVICE**

.....
Pol. Capt. Chanon Kamnuansak
Candidate

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

.....
Assoc. Prof. Duangpun Singkarin,
Ph.D. (Operations Mgt and Mfg
Systems)
Co-advisor

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

.....
Asst. Prof. Auemphorn Mutchimwong, Ph.D.
Acting Dean
Faculty of Graduate Studies
Mahidol University

.....
Asst. Prof. Rawin Raviwongse,
Ph.D. (Engineering Management)
Program Director
Technology of Information System
Management
Faculty of Engineering
Mahidol University

Thesis
entitled
**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR
ROUTING AND SCHEDULING POLICE PATROL SERVICE**

was submitted to the Faculty of Graduate Studies, Mahidol University
for the degree of Master of Science
(Technology of Information System Management)

on
March 22, 2011

.....
Pol. Capt. Chanon Kamnuansak
Candidate

.....
Lect. Rawee Suwandechochai,
Ph.D. (Industrial and Systems
Engineering)
Chair

.....
Assoc. Prof. Walailak Atthirawong,
Ph.D. (Manufacturing Engineering and
Operations Management)
Member

.....
Assoc. Prof. Duangpun Singkarin,
Ph.D. (Operations Mgt and Mfg
Systems)
Member

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

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

.....
Asst. Prof. Auemphorn Mutchimwong, Ph.D.
Acting Dean
Faculty of Graduate Studies
Mahidol University

.....
Asst. Prof. Rawin Raviwongse,
Ph.D. (Engineering Management)
Dean
Faculty of Engineering
Mahidol University

ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis was funded by The Thailand Research Fund (TRF) under the scheme of Master Research Grants in Supply Chain Management and Logistics 2552 (B.E), contract number MLSC525011. In the completion of this thesis, I owed a debt of gratitude for the assistance from several persons. Notably, kind advices of Police Lieutenant Colonel Sravoot Bovornkijprasert, the Police Inspector for Administrative Section at Metropolitan Police Division 9 are highly appreciated. Special thanks go to the police officers in the Crime Suppression Section at Nongkhaem Police Station, for their time in providing valuable data for this research. 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 Thai police and society as a whole. 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, Associate Professor Dr. Walailak Atthirawong and Lecturer Dr. Rawee Suwandechochai, I thank you very much for serving on this thesis examination committee.

Pol. Capt. Chanon Kamnuansak

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR ROUTING AND SCHEDULING POLICE PATROL SERVICE

POL.CAPT. CHANON KAMNUANSAK 4937372 EGTI/M

M.Sc. (TECHNOLOGY OF INFORMATION SYSTEM MANAGEMENT)

THESIS ADVISORY COMMITTEE : SOMCHAI PATHOMSIRI, Ph.D.
(TRANSPORTATION SYSTEMS ENGINEERING AND PLANNING),
DUANGPUN KRITCHANCHAI, Ph.D. (OPERATIONS MGT AND MFG
SYSTEMS), WARAKORN CHAROENSUK, Ph.D.(ELECTRICAL ENGINEERING)

ABSTRACT

Police patrol is regarded as the backbone of crime prevention and suppression. Patrol officers' duties and responsibilities are to inspect different patrol areas during their shift. In theory, a police officer should thus visit all checkpoints designated by their commander. These may include red-box checkpoints, banks, goldsmiths, certain areas demanded by the public, and some checkpoints established at a specific time. This thesis aimed to develop optimization models for effective routing and scheduling of police patrol services in order to achieve cost savings. The operational data from a metropolitan police station was used as a case study. By utilizing the Global Positioning System (GPS), Geographic Information System (GIS) and optimization tools, the results from using the developed models can provide optimal patrol plan arrangements covering the main red-box checkpoints for all zones. Furthermore, the computational aspects of this particular problem have been explored by attempting to route and schedule patrol service for all kinds of checkpoints. As expected, the computing time grows exponentially as the number of checkpoints increases which makes it impossible to find an optimal solution. Therefore, other methods, such as more efficient algorithms or approximation techniques, are recommended for future research.

KEY WORDS: POLICE / PATROL / ROUTING / SCHEDULING / LOGISTICS

202 pages

การพัฒนาตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับการจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจ

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS FOR ROUTING AND SCHEDULING
POLICE PATROL SERVICE

ร.ต.อ.ชานนท์ คำวนศักดิ์ 4937372 EGTI/M

วท.ม. (เทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : สมชาย ปฐมศิริ, Ph.D. (TRANSPORTATION SYSTEMS
ENGINEERING AND PLANNING), ดวงพรรณ ศฤงคารินทร์, Ph.D. (OPERATIONS MGT AND
MFG SYSTEMS), วรากร เจริญสุข, Ph.D. (ELECTRICAL ENGINEERING)

บทคัดย่อ

งานสายตรวจถือเป็นกระดูกสันหลังของตำรวจในการป้องกันและปราบปราม
อาชญากรรม ในการนี้ตำรวจสายตรวจมีภาระหน้าที่ความรับผิดชอบในการออกตรวจตราพื้นที่ใน
เขตรับผิดชอบให้ทั่วถึงระหว่างเวลาที่เข้าเวรแต่ละผลัด โดยทฤษฎีแล้วตำรวจสายตรวจควรต้องไป
เยือนจุดตรวจต่างๆ ตามที่ผู้บังคับบัญชากำหนดให้ครบถ้วน ทั้งที่เป็นจุดตรวจคู่แดง จุดตรวจ
ธนาคาร จุดตรวจร้านทอง จุดตรวจที่ประชาชนขอความร่วมมือ และจุดตรวจคันยานพาหนะตาม
ช่วงเวลาของผู้บังคับบัญชากำหนด วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษา วิจัยและพัฒนาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์
สำหรับช่วยจัดแผนการตรวจเพื่อลดต้นทุนค่าเดินทางออกตรวจจุดตรวจหลัก อีกทั้งศึกษาพฤติกรรม
ของปัญหานี้ กล่าวคือปัญหาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามจำนวนจุดตรวจที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ด้วยการอาศัย
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภท Optimization และระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ โดยใช้สถานีตำรวจ
นครบาลแห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษา ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น
สามารถใช้วางแผนการตรวจจุดหลักได้อย่างเหมาะสม แต่จะประสบปัญหามากในการแก้ปัญหาเมื่อ
จำนวนจุดตรวจเพิ่มมากขึ้น และจำเป็นต้องอาศัยอัลกอริธึมหรือวิธีการประมาณค่าอื่นๆ เข้ามาช่วย

CONTENTS

	Page
ACKNOWLEDGEMENTS	iii
ABSTRACT (ENGLISH)	iv
ABSTRACT (THAI)	v
LIST OF TABLES	ix
LIST OF FIGURES	xi
CHAPTER I INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Statement of Problem	2
1.3 Objectives	2
1.4 Scope of the Study	3
1.5 Expected Results	3
1.6 Terminology and Examples	3
CHAPTER II LITERATURE REVIEW	11
2.1 Police Patrol Service in Thailand	11
2.1.1 Objectives of Area Patrol	11
2.1.2 Practices of Area Patrol	11
2.1.3 Shift Schedules	13
2.1.4 Division of Patrol Areas	13
2.1.5 Factors Effecting the Location of Designated Checkpoints	14
2.1.6 Characteristics of Motorcycle Patrol	14
2.2 Relevant Theories	16
2.3 Previous Studies	17
CHAPTER III METHODOLOGY	21
3.1 Proposed Research Stages	21
3.1.1 Problem Identification	22

CONTENTS (cont.)

	Page
3.1.2 Scope of Study	22
3.1.3 Hypotheses	23
3.1.4 Work Flow Diagram	23
3.1.5 Data Gathering	25
3.1.6 Data Processing	28
3.1.7 Mathematical Modeling for Police Patrol Plan Arrangement	30
3.2 Mathematical Modeling	31
3.3 Analytical Tools and Solution Method	36
CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSION	38
4.1 Case Study	38
4.1.1 Location of Nongkhaem Police Station	38
4.1.2 Nongkhaem Police Station's Checkpoints	40
4.1.3 Patrol Officers' Daily Duty	53
4.1.4 Police Patrol Plan at the Vehicle Checkpoints	53
4.2 Data Collection	57
4.2.1 Checkpoint Locations	57
4.2.2 Digital Map	71
4.2.3 Designation of Travel Speed on each Road	75
4.2.4 Designation of Service Time	81
4.3 Data Analysis	82
4.3.1 GPS Data	82
4.3.2 Network Analysis	83
4.3.3 Distance Matrix and Travel Time Matrix	100
4.3.4 Service Time and Time Windows	108
4.4 Developing Mathematical Models	115
4.5 Study	118

CONTENTS (cont.)

	Page
4.5.1 Police Patrol Zone 1	119
4.5.2 Police Patrol Zone 2	123
4.5.3 Police Patrol Zone 3	125
4.6 Solution Method	127
4.7 Results and Discussion	131
4.7.1 Results for Police Patrol Zone 1	131
4.7.2 Results for Police Patrol Zone 2	137
4.7.3 Results for Police Patrol Zone 3	143
4.8 Routing and Scheduling of Police Patrol Service Through All Checkpoints	149
4.8.1 Increased Number of Checkpoints	150
4.8.2 Computational Results	159
CHAPTER V CONCLUSIONS	168
5.1 The Use of Information Technology in Police Patrol Plan Arrangement	170
5.2 Police Patrol Plan Arrangement by Means of Mathematical Modeling	170
5.3 Suggestions	171
5.4 Recommended Future Research	172
REFERENCES	174
APPENDICES	177
Appendix A Publication in The 14 th National Convention on Civil Engineering	178
Appendix B Publication in The 15 th National Convention on Civil Engineering	184
Appendix C Publication in National Industrial Engineering Conference 2010	194
BIOGRAPHY	201

LIST OF TABLES

Table	Page
4.1 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 1	41
4.2 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 2	45
4.3 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 3	49
4.4 Police Patrol Plan, Shift 1 (12:01 a.m. - 8:00 a.m.), January 1-15, 2010	53
4.5 Police Patrol Plan, Shift 2, (8:01 a.m. - 4:00 p.m.), January 1-15, 2010	54
4.6 Police Patrol Plan, Shift 3 (4:01 p.m. - 12:00 a.m.), January 1-15 , 2010	55
4.7 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 1	58
4.8 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 2	62
4.9 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 3	66
4.10 List of Digital Map Features	72
4.11 List of Road Type Code	73
4.12 List of Road Surface	74
4.13 Distance Matrix in Police Patrol Zone 1 (meters)	101
4.14 Distance Matrix in Police Patrol Zone 2 (meters)	102
4.15 Distance Matrix in Police Patrol Zone 3 (meters)	103
4.16 Travel Time Matrix in Police Patrol Zone 1 (minutes)	105
4.17 Travel Time Matrix in Police Patrol Zone 2 (minutes)	106
4.18 Travel Time Matrix in Police Patrol Zone 3 (minutes)	107
4.19 Service Time in each Type of Checkpoint	108
4.20 Time Windows and Service Time of the Vehicle Checkpoint (Shift 1)	109
4.21 Time Windows and Service Time of the Vehicle Checkpoint (Shift 2)	111
4.22 Time Windows and Service Time of the Vehicle Checkpoint (Shift 3)	113
4.23 List of Checkpoints for Study (Police Patrol Zone 1)	119
4.24 List of Checkpoints for Study (Police Patrol Zone 2)	123
4.25 List of Checkpoints for Study (Police Patrol Zone 3)	125
4.26 Results in Police Patrol Zone 1 (Shift 2)	133

LIST OF TABLES (cont.)

Table	Page
4.27 Results in Police Patrol Zone 2 (Shift 2)	139
4.28 Results in Police Patrol Zone 3 (Shift 2)	145
4.29 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 1	150
4.30 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 2	153
4.31 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 3	156
4.32 Results Based on Increased Number of Checkpoints in Police Patrol Zone 1	159
4.33 Results Based on Increased Number of Checkpoints in Police Patrol Zone 2	161
4.34 Results Based on Increased Number of Checkpoints in Police Patrol Zone 3	163
4.35 Waiting Time Prior to Performing Duties (Minutes) due to the Increase of Checkpoints in each Police Patrol Checkpoints	165

LIST OF FIGURES

Figure	Page
1.1 The Characteristic of Police Patrol	5
1.2 The Characteristic of Patrol Motorcycle	5
1.3 The Characteristic of a Motorcycle	6
1.4 The Characteristic of a Red-Box Checkpoint	6
1.5 The Characteristic of a Bank Checkpoint	7
1.6 The Characteristic of a Goldsmith Checkpoint	7
1.7 The Characteristic of a Vehicle Checkpoint	8
1.8 The Characteristic of a Patrol Notebook	9
1.9 The Characteristic of Patrol Shift Schedule	10
2.1 The Patrol Officers Sign Their Names in the Patrol Notebook	12
2.2 A Personal Notebook of the Patrol Officer - To Fill in the Details about the Duties and Important Incidents	13
2.3 The Uniform and Helmet of the Patrol Officer While in Duty	15
2.4 A Motorcycle Windshield with a Sticker that Reads “Patrol Officer of ... Police Station”	16
3.1 Research Stages	21
3.2 Work Flow Diagram of This Research	24
3.3 Garmin GPSMAP 60	26
3.4 Display Screen of DNR Garmin Version 5.4.1	27
3.5 Display Screen of MapSource Version 6.16	28
3.6 Creating Network Dataset	29
3.7 To Find Origin - Destination Cost Matrix in ArcMap	30
3.8 Only One Given Route from Checkpoint i to Checkpoint j	34
3.9 Only One Given Route to Checkpoint j from Checkpoint i	34
3.10 Drive Time from Checkpoint i to Checkpoint j	35

LIST OF FIGURES (cont.)

Figure	Page
4.1 Map of Bangkok - Nongkhaem Police Station is Located in the Westernmost of Bangkok	39
4.2 Nongkhaem Police Station's Responsible Area and Its Border	39
4.3 All Checkpoints in All Police Patrol Zones within Nongkhaem Police Station's Responsible Area	52
4.4 Conversion of Location Data into Shapefile via DNR Garmin Software	69
4.5 Projections in DNR Garmin Software	70
4.6 Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area	71
4.7 Routes Taken by Patrol Officers in Police Patrol Zone 1 as Recorded by Garmin GPSMAP 60	75
4.8 Travel Speed, Time and Distance in Police Patrol Zone 1 as Recorded by Garmin GPSMAP 60	76
4.9 Routes Taken by Patrol Officers in Police Patrol Zone 2 as Recorded by Garmin GPSMAP 60	77
4.10 Travel Speed, Time and Distance in Police Patrol Zone 2 as Recorded by Garmin GPSMAP 60	78
4.11 Routes Taken by Patrol Officers in Police Patrol Zone 3 as Recorded by Garmin GPSMAP 60	79
4.12 Travel Speed, Time and Distance in Police Patrol Zone 3 as Recorded by Garmin GPSMAP 60	80
4.13 Checkpoint Locations in 3 Police Patrol Checkpoints and Digital Map Displayed in ArcMap Software	82
4.14 Travel Speed in each Route in Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area	83
4.15 Travel Speed for each Route as Displayed in Speed Field of Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area	84

LIST OF FIGURES (cont.)

Figure	Page
4.16 Distance Estimation in each Route in the Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area	85
4.17 Travel Time Configuration in each Route in Nongkhaem Police Station's Responsible Area	86
4.18 Distance and Travel Time Estimation in Nongkhaem Police Station's Responsible Area	87
4.19 Connectivity in Network Dataset	88
4.20 Configuration of Elevation in Network Dataset	88
4.21 Configuration of Turns in Network Dataset	89
4.22 Specifying the Attributes in Network Dataset	90
4.23 Direction Settings in Network Dataset	91
4.24 Summary of All Configurations in Network Dataset	91
4.25 Complete Picture of Network Dataset of Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area	92
4.26 Configuration of Origin-Destination Cost Matrix Analysis Based on Time	93
4.27 Origin-Destination Cost Matrix in Police Patrol Zone 1	94
4.28 Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone 1	95
4.29 Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone 2	96
4.30 Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone 2	97
4.31 Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone 3	98
4.32 Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone 3	99
4.33 User Interface Developed with Dreamweaver for the Selection of Checkpoints.	120
4.34 Selecting the Checkpoints and Filling in User Interface with Service Time and Time Windows	121
4.35 Formulations in User Interface for Police Patrol Zone 1	122
4.36 Formulations in User Interface for Police Patrol Zone 2	124

LIST OF FIGURES (cont.)

Figure	Page
4.37 Formulations in User Interface for Police Patrol Zone 3	126
4.38 Using Log Output Menu (F10) to Save Solutions as a Text File	127
4.39 Importing Text File by Open (F3) Menu into LINDO Software	128
4.40 Mathematic Formulae of Police Patrol Zone 1 in LINDO Software	129
4.41 Mathematic Formulae of Police Patrol Zone 2 in LINDO Software	129
4.42 Mathematic Formulae of Police Patrol Zone 3 in LINDO Software	130
4.43 LINDO Solver Status for Police Patrol Zone 1	131
4.44 Routes Based on the Analysis of Patrol Officers in Police Patrol Zone 1 (Shift 2)	135
4.45 Detail of Routes Based on the Analysis by Patrol Officers in Police Patrol Zone 1 (Shift 2)	136
4.46 LINDO Solver Status for Police Patrol Zone 2	137
4.47 Routes Based on the Analysis of Patrol Officers in Police Patrol Zone 2 (Shift 2)	141
4.48 Detail of Routes Based on the Analysis by Patrol Officers in Police Patrol Zone 2 (Shift 2)	142
4.49 LINDO Solver Status for Police Patrol Zone 3	143
4.50 Routes Based on the Analysis of Patrol Officers in Police Patrol Zone 3 (Shift 2)	147
4.51 Detail of Routes Based on the Analysis by Patrol Officers in Police Patrol Zone 3 (Shift 2)	148
4.52 Relationship between Number of Checkpoints and Computing Time for Police Patrol Zone 1	160
4.53 Relationship between Number of Checkpoints and Computing Time for Police Patrol Zone 2	162
4.54 Relationship between Number of Checkpoints and Computing Time for Police Patrol Zone 3	164

CHAPTER I

INTRODUCTION

1.1 Background

Crime prevention and suppression is police officer's main duty in maintaining safety and security of public lives and properties. Police patrol is regarded as police officers' backbone that lies at the heart of crime prevention. Patrol officers provide services to people and bring them peace and comfort (Khotcharat, 2000). Crime prevention objective can eventually be achieved given that patrol officers can perform their tasks effectively (Khliphan, 2002).

Police patrol in an area is based on law enforcement theory. This means that police presence may preclude those who incline to commit crime for fear to be caught (Piamsombun, 2002). Therefore, if patrol officers do their duty in different areas according to patrol shift schedules, the inclination of individuals to commit crime may be reduced accordingly.

Police patrol route should be as shortest as possible to economize fuel expense because it tends to increase constantly; while fuel allowance that one police station allots to each patrol officer is limited. However, the selection of the route based on experience and familiarity alone may not actually be the shortest one; thus, energy saving may not be maximized as expected. Apart from fuel saving, the effectiveness of police patrol and crime prevention can also be enhanced provided that the shortest route to red-box checkpoints, banks and gold smiths as well as to vehicle checkpoints within a specific time can properly be arranged.

One can say that there is a similarity between the police patrol routing and scheduling problem and business logistics. That is to say that the police station may be comparable to the distribution center; while all checkpoints to be visited by patrol officers are customers. Moreover, the patrol for crime prevention purpose within a specific time as demanded by the commander resembles time windows in the logistic distribution context.

To enhance the effective arrangement of police patrol routing and scheduling, logistics-based mathematical models are developed. Geographic Information System (GIS) is utilized to derive the distance matrices which contain network-based distances between all checkpoints, including the police station. A mathematical model similar to the Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) is then formulated in such a way that it best resembles the actual operation of police patrol.

1.2 Statement of Problem

Currently, there is no police patrol routing arrangement for patrol officers. They are merely needed to visit specified red-box checkpoints and those located at banks and goldsmiths as well as to inspect vehicles at the designated places during a specific time period. In this regard, their own experience and familiarity are used in choosing the patrol route. However, it may not be the shortest one resulting in a waste of fuel. Police patrol routing arrangement to facilitate patrol officers' punctual arrival to desired destination may offer shorter route and leads to energy saving without compromising the effectiveness of crime prevention and suppression.

1.3 Objectives

This thesis sets two main objectives to be accomplished:

- 1) To study the application of the Global Positioning System (GPS) and Geographic Information System (GIS) Technology in gathering and analyzing the data necessary for police routing and scheduling problem.
- 2) To study the application of logistics-based mathematical models in police patrol routing and scheduling that resembles actual operation patrol officers as much as possible.

1.4 Scope of the Study

The scope of this study is limited to the case study of motorcycle patrol of Nongkhaem Police Station. Hence, the data is only from the observation and survey of processes this police station uses in patrol arrangement. Nonetheless, without loss of generality, the methodology in this thesis can also be applied to any other police stations. It is only the required input data need to be adjusted accordingly.

1.5 Expected Results

At the end of the study, the expected results are:

- 1) To realize the usefulness and applicability GPS and GIS technologies for the sake of data collection and analyses.
- 2) To have the analytical tool for more effective arrangement of police patrol in comparison to the current process. Necessarily, the police patrol coverage remains unchanged, but the patrol distance is shorter and, hence the energy consumption is lowered.

1.6 Terminology and Examples

There are several police-related terminologies that are often used in this thesis. In order to provide basic understanding for the readers, descriptions of these terms are explained herein with pictures as examples.

Patrol Officers (Figure 1.1) mean the police officers of Nongkhaem police Station who are responsible for crime prevention and suppression.

Motorcycle Patrol (Figure 1.2) means police officers of Nongkhaem Police Station who are responsible for crime prevention and suppression by using the motorcycle as a mean of transportation during the course of their duty.

Motorcycle (Figure 1.3) is the vehicle that the motorcycle patrol use in patrolling.

Checkpoint means the spots where police patrol is required for crime prevention and suppression purpose. They are divided in 4 categories: *Red-box Checkpoint*, *Bank Checkpoint*, *Goldsmith Checkpoint* and *Vehicle Checkpoint*.

Red-box Checkpoint (Figure 1.4) is the spot where the rectangle-shaped red box is located. There is a patrol notebook inside it. The patrol officers need to sign their names in this notebook once they arrive at the given checkpoint.

Bank Checkpoint (Figure 1.5) is the bank where the patrol officers need to visit and sign their names in the patrol notebook in order to verify their arrival and patrol.

Goldsmith Checkpoint (Figure 1.6) is the goldsmiths where the patrol officers need to visit and to sign their names in the patrol notebook in order to verify their arrival and patrol.

Vehicle Checkpoint (Figure 1.7) is the spot where the patrol officers are demanded by the commander to check any suspect vehicles that travel in that area. Generally, it is stationed in the routes with high crime risk.

Patrol Notebook (Figure 1.8) is the notebook placed in the red box as well as at the banks and goldsmiths. The patrol officers are thus required to sign upon their arrival. Its cover shows the details about the name of checkpoint, the patrol zone, the responsible police station and the month when the police patrol is done. Meanwhile, each page contains the tables in which the patrol officers have to fill in the date and the arrival time as well as to affix their signatures.

Patrol Shift Schedule (Figure 1.9) means the police patrol plan to be proceeded within a specific time as demanded by the commander.



Figure 1.1 The Characteristic of Police Patrol



Figure 1.2 The Characteristic of Patrol Motorcycle



Figure 1.3 The Characteristic of a Motorcycle



Figure 1.4 The Characteristic of a Red-Box Checkpoint




Figure 1.5 The Characteristic of a Bank Checkpoint



Figure 1.6 The Characteristic of a Goldsmith Checkpoint



Figure 1.7 The Characteristic of a Vehicle Checkpoint



สำนักงานตำรวจแห่งชาติ

สมุดตรวจตู้แดง

จุดตรวจ.....ผ. 100 ต.พร.....จ.พร

เขตตรวจที่.....1.....ประจำเดือน.....มกราคม.....พ.ศ.25..๕๓

สถานีตำรวจนครบาลหนองแขม

กองบัญชาการตำรวจนครบาล

เหตุด่วน เหตุร้าย

โทร. 191, 02-4293570-1

บันทึกการตรวจตู้แดง

ลำดับ	วัน	เดือน	ปี	เวลา	ยศ	ชื่อ	สกุล	ผู้ตรวจ	ลายมือชื่อ	รหัส	หมายเหตุ
								00-01-0500			
1	2	ม.ค	53	00.40	ตจ	จิม	จ.พร	ตจ จิม จ.พร	ตจ	121-3	
								ตจ.จ.พร.จ.พร.จ.พร.	ตจ		
2	3	ม.ค	53	01.55	ตจ	จิม	จ.พร	ตจ จิม จ.พร	ตจ	2-0	
3	2	ม.ค	53	05.20	ตจ	จิม	จ.พร	ตจ จิม จ.พร	ตจ	121-3	
								ตจ.จ.พร.จ.พร.จ.พร.	ตจ		
								0801-1600			
1	2	ม.ค	53	11.40	ตจ	จิม	จ.พร	ตจ จิม จ.พร	ตจ	121-4	
								ตจ.จ.พร.จ.พร.จ.พร.	ตจ		
2	2	ม.ค	53	12.00	ตจ	จิม	จ.พร	ตจ จิม จ.พร	ตจ	2	
								16.00-24.00			
1	2	ม.ค	53	19.42	ตจ	จิม	จ.พร	ตจ จิม จ.พร	ตจ	121-1	
								ตจ.จ.พร.จ.พร.จ.พร.	ตจ		
2	4			21.29	ตจ	จิม	จ.พร	ตจ จิม จ.พร	ตจ	2-0	
								ตจ.จ.พร.จ.พร.จ.พร.	ตจ		

Figure 1.8 The Characteristic of a Patrol Notebook

สายตรวจ	ช่วงเวลา	การปฏิบัติ	หมายเหตุ
2-0	-11.00-11.30 น. - 14.15-15.00 น.	ว.43 เคลื่อนที่ หน้าโรงไม้ (บก.9) ว.43 เคลื่อนที่หน้าวัดอุดม (บก.9)	ว.43 เคลื่อนที่ ของ บก. 9 แจ้งศูนย์ เป็นหลักฐาน ทุกครั้ง
จยย. เขตตรวจที่ 1	-11.00-11.30 น. -14.15-15.00 น.	ร่วม 2-0 ว.43 เคลื่อนที่โรงไม้ (บก.9) ร่วม 2-0 ว.43 เคลื่อนที่หน้าวัดอุดม (บก.9)	
จยย. เขตตรวจที่ 2	11.00-12.00 น. 14.00 -15.00 น.	ว.10 กลาง ช.นาคสถาพร 2 ว.10 ตรงข้ามคาร์ฟูร์	
จยย. เขตตรวจที่ 3	-15.00 -15.30 น.	ว.10 หน้าวัดหลักสาม	

Figure 1.9 The Characteristic of Patrol Shift Schedule

CHAPTER II

LITERATURE REVIEW

This chapter involves literature review and previous researches consisting of three important parts. First, it addresses the characteristics of police patrol in Thailand. Second, theories pertinent to this research will then be discussed. Lastly, it concerns previous studies in which certain models have been implemented for police patrol arrangement in crime prevention and suppression. In this regard, such previous researches may share some perspectives with this study in light of police activities, mathematical modeling development methods and solutions that are beneficial to this research.

2.1 Police Patrol Service in Thailand

2.1.1 Objectives of Area Patrol

Police patrol is designated for the responsible area or desired locations in order to achieve the following (Royal Thai Police, 2000):

- 1) To prevent and suppress crime.
- 2) To create the sense of closeness and comfort among people.
- 3) To assist, advise and provide services for people in that particular area.
- 4) To proceed public relation and seek public cooperation.

2.1.2 Practices of Area Patrol

To maximize the effectiveness of crime prevention and suppression as well as to unify the patrol officers' duties, it is then required to specify the practices of area patrol as follows (Royal Thai Police, 2000):

- 1) To do police patrol according to the plan - patrol officers sign their names upon their arrival in the patrol notebook (Figures 2.1). The police patrol may reduce inclination to crime because the offenders can be caught red handed.

- 2) To engage in public relation and visit people in the patrol area in order to give advices to them and to learn about information, news, problems and their needs.
- 3) To monitor and inspect suspect persons and vehicles as well as important buildings and crime risk area where lives and properties are threatened.
- 4) To seek the latest information and news in the responsible area.
- 5) All patrol officers must have necessary equipment including: gun, hand cuff, torch, especially a notebook (Figures 2.2) for note taking about important incidents.
- 6) The frequency and schedule of police patrol in each area may vary according to crime situation, location and number of checkpoints each police station is responsible for. Police patrol plan is generally arranged and designated by the commander.
- 7) During the course of patrol, a suitable time should be taken in order to observe any suspect persons, vehicles or incidents. In case of doubt, the search for more details and information may be done.
- 8) Patrol officers need to notify the commander if they cannot visit the checkpoint within a specific time or fulfill the frequency of patrol as specified in the plan because they engage in deterring crime or pursuing the offenders.



Figure 2.1 The Patrol Officers Sign Their Names in the Patrol Notebook



วัน เดือน ปี	รายการปฏิบัติ, ข้อมูล	หมายเหตุ

Figure 2.2 A Personal Notebook of the Patrol Officer -
To Fill in the Details about the Duties and Important Incidents

2.1.3 Shift Schedules

There are 3 eight-hour shifts of police patrol daily (Khotcharat, 2000), i.e.,

Shift 1 - from 12.01 a.m. - 8.00 a.m.

Shift 2 - from 8.01 a.m. - 4.00 p.m.

Shift 3 - from 4.01 p.m. - 12.00 a.m.

2.1.4 Division of Patrol Areas

The responsible area of each police station is divided in different patrol subarea. This is to enhance the coverage and effectiveness of police patrol as a whole. In this regard, the division of patrol area is designed according to the following criteria (Khotcharat, 2000):

1) Level of Services: patrol officers can reach the crime scene within the specific time as follows:

Business area: within 3-5 minutes

Residential area: within 5-7 minutes

Outside residential area: within 7-10 minutes

2) Density of Population: High-density area is divided into the smaller ones.

3) Transportation networks: The accessibility to different areas is taken into consideration.

4) Crime Characteristics: Differences among areas may leads to various crime characteristics.

5) The suitable proportion between personnel and the patrol area

2.1.5 Factors Effecting the Location of Designated Checkpoints

Due to the fact that each police station is different in light of responsible area size, transportation network and geography, number of checkpoints may vary accordingly. The factors to be considered in designating a checkpoint are (Khotcharat, 2000):

1) The number of checkpoints for general crime or incident prevention needs to be proportional to patrol officers' capacity to perform their duty effectively.

2) Crime characteristics - police patrol is arranged for the locations or a specific time with high crime statistics.

3) Crime prevention is necessary for important figures' residence and key locations.

4) It is crucial for the preclusion of crime possibility and the creation of the sense of safety in high-density areas such as residential and business areas as well as transport stations.

5) It aims to prevent several kinds of crime in isolated areas or roads.

6) The presence of police officers along the routes where offenders often use to commit crime can prevent or reduce the number of crime.

2.1.6 Characteristics of Motorcycle Patrol

This thesis is aimed only to study motorcycle patrol that plays an important role in crime prevention and suppression. The characteristics of motorcycle patrol can be explained as follows (Royal Thai Police, 2000):

1) The patrol officer must wear uniform and helmet while in duty (Figures 2.3).

2) The patrol officer must have a gun, bullets, hand cuff, baton, torch, rain suit and notebook.

3) The motorcycle must be equipped with communication radio and can be contacted at any time.

4) The patrol officer in the responsible area or in the nearest location can reach the crime scene as quickly as possible.

5) The word “patrol officer of ... police station” must be placed on the motorcycle windshield (Figures 2.4).



Figure 2.3 The Uniform and Helmet of the Patrol Officer While in Duty



Figure 2.4 A Motorcycle Windshield with a Sticker that Reads
“Patrol Officer of ... Police Station”

2.2 Relevant Theories

Perhaps, the most classical routing and scheduling problem in the history of operations research (OR) is Traveling Salesman Problem (TSP) where we seek a shortest tour for a salesman to visit all of his customers. In the last five decades, TSP has become a focal point of researches due to its wide range of applications in various disciplines. Despite the fact that this kind of problem seems simple to understand, it is very difficult to efficiently obtain the optimal solution (Sarker and Newton, 2008). For this particular study, Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) has been examined. TSPTW requires salesman to travel to all specified cities within a specific timeframe, one visit per city only. The goal is to identify the shortest route to those cities (Cheng and Mao, 2007) for the minimization of time, travel costs and distance. All possible answers are set as $(n-1)!/2$ answers (Jünger et al., 1995). This means that there are more possible answers in proportion with the increase of the

number of cities to be visited resulting in greater complexity in identifying the shortest route.

As a result, Traveling Salesman Problem is classified as NP-hard (Da Silva and Urrutia, 2010) because it is very difficult to find the best answer. The computing time will increase exponentially as the number of visiting places increase. Therefore, we usually adopt heuristic approach to tackle a large problem in order to obtain a good solution, but not necessarily an optimal one, in the reasonable amount of time.

2.3 Previous Studies

Beginning in the late 1960s, papers on the allocation and deployment of police, fire and ambulance resources that provided important insights, policies, and procedures for managers began to appear in the journal of Management Science with regularity. This activity continued through the 1970s and into the 1980s. A large fraction of the models in these papers were actually implemented, particularly in the New York City, which sponsored much of the basic research. Many of the models and resulting policies were subsequently used in other cities. They had lasting impact on practice (Green and Kolesar, 2004). Examples of those mathematical modeling are discussed in the following section.

Olson and Wrigth (1975) developed models that maximize the expected number of occasions per unit of time that a police patrol unit enters a street segment during the time that a crime is visible. Constraints were added to the models that ensure minimum patrol coverage to all streets. The successive visits from street-to-street formed a Markov chain. The solution that maximizes the objective function gives a stochastic decision rule which is used with Monte Carlo techniques to generate a random patrol schedule. The problem is posed with one car and several cars patrolling the same region.

One of the most widely disseminated models in the area of crime prevention is the Patrol Car Allocation Model (PCAM). PCAM was developed as a result of senior New York Police Department (NYPD) management's interest in developing a quantitative, independently justifiable method for allocating police

personnel to precincts. Earlier, the patrol force allocation method generally favored a method that subjectively weighed average measure of various disparate factors. These factors were considered important by police departments in determining staffing levels, including precinct sizes, crime rates, and number of arrests (Tongo, 2010). PCAM was originally validated using data from New York City. It was then used during the financial crisis of the 1970s in the U.S. to make difficult decisions about cutbacks on patrol resources. It was ultimately distributed to over 40 police departments in the United States, to cities in Canada and the Netherlands, and to the single police force which covers all of Israel (Green and Kolesar, 2004). In most of these locales, PCAM was implemented after parts or the entire model had been validated using local data. Its use led to operational changes (Chaiken, 1978; Lawless, 1987).

Chelst (1978) presented an algorithm for deploying a crime directed patrol force. The optimization problem was formulated as the allocation of N patrol units among R high crime regions so as to maximize the weighted probability of a patrol intercept of a crime. The algorithm has full sensitivity analysis capabilities. The capability is critical because the model's input parameters include (i) crime weights which in general had a subjective component (ii) crime descriptive data, which are difficult to estimate and (iii) crime frequency data which are likely to change with time. The paper presented an illustrative application of the algorithm. The resultant allocation is compared to a strategy, which allocates patrol units in direct proportion to each regions total crime rate. The optimal allocation significantly increased the probability of an intercept.

Lee et al. (1979) presented an integer goal programming model for allocating highway patrolmen to road segments within a patrol region. The model was demonstrated via a case example Nebraska state patrol. The results of the model were valuable to the patrol administrator for considering departmental goals and priority structure, in addition to available historical data, in the assignment of state patrol manpower.

Green and Kolesar (1984) utilized a multiple patrol car per call priority queuing model. It showed that a one-officer patrol model is feasible. Yet pitfalls exist which could adversely affect its performance. The paper detailed the process of data

analyses, model building and emphasis on the subjective elements that remained in a highly technical Operations Research study. Speed of response to emergency calls from the public was the key performance characteristic considered. The analysis also raised issues related to the safety of police officers in one-officer cars.

Taylor et al. (1985) described a modeling approach that can be used to deploy state highway patrol cars to the road segments comprising a highway patrol district. Specifically, an integer non-linear goal programming model was described and demonstrated within the context of a hypothetical case example. The model reflects the fact that the relationships between unit deployment and performance measures are often non-linear. As additional patrol units are assigned to a road segment, performance will increase but at a decreasing rate.

Taylor and Huxley (1989) used an integer programming model to optimally schedule and deploy police officers in San Francisco. This study resulted in the development of a computerized system for managing the police patrol officers. The study had three fundamental objectives, i.e., 1) maintain a high level of citizen safety, 2) maintain a high level of officer morale, and 3) minimize the cost of operations. The new system provided annual savings of \$11million, an annual \$3 million increase in traffic citation revenues, and a 20 percent improvement in response time. The main decision variables in the integer programming model were the number of officers to be scheduled on duty during each shift.

Reis et al. (2006) developed a genetic algorithmic patrol model to assist police managers in the design of effective police patrol route strategies. One particular aspect of the model was its ability to automatically discover crime hotspots, that is, high crime density regions (or targets) that deserve to be better covered by routine patrol surveillance.

Wan-Lung (2007) studied the patrol routine order to determine the most appropriate route for responding to service calls. The mathematical modeling has been developed for the selection of the shortest route to meet such purpose.

Dynamic programming has not been utilized often in previous research in the area of crime preventive work. Through a small cross section of crime related data gathered in Lagos State of Nigeria, Tongo (2010) presented a dynamic programming model to optimally distribute police patrol efforts across eight precincts, while

incorporating Chelst (1978) model's input parameters. These include crime weights per type (which is generally a subjective component), crime descriptive data (which are difficult to estimate), and crime frequency data (which are likely to change with time).

The research of Chawathe (2007) was aimed to address the problem of planning patrol routes to maximize coverage of important locations (hot spots) at minimum cost (length of patrol route). The author modeled a road network using an edge-weighted graph in which edges represent streets, vertices represent intersections, and weights represent importance of the corresponding streets. Efficient methods that used this input to determine the most important patrol routes have been described. In addition to the importance of streets (edge weights), important routes are affected by the topology of the road network. Such methods permit automation of a labor-intensive stage of the patrol-planning process and aid dynamic adjustment of patrol routes in response to changes in the input graph.

From those previous studies, one can say that there is no research in which Integer Linear Programming of Traveling Salesman Problem with Time Windows has been implemented in arranging patrol officers for crime prevention. Besides, the nature of Thai patrol officers is also similar to TSPTW because the patrol officers are required to travel by one motorcycle across checkpoints in their responsible area within the specific timeframe together with the lowest travel cost (fuel). Nonetheless, one different between Thai patrol officers and their counterpart overseas is that the latter tend to use several patrol vehicles for the inspection of responsible area. Most researches thus aim to identify the suitable number of patrol vehicles for one given responsible area or to find the appropriate location in order to enhance the coverage of patrol vehicles for crime prevention and suppression.

CHAPTER III

METHODOLOGY

In the previous chapter, the characteristics of police patrol in Thailand and related previous studies have been discussed. In this chapter, the research methodology that involves 5 aspects, i.e., 1) Proposed Research Stages, 2) Mathematical Modeling, 3) Analytical Tools, 3) Solution Method, 4) Comparison of the Result and 5) Research Schedule and Work Plan will be explained as follows.

3.1 Proposed Research Stages

In brief, this research has been divided into 7 major stages. As shown in Figure 3.1, these include Problem identification, Scope of Study, Hypotheses, Work Flow Diagram, Data Gathering, Data Processing and Mathematical Modeling and Solution.

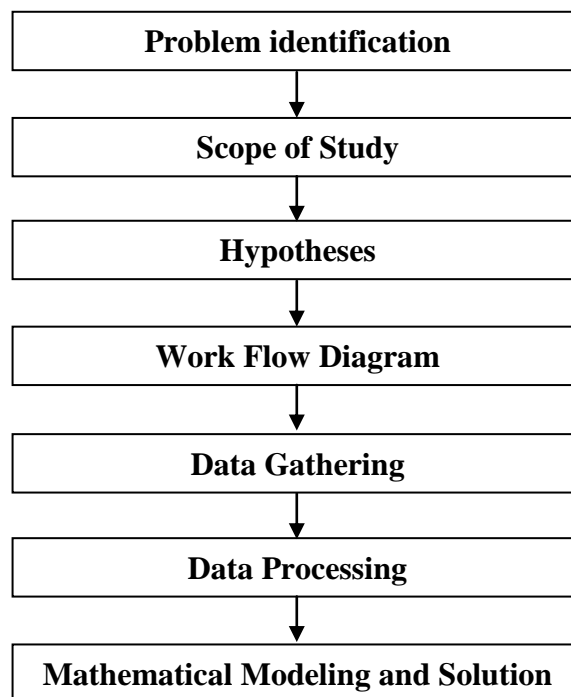


Figure 3.1 Research Stages

3.1.1 Problem Identification

Police patrol plan arrangement is examined to reflect current police patrol practices and steps. In this regard, the patrol officers of Police Station have been interviewed, while their police patrol manual has also been studied. Further, a range of relevant research and thesis are also explored.

With respect to police patrol plan arrangement, checkpoints are established in the responsible area of Police Station. Patrol officers are then required to visit them with an aim to prevent and suppress crimes; while, vehicle checkpoint may be established at a specific time as demanded by the commander for the inspection of illegal items. Despite the fact that not all checkpoints are visited, patrol officers are required to regularly visit some important ones such as banks and goldsmiths or on the basis of their commander's direction.

No route is specified by the commander for patrol officers; therefore, their individual experience and familiarity with the locality are used in route selection. The chosen ones may probably be too long resulting in the waste of fuel in contrast with limited fuel allowance allotted by the commander.

The researcher has put an effort in arranging the shortest route to red-box checkpoints, banks and goldsmiths as well as to vehicle checkpoints within a specific time. Apart from fuel saving promotion, their performance can be maximized along with the benefits to crime suppression as a whole.

3.1.2 Scope of Study

This thesis aims to study police patrol plans of Royal Thai Police's patrol officers and how they pursue the patrol. Logistics mathematical modeling is then applied in order to analyze police patrol plan arrangement of police patrol routes and plans for the benefit of patrol officers, particularly shorter routes and fuel saving. The case study for this research is Nongkhaem Police Station's patrol motorcycle. The improvement of motorcycle patrol should be the first priority because it lies at the heart of crime suppression. Further, the results of this research can be applied with other police stations despite of some changes e.g., number and locations of checkpoints.

3.1.3 Hypotheses

With regards to crime suppression, the Royal Thai Police's guideline for the arrangement of police patrol in responsible area is based on principles of law enforcement theories. The assumption is that no crime may prevail provided that police officers are present in that particular area. Patrol officers thus are designated to visit the responsible area and to establish the vehicle checkpoint for searching illegal items or wrongdoers. Patrol officers begin the patrol from the police station and visit all checkpoints according to the specified plan. After the completion of duty, they return to the police station.

One can say that there is an analogy of problems in police patrol and business logistics. The police station can be comparable to the distribution center (DC); while, red-box checkpoints, banks and goldsmiths to be visited by patrol officers are customers. Establishing the vehicle checkpoint for crime prevention purpose within a specific time as demanded by the commander resembles the contemporary Time Windows in logistics context.

The assumption of this research is the application of logistics knowledge to the arrangement of the shortest police patrol route to all red-box checkpoints, bank and goldsmiths as well as to the vehicle checkpoint within a specific time. This contributes to both energy saving and maximized police patrol performance. The latter indeed benefits the crime suppression as a whole.

3.1.4 Work Flow Diagram

The methodology is based on abovementioned assumption. Meanwhile, Work Flow Diagram is also made to detail the use of data or research tools in each research stage. The first stage is that Global Positioning System (GPS) device is used in collecting all checkpoint locations, to be visited by motorcycle patrol, in the responsible area of Police Station. The conversion of these checkpoint locations into Shapefile is then made by means of DNR Garmin Software; while, 'Network Analyst' feature of Arc Map Software processes road network map and checkpoint locations to find riding time and distance between those checkpoints. The next step involved the selection of logistics mathematical modeling to simulate the performance of duty of patrol officers; thus, it is important that chosen mathematical modeling should be most

similar to police patrol. When the desired one is found, distance and riding time are set as the value in mathematical modeling. LINDO Software is then applied to generate the most suitable police patrol route. The details are described in Figure 3.2.

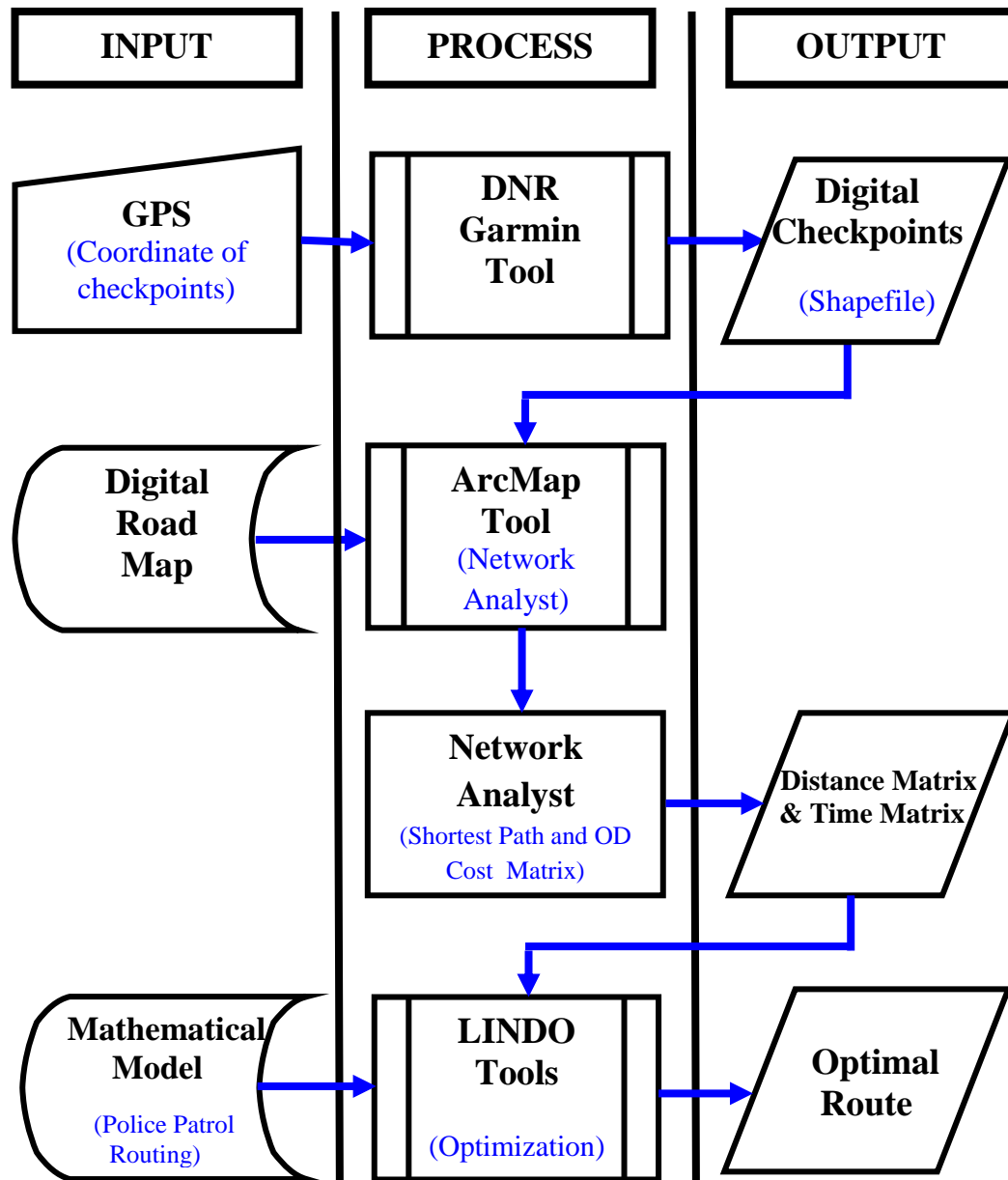


Figure 3.2 Work Flow Diagram of This Research

3.1.5 Data Gathering

Data gathering is divided into two parts: patrol officers' practices and checkpoint locations within the responsible area of Police Station.

1) Patrol Officers' Practices

This research aims to study current procedures for police patrol arrangement and to find the logistics mathematical modeling that is most similar to police patrol with an aim to apply it in police patrol route arrangement. Learning about police patrol during the course of data gathering thus is essential. In this regard, the researcher has inquired and interviewed patrol officers and their commander with respect to this particular issue. "Royal Thai Police's Manual for the Arrangement and Control of Police Patrol" (Royal Thai Police, 2000) and the book entitled "Metropolitan Police Bureau's Guidelines for the Administration and Development of Crime Prevention and Suppression" (Khotcharat, 2000) are also studied because both of them are a widely-adopted guideline generally used by Police Stations.

After data gathering, the researcher found that Police Station follows the principles of law enforcement theories. Thus, patrol officers are in uniform while in duty and to patrol throughout the responsible area because their presence is to create the sense of closeness and comfort among people as well as to reduce wrongdoers' inclination to commit crime. Red-box, bank and goldsmiths checkpoints as well as vehicle checkpoints to be visited by patrol officers have been designated by the commander without specified sequence and route. Therefore, patrol officers' individual experience and familiarity with the locality are applied in route selection. The commander, however, requires patrol officers to establish vehicle checkpoints within a specific time according to "Police Patrol Plan for Patrol Officers" to prevent crime as well as to inspect suspected or wrongdoers' vehicles and illegal items.

According to the interview, motorcycle patrol consists of 2 patrol officers who visit checkpoints in responsible area. They choose the routes on the basis of suitability. Timeframe for each checkpoint may vary. **For red-box checkpoints**, they spend 3 minutes inspecting surrounding area. **For bank checkpoints**, they spend 10 minutes at banks' premise and surrounding area as well as to talk with individuals. **For goldsmiths checkpoints**, they also spend 10 minutes there and surrounding area as well as to talk with people. After each visit, they will sign in the patrol notebook to

certify their arrival and performance of duties. However, the timeframe **for vehicle checkpoints** is based on “Police Patrol Plan for Patrol Officers”. In total, Patrol officers spend 8 hours per shift and they return to the police station after the completion of duties.

2) Gathering of Checkpoint Locations

To apply logistics knowledge in police patrol, it is crucial to know all checkpoint locations in the responsible area of Police Station. In this regard, the researcher has visited all of them and used GPS device - Garmin GPSMAP 60 (Figure 3.3) to collect data with respect to locations of red-box, bank and goldsmiths checkpoints as well as vehicle checkpoints. This stage has been conducted during December 11 – 13, 2009.



Figure 3.3 Garmin GPSMAP 60

The researcher uses DNR Garmin Software (Figure 3.4) to convert those checkpoint locations into Shapefile. Although it is capable of conversion into different formats, Shapefile is chosen because it can be used with ArcGIS 9.3 software in finding travel time and distance between checkpoints. With respect to projections, their compatibility with digital map is crucial.

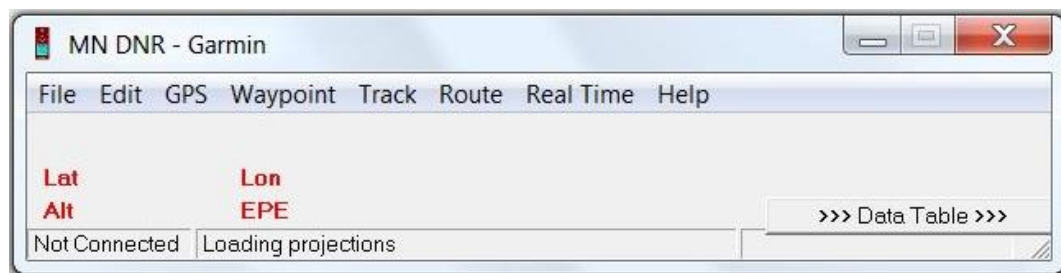


Figure 3.4 Display Screen of DNR Garmin Version 5.4.1

3) Digital Map

After the conversion of all checkpoint locations into Shapefile, the next stage is to find travel time and distance between checkpoints. To do so, digital map data covering all locations is analyzed; therefore, the projections and checkpoint locations must be compatible. The disparity of projections may result in the inaccuracy and even useless data.

4) Determining Travel Speed in each Route

Travel speed may vary due to number of lanes, road conditions and traffic congestion. Therefore, determining travel speed in each route taken by patrol officers is crucial for the analysis of the shortest time and route between checkpoints that most resemble the actual situation. GPS device is equipped with patrol officers' motorcycle visiting 3 patrol zones to collect actual route, speed and distance data. This is to find the most valid one. At this stage, only travel speed is analyzed. MapSource Version 6.16 (Figure 3.5) examines the speed and displays data on routes taken by patrol officers. The speed on each route will then be chosen for the application in digital map.

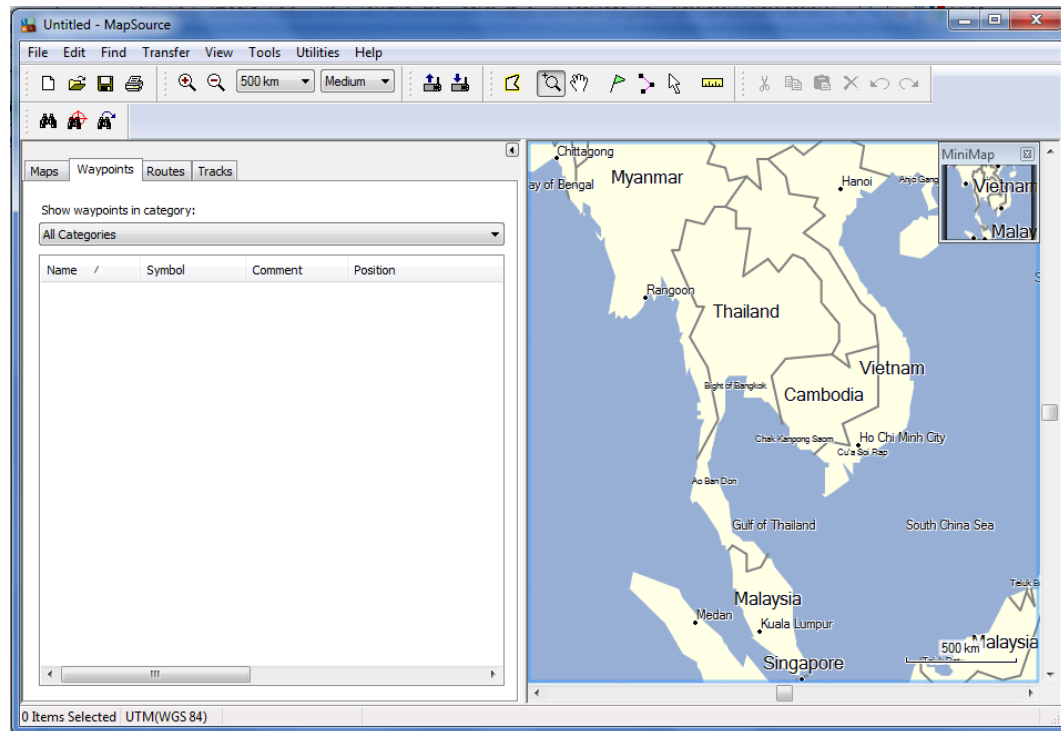


Figure 3.5 Display Screen of MapSource Version 6.16

5) Designation of Service Time

It is important to take into consideration the time spent by patrol officers at each checkpoint because this research aims to provide travel plan for them. Therefore, time is a crucial condition in patrol route arrangement and can be a value in mathematical modeling. Patrol officers spend different amount of time at each checkpoint due to different procedures and practices there. The research thus has inquired their commander whether timeframe at each checkpoint has been designated

3.1.6 Data Processing

The analysis of data, described Section 3.1.5, is made in this stage to find the shortest-time routes between checkpoints. Before that, collected data are configured to find travel time in each road across the digital map, while Network Dataset is also created to facilitate such analysis.

1) Configuration of Travel Time in each Road Across the Digital Map

Travel time in each road is configured to generate digital map travel time that is most similar to police patrol. This may result in more accurate analysis of shortest-time routes between checkpoints. ArcMap software is used in such

configuration to add 'field' into 'attributes' of digital map. The field displays the travel time in each road based on travel speed in Item Determining travel velocity in each route.

2) Creating Network Dataset

The creation of Network Dataset in ArcCatalog (Figure 3.6) is to connect all roads in digital map. Configured travel time in Item Configuration of travel time in each road across the digital map is put into Network Dataset. All roads, u-turns and turnings are connected in the way that most resemble physical roads. The analysis is made to find Origin - Destination Cost Matrix in comparison to patrol officers' actual travel.

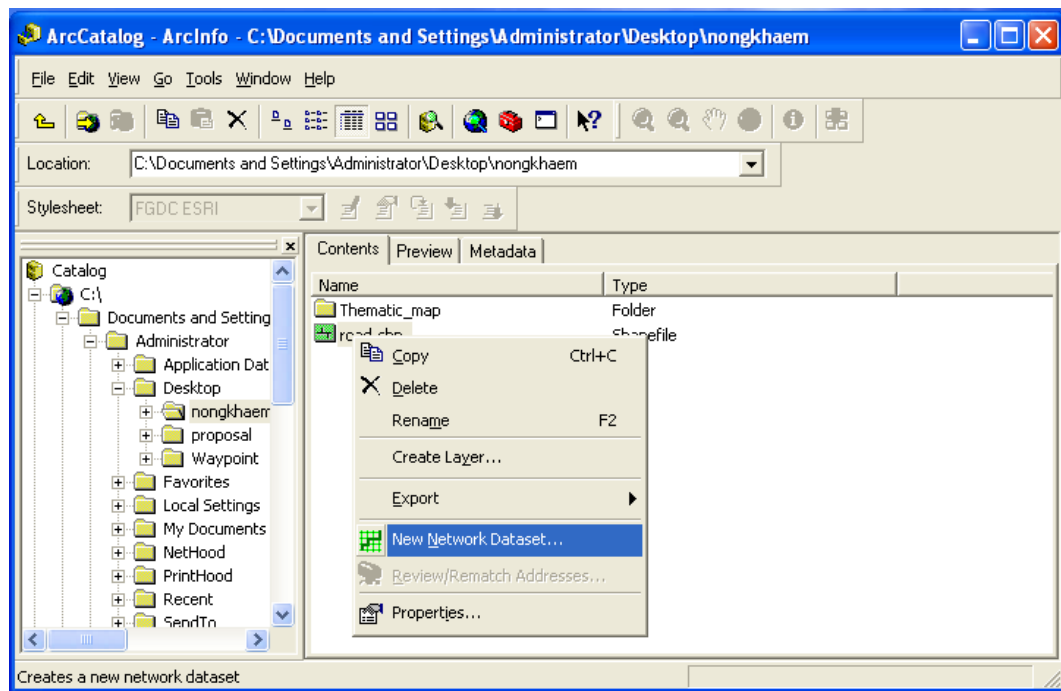


Figure 3.6 Creating Network Dataset

3) Creating an Origin - Destination Cost Matrix

Network Analyst Extension of ArcMap Version 9.3 is used in the analysis of Origin-Destination Cost Matrix (Figure 3.7). The analysis of Origin-Destination Cost Matrix is made to find which matrix reflects 'cost' of traveling from one origin to any destinations and to make a sequence of such travel. The analysis of 'cost', thus, refers to the finding of distance and travel time between all checkpoints. These matrices are required input for the mathematical modeling stage.

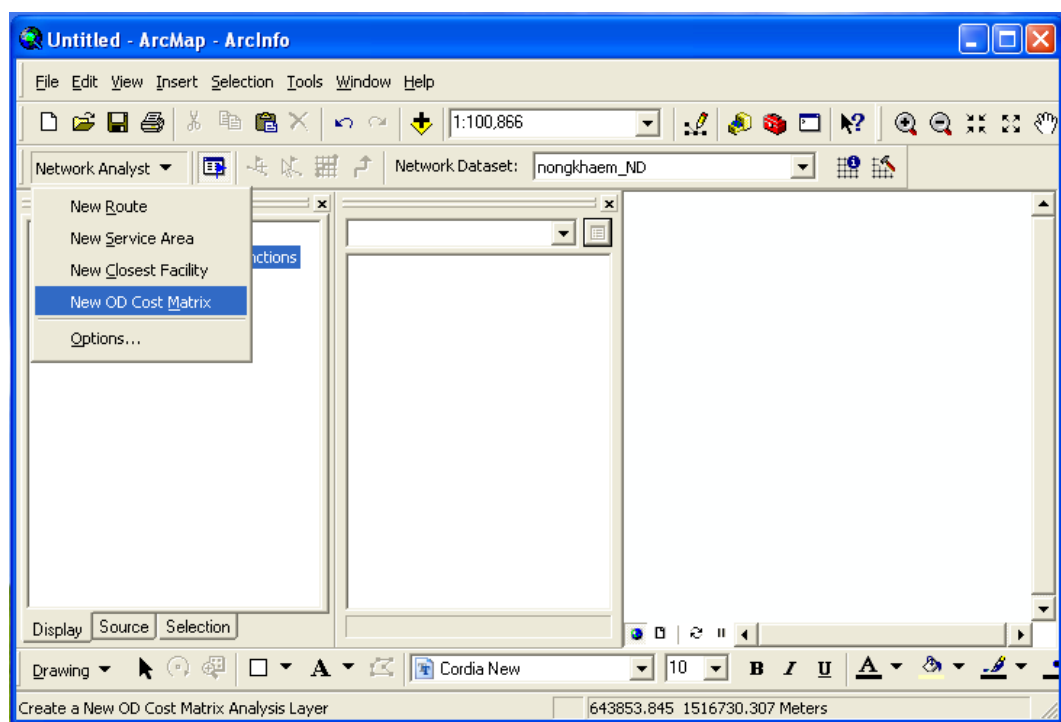


Figure 3.7 To Find Origin - Destination Cost Matrix in ArcMap

3.1.7 Mathematical Modeling for Police Patrol Plan Arrangement

Currently, patrol officers do police patrol in responsible area for crime prevention and suppression purpose without specified routing and scheduling plan. They merely leave the police station to checkpoints in their responsible area and establish the vehicle checkpoint within in a specified time. They return to police station after the completion of duties. Police officers' travel like this may be similar to business logistics model; while the police station is like the distribution center where goods delivery by trucks/pick-ups to stores begins. Those vehicles also return to the center after finishing the delivery. Checkpoints are comparable to stores where

trucks/pick-ups delivered goods to. Further, the need of stores for goods delivery at one specific time is similar to the establishment of vehicle checkpoint as demanded by the commander.

Therefore, the application of logistics knowledge to police patrol may translate into the arrangement of the shortest tour to visit all red-box, bank and goldsmith checkpoints as well as vehicle checkpoints. In addition to fuel saving promotion, their performance can also be maximized for the benefit of crime suppression as a whole. A mathematical model adapted from “Traveling Salesman Problem with Time Windows”, is then developed and applied to police patrol routing and scheduling problem in this thesis. It will be explained in following sections.

3.2 Mathematical Modeling

The concept of Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) problem is adopted since it is similar to the nature of police patrol problem. In this regard, the researcher adapted TSPTW by developing a mathematical model that is most similar to the travel by patrol officers. The similarity between mathematical modeling and the travel by patrol officers has been taken into account. Variables and notations in mathematical modeling are defined as follows:

Sets

N	set of checkpoints
K	set of vehicle checkpoints
K'	set of corresponding dummy vehicle checkpoints

Indices

i, j	index for checkpoints
k	index for vehicle checkpoints in set K
k'	index for corresponding dummy vehicle checkpoints in set K'
o	origin - the police station
d	destination - the police station

Parameters

C_{ij}	cost or distance along the road network from checkpoint i to checkpoint j with the shortest time
X_{od}	the chosen route from origin to destination
T_o	departure time from the origin, i.e., police station
T_d	arrival time at destination, i.e., police station
S_i	service time at checkpoint i
t_{ij}	the shortest riding time from checkpoint i to checkpoint j across road network
a	arrival time at the vehicle checkpoint
b	departure time from the vehicle checkpoint
M	big-M or a large enough number

Decision variables

X_{ij}	$= 1$ refers to the case where the patrol officers choose to travel from checkpoint i to checkpoint j $= 0$ otherwise
T_i	arrival time at checkpoint i
W_i	waiting time prior to performing duties at checkpoints
W'_k	waiting time prior to performing duties at vehicle checkpoints

Mathematical Formulation

Objective Function

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\}} \sum_{j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\} - \{i\}} C_{ij} X_{ij}$$

Constraints

$$\sum_{j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\}} X_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\} \quad , \quad i \neq j \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\}} X_{ij} = 1 \quad ; \forall j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\} \quad , \quad i \neq j \quad (2)$$

$$T_i + W_i + S_i + t_{ij} \leq T_j + M(1 - X_{ij}) \quad ; \forall i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\} \quad , \quad \forall j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\} \quad ; \quad i \neq j \quad (3)$$

$$X_{od} = 0 \quad (4)$$

$$X_{kk'} = 1 \quad ; \forall k \in K, \quad \forall k' \in K' \quad (5)$$

$$X_{k'k} = 0 \quad ; \forall k \in K, \quad \forall k' \in K' \quad (6)$$

$$T_o = 0 \quad (7)$$

$$T_k = a \quad ; \forall k \in K \quad (8)$$

$$T_{k'} = b \quad ; \forall k' \in K' \quad (9)$$

$$T_d \leq 480 \quad (10)$$

$$W'_k = 0 \quad ; \forall k \in K \quad (11)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\} \quad , \quad \forall j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\} \quad ; \quad i \neq j \quad (12)$$

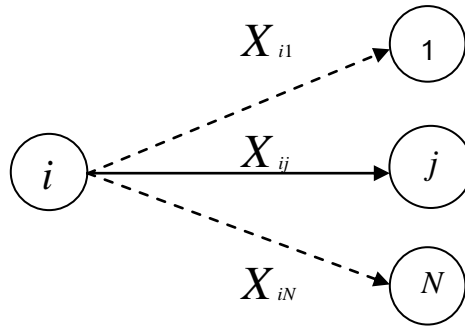
Each constraint of mathematical modeling can be explained as follows:

Objective Function

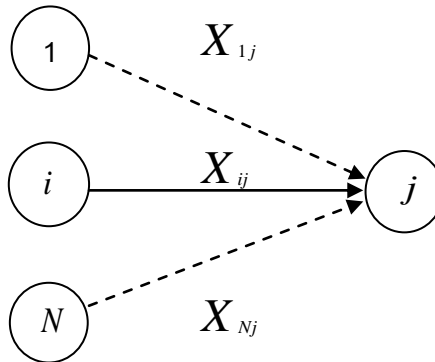
The objective function is aimed to minimize the sum of total travel cost by finding the shortest route that patrol officers can take to all checkpoints without repetition ($i \neq j$). It is subject to the following constraints.

Constraint 1

This constraint requires that, after patrol officers' departure from one checkpoint, they need to choose one route to other checkpoint only (Figure 3.8). This is to prevent their return to the same checkpoint because doing so contradicts police patrol procedures. When they leave checkpoint i , they can choose to proceed to checkpoint 1, j or N . However, they have to choose only one checkpoint and not to return to checkpoint i again.

Figure 3.8 Only One Given Route from Checkpoint i to Checkpoint j **Constraint 2**

This constraint requires that, after the patrol officers' departure from one checkpoint, they need to choose one route to other checkpoint only (Figure 3.9). This is to prevent their return to the same checkpoint because doing so is against police patrol procedures. If they desire to visit checkpoint j , they can choose to depart from checkpoint 1, i or N . However, they have to choose only one checkpoint and not to return to checkpoint i again.

Figure 3.9 Only One Given Route to Checkpoint j from Checkpoint i **Constraints 3**

This is to determine that the patrol officers depart from checkpoint i at time T_i to checkpoint j at time T_j . As a result, time T_i when waiting time (W_i), service time (S_i) and the drive time (t_{ij}) from checkpoint i to checkpoint j are added must be less than time T_j . Furthermore this constraint eliminates so-called

subtours from the set of feasible solutions (Desrosiers et al., 1995). The time spent during the course of travel is shown in Figure 3.10.

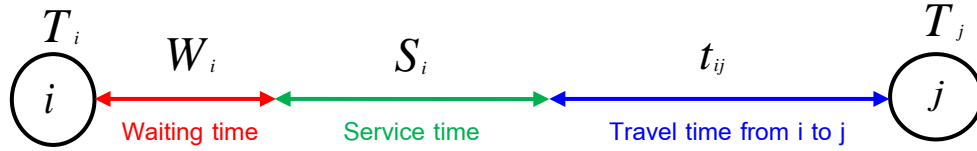


Figure 3.10 Drive Time from Checkpoint i to Checkpoint j

Constraint 4

This is the constraint that prohibits the travel between the origin and the destination directly because these two points are the same place, i.e., police station. Therefore, the tour must travel through different checkpoints prior to the arrival at the destination (police station).

Constraint 5

This constraint is applied in the case of the entry to the vehicle checkpoint where k and k' are the same vehicle checkpoint. However, k is required to proceed toward k' only.

Constraint 6

This constraint is applied in the case of the departure from the vehicle checkpoint where k and k' are the same vehicle checkpoint. However, k is required not to divert to k' .

Constraint 7

This constraint requires that the departure time from the origin (T_o) - Police Station starts at time 0.

Constraint 8

This constraint requires that the patrol officers arrive at the vehicle checkpoint not later than the specified time a by the commander.

Constraint 9

This constraint requires that the patrol officers depart from the vehicle checkpoint must not be sooner than b .

Constraint 10

This constraint requires that the arrival time at the destination T_d - Police Station must be before or by the 480th minute because a shift of police patrol lasts for 8 hours or 480 minutes.

Constraint 11

This constraint requires that the waiting time at the vehicle checkpoint (W'_k) is zero in order that patrol officers perform their duty immediately upon their arrival. It also reduces the processing time due to the fewer number of W'_k variables.

Constraint 12

This constraint requires that X_{ij} must be a binary variable.

3.3 Analytical Tools and Solution Method

This research examines the applicability of logistics mathematical modeling in police patrol route arrangement in the way that resembles to the actual performance of patrol officers' duty. In this regard, different software and hardware have been used accordingly. The competency and functionality of analytical tools are explained below.

1) ArcMap Version 9.3

ArcMap Version 9.3 is capable to function as Network Analyst in finding travel time and distance between checkpoints. By using this software, the desired output, the shortest route or the shortest travel-time route can be obtained. Due to the fact that this research involves time conditions and different travel time on each road, the research uses this software to find the shortest travel-time route. Thus, all checkpoint locations and digital map data are arranged for such estimation. According to the software processing's results, the shortest-time route between checkpoints is set in 'meters' whereas the shortest travel time between checkpoints is determined in 'minutes'.

2) Dreamweaver

This software is used for writing mathematical formulation incorporating the distance and travel time estimated by ArcMap Version 9.3. Due to the fact that the

formulation based on abovementioned mathematical modeling contains many constraints, it results in long and tedious typing. Dreamweaver is then applied accordingly in order to write out the formulation that agrees with mathematical modeling.

3) LINDO

LINDO is friendly and easy-to-use optimization software. The version that we used is LINDO Release 6.1. This software can handle 200,000 variables and the maximum number of 64,000 constraints.

4) Computer

The desktop computer with Intel Core 2 Quad 2.66 GHz CPU and 4 Gigabyte of RAM are used for solving the police patrol problem. The operating system is Microsoft Windows Vista.

CHAPTER IV

RESULTS AND DISCUSSION

Entire research methodology is explained in previous chapter to reflect steps taken by the researcher and which tools or data are applied during the course of this research. Therefore, this chapter involves the use of such data in this research by explaining research steps in detailed and how results can be achieved. The analyses are carried out for two cases. The first case is for routing and scheduling patrol service through mandatory checkpoints. The second case is for all kinds of checkpoints.

4.1 Case Study

The improvement of the arrangement of police patrol routes and plans should be the first priority because motorcycle patrol lies at the heart of crime suppression. Nongkhaem Police Station's motorcycle patrol is chosen as a case study due to its location in Bangkok outskirt. The traffic condition in the area is less complicated; therefore, it is suitable to serve this particular purpose.

4.1.1 Location of Nongkhaem Police Station

Nongkhaem Police Station's responsible area of 21.71 square kilometers covers Nongkhaem sub-district and part of Nong Khlang Phlu sub-district in Nongkhaem district, Bangkok (Figure 4.1). The north boundary is limited to Nong Khlang Phlu sub-district, the south to Bang Bon district, the east to Bang Khae district and the west to Samut Sakhon province. It is divided into three police patrol zones (Figure 4.2). Zone 1 covers Nong Khlang Phlu sub-district and part of Samut Sakhon province. Zone 2 covers Nong Khlang Phlu sub-district and Bang Khae district. Meanwhile, zone 3 is the largest one, which covers part of Samut Sakhon province, Bang Bon district and Bang Khae district. Nongkhaem Police Station is located in this zone.

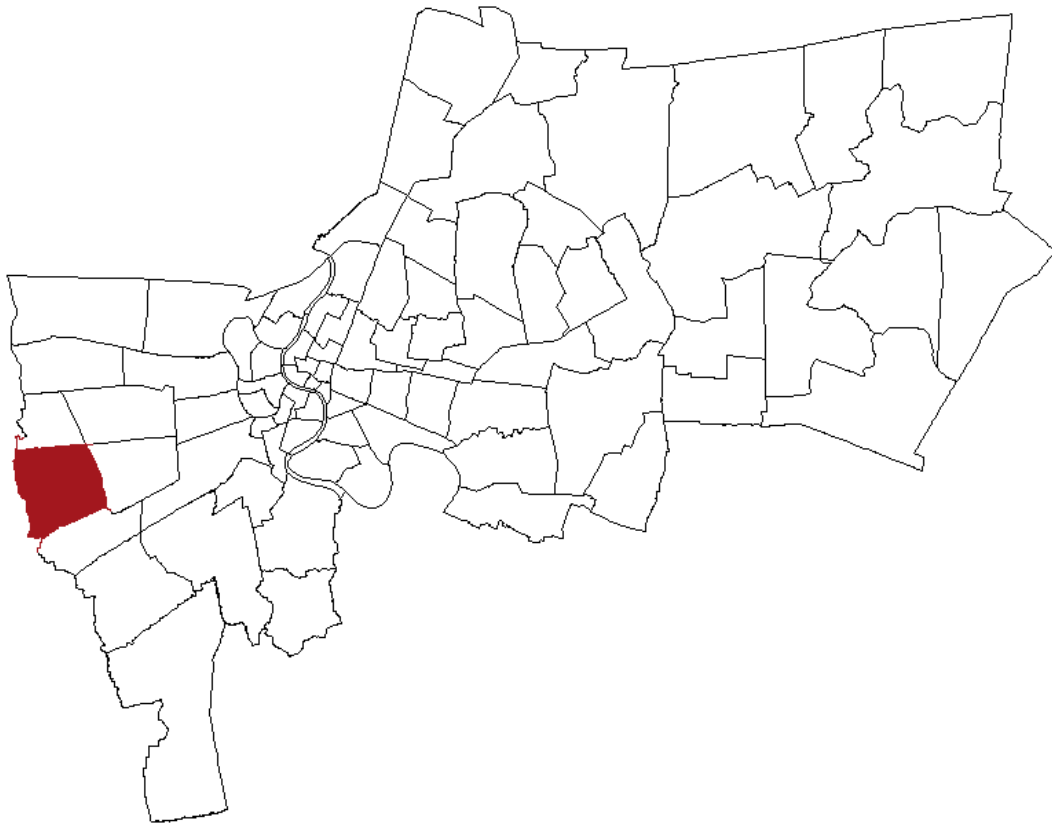


Figure 4.1 Map of Bangkok - Nongkhaem Police Station is Located in the Westernmost of Bangkok

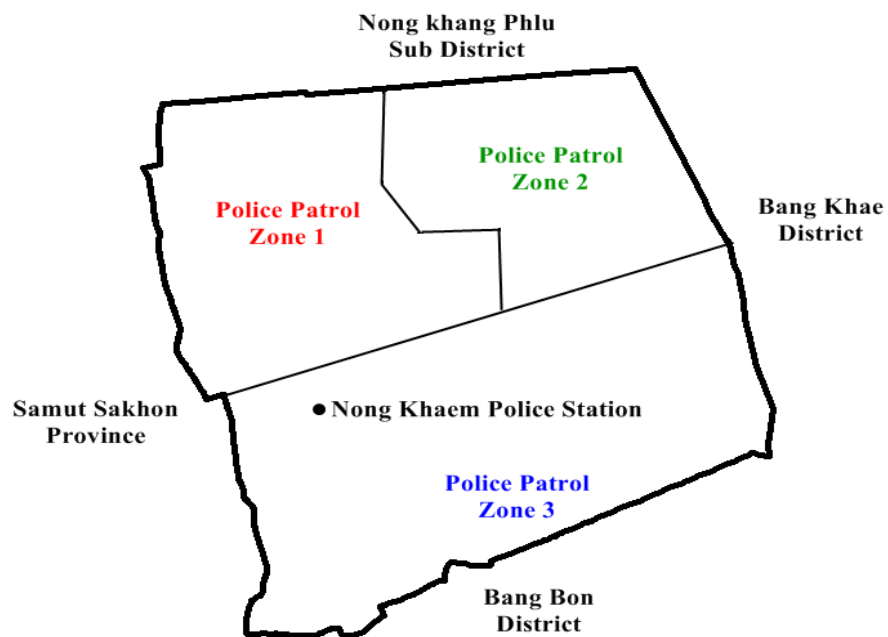


Figure 4.2 Nongkhaem Police Station's Responsible Area and Its Border

4.1.2 Nongkhaem Police Station's Checkpoints

Red-box checkpoints, bank checkpoints, goldsmith checkpoints and vehicle checkpoints have been determined by the commander for each Police Patrol Zone. The lists of these checkpoints are shown in Tables 4.1, 4.2 and 4.3, respectively.

Checkpoints No. 1 to 12 in each patrol zone are very important places because they are, for example, official buildings, residences of notable figures and hot spots. The commander thus requires the patrol officers to patrol such places every time they perform their duty. As checkpoints No. 1 to 12 scatter across the responsible area, the coverage of police patrol can then be met once the patrol officers visit all 12 checkpoints. In addition, the commander may also designate the establishment of vehicle checkpoints within specific timeframe in order to prevent possible crime. Therefore, this particular thesis is focused on the routing and scheduling of police patrol services to those 12 checkpoints and to vehicle checkpoints.

Table 4.1 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 1

Checkpoint ID	Location	Type of Checkpoint
1	Uea Athon Village	Red-box Checkpoint
2	Sa Ran Phon Village	Red-box Checkpoint
3	Soi Ap Thip	Red-box Checkpoint
4	Soi Chatsan 2	Red-box Checkpoint
5	Soi Kamnan Chaloem	Red-box Checkpoint
6	Phuttan Village Office	Red-box Checkpoint
7	Sa Nek Factory	Red-box Checkpoint
8	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 8	Red-box Checkpoint
9	Krung Thong Plastic	Red-box Checkpoint
10	Sin Phet Condominium	Red-box Checkpoint
11	Government Housing Bank	Red-box Checkpoint
12	Yong Charoen Godown	Red-box Checkpoint
13	Hansa Factory	Red-box Checkpoint
14	Sin Thai Factory	Red-box Checkpoint
15	Ya Kan Yung Factory	Red-box Checkpoint
16	Kaeo Factory	Red-box Checkpoint
17	UB Factory	Red-box Checkpoint
18	PK garage	Red-box Checkpoint
19	Hansa 3 Village	Red-box Checkpoint
20	Thong Thai Factory	Red-box Checkpoint
21	39/4 Hansa 5 Village	Red-box Checkpoint
22	Soi Chan In	Red-box Checkpoint
23	Si Mongkhon	Red-box Checkpoint
24	Soi Phut Tan 3/2	Red-box Checkpoint
25	Printing House Soi 79	Red-box Checkpoint

Table 4.1 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 1 (cont.)

Checkpoint ID	Location	Type of Checkpoint
26	Me Na Pho Rented Room	Red-box Checkpoint
27	Chuan Thawin Apartmemt	Red-box Checkpoint
28	Han Tha Wat	Red-box Checkpoint
29	Chu Rada Jeweler	Red-box Checkpoint
30	Soi Watchara Home 1	Red-box Checkpoint
31	Klom Chai Godown	Red-box Checkpoint
32	Soi Khun Khachon	Red-box Checkpoint
33	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 28	Red-box Checkpoint
34	Badminton Court	Red-box Checkpoint
35	Lek Munwian Factory	Red-box Checkpoint
36	72/111-2 Khang Rungrot	Red-box Checkpoint
37	Saeng Thana Furniture	Red-box Checkpoint
38	Bangkok Foam	Red-box Checkpoint
39	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 29	Red-box Checkpoint
40	Khun Khachon Junk Shop	Red-box Checkpoint
41	PT Gas Station	Red-box Checkpoint
42	Phut Tan camp	Red-box Checkpoint
43	Thai VP Factory	Red-box Checkpoint
44	Chuan Chuen Village	Red-box Checkpoint
45	PTT Gas Station	Red-box Checkpoint
46	7-Eleven (Soi 79 branch)	Red-box Checkpoint
47	Khrueang Ngoen Soi 79	Red-box Checkpoint
48	19 Hong Rented Room	Red-box Checkpoint
49	Phat Cha Ra Loha Phan Factory	Red-box Checkpoint
50	Soi Phet Kasem 79 Soi 15	Red-box Checkpoint

Table 4.1 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 1 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
51	Printing House Soi 79	Red-box Checkpoint
52	Ma Ma Town House	Red-box Checkpoint
53	Ya Kan Yung House	Red-box Checkpoint
54	Thong Thai Row House	Red-box Checkpoint
55	Yen Chit	Red-box Checkpoint
56	Chu Chit rented Room	Red-box Checkpoint
57	Soi Watchara Home 2	Red-box Checkpoint
58	Soi Phet Kasem 79 Soi 17	Red-box Checkpoint
59	Dao Den House	Red-box Checkpoint
60	7-Eleven (Hansa Village Branch)	Red-box Checkpoint
61	72/133 Khang Rungrot	Red-box Checkpoint
62	Nakhon Rin Factory	Red-box Checkpoint
63	Hansa 4 Village	Red-box Checkpoint
64	Phong Siri Chai Village	Red-box Checkpoint
65	Chinda Wet Factory	Red-box Checkpoint
66	4/146 Soi Watchara Home	Red-box Checkpoint
67	35/132 Soi Chatsan 2	Red-box Checkpoint
68	Land Office	Red-box Checkpoint
69	57/259 Hansa 1 Village	Red-box Checkpoint
70	Soi Chuan Sanit	Red-box Checkpoint
71	Phet Kasem 81 clinic	Red-box Checkpoint
72	Sub Power Plant	Red-box Checkpoint
73	Soi Ma Ma	Red-box Checkpoint
74	Thana Phi Rom Village	Red-box Checkpoint
75	Flat	Red-box Checkpoint

Table 4.1 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 1 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
76	35/79 Chatsan 2 Village	Red-box Checkpoint
77	79/426 Hansa 4 Village	Red-box Checkpoint
78	Car Wash	Red-box Checkpoint
79	Chatsan 2 Village Minimart	Red-box Checkpoint
80	Phet Kasem 79 Soi 27	Red-box Checkpoint
81	Thai Seng Heng Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
82	Muk Mani Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
83	To Kang Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
84	Siri Mongkhon Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
85	Rattana Suwan Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
86	Thep Mongkhon Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
87	UOB Bank	Bank Checkpoint
88	Siam Commercial Bank	Bank Checkpoint
89	ALC Bank	Bank Checkpoint
90	Kasikorn Bank	Bank Checkpoint
91	Entrance of Soi Hansa	Vehicle Checkpoint
92	Entrance of Soi PhetKasem79	Vehicle Checkpoint
93	Wood Mill	Vehicle Checkpoint
94	Udom Temple	Vehicle Checkpoint
95	Entrance of Soi Phet Kasem77/6	Vehicle Checkpoint

There are totally 95 checkpoints in Police Patrol Zone 1 consisting of 80 red-box checkpoints (No. 1- 80), 6 goldsmith checkpoints (No. 81- 86), 4 Bank checkpoints (No. 87 - 90), and 5 vehicle checkpoints (No. 91 - 95). Patrol Officers are required by their commander to visit checkpoints No. 1 - 12 every time they perform their duty.

Table 4.2 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 2

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
1	Sia Nam's House	Red-box Checkpoint
2	Phet Kasem I Village	Red-box Checkpoint
3	Khunmae Shop	Red-box Checkpoint
4	Wo Rat Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
5	Soi Chotchuang	Red-box Checkpoint
6	Wutthi's House	Red-box Checkpoint
7	69 Aluminium Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
8	37/54 Soi Phet Kasem 71	Red-box Checkpoint
9	Toyota Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
10	Nakhon Phet Kasem Market	Red-box Checkpoint
11	Opposite Phai Thun's House	Red-box Checkpoint
12	Soi Prem Pri 1	Red-box Checkpoint
13	Premier Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
14	Factory at Soi Phet Kasem77	Red-box Checkpoint
15	309 Phet Kasem 1 Village	Red-box Checkpoint
16	Soi Sawatdikan I Soi 6	Red-box Checkpoint
17	Yawata Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
18	Plate Factory	Red-box Checkpoint
19	Harvest Moon Restaurant	Red-box Checkpoint
20	Asia Factory	Red-box Checkpoint
21	PTR Phon Charoen Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
22	Phon Thawi Wat 1 Condominium	Red-box Checkpoint
23	ALK Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
24	Aphi Rue Di Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
25	Rangsan's House	Red-box Checkpoint

Table 4.2 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 2 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
26	Chom Chao's House	Red-box Checkpoint
27	Soi Phet Kasem 77 Soi 3-10	Red-box Checkpoint
28	ASK Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
29	Charoen Apartment	Red-box Checkpoint
30	Am Ma Rin Apartment	Red-box Checkpoint
31	Soi Sawatdikan 2 Soi 18	Red-box Checkpoint
32	Soi Sawatdikan 2 Soi (1)	Red-box Checkpoint
33	Soi Sawatdikan 2 Soi (2)	Red-box Checkpoint
34	17/3 Soi Phet Kasem77 Soi 4-9	Red-box Checkpoint
35	Sa Thi Ta Apartment	Red-box Checkpoint
36	Nam Saeng Dormitory	Red-box Checkpoint
37	Siri Thai Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
38	Phuttha Rak House	Red-box Checkpoint
39	Nam Saeng Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
40	Yu Thong Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
41	Bun Chai's House	Red-box Checkpoint
42	Ngi Thai Factory	Red-box Checkpoint
43	Khwan Thip Mansion	Red-box Checkpoint
44	Phong Sak Mansion	Red-box Checkpoint
45	Soi Prem Pri 2	Red-box Checkpoint
46	77 Apartment	Red-box Checkpoint
47	S & R Footware Factory	Red-box Checkpoint
48	Sawatdikan Plastic Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
49	Sakhon Pan Sin dormitory	Red-box Checkpoint
50	Phitsa Man1-2 Row House	Red-box Checkpoint

Table 4.2 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 2 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
51	Opposite Ngi Thai Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
52	Phichai Yon Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
53	Silver Art Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
54	Gravia Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
55	Soi Rattana Sen	Red-box Checkpoint
56	Opposite Wutthi's House 1	Red-box Checkpoint
57	Jpect Knitting Factory	Red-box Checkpoint
58	Machine Shop	Red-box Checkpoint
59	Hia Ho's House	Red-box Checkpoint
60	Soi Prem Pri 2	Red-box Checkpoint
61	Rung Sawang Place	Red-box Checkpoint
62	Sitthi Phon Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
63	Khiam Heng Pho Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
64	Lap Pet Nong Khai Restaurant	Red-box Checkpoint
65	Arun Thong Village	Red-box Checkpoint
66	Thi Pha Wan Apartment	Red-box Checkpoint
67	Paper Factory	Red-box Checkpoint
68	Opposite Wutthi's House 2	Red-box Checkpoint
69	Ngi Thai Dormitory	Red-box Checkpoint
70	Lee Apartment	Red-box Checkpoint
71	No Entrance Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
72	257 Soi Phet Kasem 73/1	Red-box Checkpoint
73	The House	Red-box Checkpoint
74	Soi Sawat Di Ka 2 Soi 13	Red-box Checkpoint
75	Don Ya House	Red-box Checkpoint

Table 4.2 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 2 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
76	Sin Siam	Red-box Checkpoint
77	Charoen Minimart	Red-box Checkpoint
78	Suppha Wan 4 Village	Red-box Checkpoint
79	Salini House	Red-box Checkpoint
80	Khun Sawat Factory	Red-box Checkpoint
81	SP Apartment	Red-box Checkpoint
82	Yaowarat Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
83	Chai Mongkhon 3 Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
84	Thawi Chai IX Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
85	Krungthai Bank	Bank Checkpoint
86	Krung Si Ayutthaya Bank	Bank Checkpoint
87	CIMB Bank	Bank Checkpoint
88	Opposite Carrefour Supermarket	Vehicle Checkpoint
89	Nan Yang Co. ,Ltd.	Vehicle Checkpoint
90	Soi Nak Sathaphorn 2	Vehicle Checkpoint
91	PTT Gas Station	Vehicle Checkpoint
92	Entrance of Soi PhetKasem73	Vehicle Checkpoint

There are totally 92 checkpoints in Police Patrol Zone 2, consisting of: 81 red-box checkpoints (No. 1- 81), 3 goldsmith checkpoints (No. 82 - 84), 3 Bank checkpoints (No. 85 - 87), and 5 vehicle checkpoints (No. 88 - 92). Patrol Officers are required by their commander to visit checkpoints No. 1 - 12 every time they perform their duty.

Table 4.3 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 3

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
1	Wat Nongkhaem School	Red-box Checkpoint
2	Phet Kasem College	Red-box Checkpoint
3	Soi Phra Pin 4 Soi 13/2	Red-box Checkpoint
4	Soi Phun Suk	Red-box Checkpoint
5	Kanda Village	Red-box Checkpoint
6	45/6 Fang Tai Road	Red-box Checkpoint
7	Thawi Suk Farm	Red-box Checkpoint
8	Pan Factory	Red-box Checkpoint
9	Na Ko Ya Factory	Red-box Checkpoint
10	Modern Factory	Red-box Checkpoint
11	Phet Minimart	Red-box Checkpoint
12	Soi Chaiyo	Red-box Checkpoint
13	Phon Phen Apartment	Red-box Checkpoint
14	Powder Factory	Red-box Checkpoint
15	Green Act Factory	Red-box Checkpoint
16	Kaeo Restaurant	Red-box Checkpoint
17	Nitta Ya Factory	Red-box Checkpoint
18	Khaep Mu Factory	Red-box Checkpoint
19	Soi Phra Pin 4 Soi 11	Red-box Checkpoint
20	Soi Phra Pin 4 Soi 6	Red-box Checkpoint
21	Soi Thana Suk 1	Red-box Checkpoint
22	Thana Suk Village	Red-box Checkpoint
23	Kitti Ya Village	Red-box Checkpoint
24	Soi Phet Monthon 11	Red-box Checkpoint
25	Phet Monthon Village	Red-box Checkpoint

Table 4.3 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 3 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
26	Chai Charoen Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
27	Kaona Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
28	Phai Lot Factory	Red-box Checkpoint
29	Soi Suwan Khon	Red-box Checkpoint
30	Phaisan Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
31	Tawan Chai Village	Red-box Checkpoint
32	Soi Phun Suk 1	Red-box Checkpoint
33	Soi Kanda 7	Red-box Checkpoint
34	Soi Sathit	Red-box Checkpoint
35	Hia Chua House	Red-box Checkpoint
36	Soi Kuan Im	Red-box Checkpoint
37	Soi Chuea Suan	Red-box Checkpoint
38	C B S Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
39	Chan Charan Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
40	Satin Factory	Red-box Checkpoint
41	Yaem Phaka Nok	Red-box Checkpoint
42	Yaem Phaka Nai	Red-box Checkpoint
43	Lat Da Rom Village	Red-box Checkpoint
44	Soi Prasit 4/4	Red-box Checkpoint
45	Ratchaphruek Village	Red-box Checkpoint
46	Pa Chuk's House	Red-box Checkpoint
47	Thai Phet Factory	Red-box Checkpoint
48	Soi Wan Samroeng	Red-box Checkpoint
49	Sai Thip Village	Red-box Checkpoint
50	Soi Thong Niam 1	Red-box Checkpoint

Table 4.3 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 3 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
51	Soi Chawalit	Red-box Checkpoint
52	Sawa Kon Kodang	Red-box Checkpoint
53	17/110 Bencha Phon Vilage	Red-box Checkpoint
54	Bencha Phon Village	Red-box Checkpoint
55	Soi Prasoet	Red-box Checkpoint
56	Suea Dek Factory	Red-box Checkpoint
57	Sombun Phon's House	Red-box Checkpoint
58	Rakhang Thong Rented Room	Red-box Checkpoint
59	Hutsa Chemical Factory	Red-box Checkpoint
60	Sombun Phon Rented Room	Red-box Checkpoint
61	Paichue 1 House	Red-box Checkpoint
62	Paichue 2 House	Red-box Checkpoint
63	Thai Nam Thip Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
64	Sock Factory	Red-box Checkpoint
65	Thian Saeng Thip Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
66	Sunthon 5 Village	Red-box Checkpoint
67	Bi Sian Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
68	Furniture	Red-box Checkpoint
69	Air Produce Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
70	Opposite Phet Samut Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
71	Rim Nam Condominium	Red-box Checkpoint
72	Kim Sek Heng Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
73	Chai Mongkhon 2 Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
74	Krungthai Bank	Bank Checkpoint
75	7-Eleven (Bus Terminal Branch)	Vehicle Checkpoint

Table 4.3 Checkpoint Locations in Police Patrol Zone 3 (cont.)

Checkpoint ID	Checkpoints	Type of Checkpoint
76	Lak Sam Temple	Vehicle Checkpoint
77	Weekend Market near Police Station	Vehicle Checkpoint
78	Bus Terminal	Vehicle Checkpoint
79	7-Eleven (Nongkhaem Temple branch)	Vehicle Checkpoint

Overall, there are 79 checkpoints in Police Patrol Zone 3, consisting of 71 red-box checkpoints (No. 1 - 71), 2 goldsmith checkpoints (No. 72 - 73), only one bank checkpoint (No. 74), and 5 vehicle checkpoints (No. 75 - 79). Similarly, patrol officers are required by their commander to visit checkpoints No. 1 - 12 every time they perform their duty.

Figure 4.3 displays geographically all checkpoints in all three Police Patrol Zones of Nongkhaem Police Station. The red cycles represent checkpoints for Zone 1, green squares for Zone 2 and blue triangles for Zone 3.

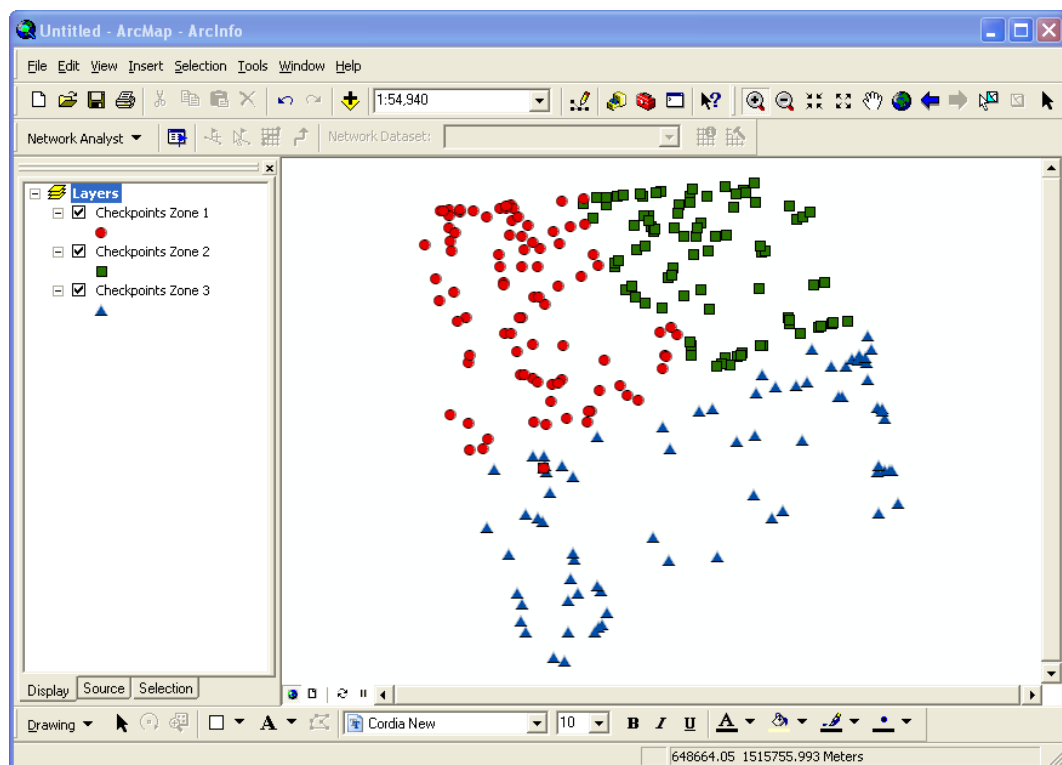


Figure 4.3 All Checkpoints in All Police Patrol Zones within
Nongkhaem Police Station's Responsible Area

4.1.3 Patrol Officers' Daily Duty

Patrol officers' around-the-clock daily duty is determined by their commander into three eight-hour shifts, i.e., Shift 1 (12:01 a.m. - 8:00 a.m.), Shift 2 (8:01 a.m. - 4:00 p.m.) and Shift 3 (4:01 p.m. - 12:00 a.m.). The 24-hour police patrol may indeed benefit crime suppression.

Despite the fact that no routing and scheduling have been specified for patrol officers, they are required by their commander to arrive at the vehicle checkpoint within a specific time and to visit checkpoints No. 1 - 12. However, for other checkpoints, they are allowed to use their own discretion on which ones to be visited and which routes to pursue. Once they finished planned visit of checkpoints, they return to the police station at the end of the 8-hour shift.

4.1.4 Police Patrol Plan at the Vehicle Checkpoints

At the vehicle checkpoints, the commander designates police patrol plan for patrol officers by demanding them to patrol the area or to inspect vehicles around the checkpoint for illegal items for a longer time as compared to other types of checkpoints. In each shift, patrol officers are also required to visit different checkpoints; while, the plan is subject to change every fifteen days. Tables 4.4, 4.5 and 4.6 shows police patrol plan for shifts 1, 2 and 3, respectively.

Table 4.4 Police Patrol Plan, Shift 1 (12:01 a.m. - 8:00 a.m.), January 1-15, 2010

Police Patrol Zone	Time	Duties
Motorcycle Patrol Zone 1	5:45 a.m. - 6:15 a.m.	To establish a checkpoint at the entrance of Hansa Village
	7:00 a.m. - 7:30 a.m.	To do police patrol at the entrance of Soi Phetchakasem 73
Motorcycle Patrol Zone 2	5:30 a.m. - 6:30 a.m.	To do police patrol opposite to Carrefour Supermarket.
	7:00 a.m. - 7:30 a.m.	To do police patrol at Nanyang Co., Ltd.
Motorcycle Patrol Zone 3	6:00 a.m. - 7:00 a.m.	To do police patrol at 7-Eleven (Bus Terminal Branch)

From Table 4.4, patrol officers perform duties from 12:01 a.m. - 8:00 a.m. according to this Police Patrol Plan that consists of 3 Motorcycle Patrol Zones:

For motorcycle patrol zone 1, patrol officers must spend at least 30 minutes from 5:45 a.m. until 6:15 a.m. to establish a checkpoint at the entrance of Hansa Village and another minimum 30 minutes from 7:00 a.m. until 7:30 a.m. to do police patrol at the entrance of Soi Phetchakasem 73.

For motorcycle patrol zone 2, patrol officers must spend at least an hour from 5:30 a.m. until 6:30 a.m. to do police patrol at the opposite to Carrefour Supermarket and another 30 minutes from 7:00 a.m. until 7:30 a.m. to do police patrol at Nanyang Co., Ltd.

Similarly, for motorcycle patrol zone 3, patrol officers must spend at least an hour from 6:00 a.m. to 7:00 a.m. to do police patrol at 7-Eleven (Bus Terminal Branch).

Table 4.5 Police Patrol Plan, Shift 2, (8:01 a.m. - 4:00 p.m.), January 1-15, 2010

Police Patrol Zone	Time	Duties
Motorcycle Patrol Zone 1	11:00 a.m. - 11:30 a.m.	To establish a checkpoint at the Wood Mill
	2:15 p.m. - 3:00 p.m.	To establish a checkpoint in front of Udom Temple
Motorcycle Patrol Zone 2	11:00 a.m. - 12:00 p.m.	To do police patrol at the halfway point of Soi Nak Sathaphorn 2
	2:00 p.m. - 3:00 p.m.	To do police patrol opposite to Carrefour Supermarket
Motorcycle Patrol Zone 3	3:00 p.m. - 3:30 p.m.	To do police patrol in front of Lak Sam Temple

From Table 4.5, patrol officers perform duties from 8:01 a.m. - 4:00 p.m. according to this Police Patrol Plan that consists of 3 Motorcycle Patrol Zones:

For motorcycle patrol zone 1, patrol officers must spend at least 30 minutes from 11:00 a.m. until 11:30 a.m. to establish a vehicle checkpoint at the Wood

Mill. Later on between 2:15 p.m. until 3:00 p.m., they must establish a vehicle checkpoint in front of Udom Temple for another 45 minutes.

For motorcycle patrol zone 2, patrol officers must spend at least an hour from 11:00 a.m. until 12:00 p.m. to do police patrol at the halfway point of Soi Nak Sathaphorn 2. From 2:00 p.m. until 3:00 p.m., they establish another vehicle checkpoint again and do police patrol right opposite to Carrefour Supermarket.

For motorcycle patrol zone 3, patrol officers must spend at an hour from 3:00 p.m. until 3:30 p.m. to do police patrol in front of Lak Sam Temple.

Table 4.6 Police Patrol Plan, Shift 3 (4:01 p.m. - 12:00 a.m.), January 1 - 15 , 2010

Police Patrol Zone	Time	Duties
Motorcycle Patrol Zone 1	6:00 p.m. – 6:30 p.m.	To do police patrol at the entrance of Hansa Village
	8:00 p.m. – 8:30 p.m.	To establish a checkpoint at Soi Phetchakaset 77/6
Motorcycle Patrol Zone 2	8:00 p.m. – 8:30 p.m.	To do police patrol at PTT Gas station
	9:00 p.m. – 9:30 p.m.	To establish a checkpoint at the entrance of Soi Phetchakaset 73
	10:00 p.m. – 11:00 p.m.	To do police patrol at the entrance of Soi Phetchakaset 73
Motorcycle Patrol Zone 3	5:30 p.m. – 6:30 p.m.	To do police patrol at the Weekend Market next to Nongkhaem Police Station
	10:00 p.m. – 10:30 p.m.	To do police patrol at the Bus Terminal
	11:30 p.m. – 12:00 a.m.	To do police patrol at 7-Eleven (Nongkhaem Temple Branch)

From Table 4.6, patrol officers perform duties from 4:01 p.m. - 12:00 a.m. hours according to this Police Patrol Plan that consists of 3 Motorcycle Patrol Zones:

For motorcycle patrol zone 1, patrol officers must spend 30 minutes from 6:00 p.m. until 6:30 p.m. to do police patrol at the entrance of Hansa Village and another 30 minutes from 8:00 p.m. until 8:30 p.m. to establish a checkpoint at Soi Phetchakaset 77/6.

There are three vehicle checkpoints for motorcycle patrol zone 2. Patrol officers must spend 30 minutes from 8:00 p.m. until 8:30 p.m. to do police patrol at the PTT Gas Station. The second vehicle checkpoint lasts 30 minutes from 9:00 p.m. until 9:30 p.m. at the entrance of Soi Phetchakaset 73. The third vehicle checkpoint is an 1 hour long from 10:00 p.m. until 11:00 p.m. to do police patrol at the entrance of Soi Phetchakaset 73.

Also, there are three vehicle checkpoints for motorcycle patrol zone 3. First, patrol officers must spend an hour from 5:30 p.m. until 6:30 p.m. to do police patrol at the Weekend Market next to Nongkhaem Police Station. They establish the second vehicle checkpoint and do police patrol at the depot of bus Terminal for 30 minutes from 10:00 p.m. until 10:30 p.m., The third vehicle checkpoint is at 7-Eleven (Nongkhaem Temple Branch) where the patrol officers must spend 30 minutes from 11:30 p.m. until 12:00 a.m.

4.2 Data Collection

This step involves the collection of all data for processing to identify distance and time between checkpoints. Despite a brief explanation in previous section, details on data collection and data feature are clarified in this section.

4.2.1 Checkpoint Locations

Nongkhaem Police Station has 266 checkpoints in total as shown in Tables 4.1, 4.2 and 4.3. In this regard, there are 95, 92 and 79 checkpoints in police patrol zones 1, 2 and 3, respectively. It is rather difficult to know all of them as their locations are across Nongkhaem Police Station's responsible area. Patrol officers have been inquired accordingly. The researchers have also followed them while they do police patrol to learn more. Then, the researcher has visited all these checkpoints himself and Garmin GPSMAP 60 is used to geographically record their locations. The collection of locations of Police Patrol Zone 1, 2 and 3 have been made in 2010 on 19 January, 20 January and 9 February, respectively.

Due to the fact that the mathematical modeling in this research involves time windows, the dummy of each vehicle checkpoint has been added to make it resemble patrol officers' arrival to and departure from there. The first vehicle checkpoint is for their arrival; while the replica is for their departure. Hence, the collection of one more location data at each vehicle checkpoint is to meet this purpose. For example, there are 5 vehicle checkpoints in police patrol zone 1; therefore, 5 more location data are collected. This means that 100 location data have been collected for police patrol zone 1. Similarly, there are also 5 vehicle checkpoints in police patrol zones 2 and 3 so 97 and 84 location data are collected from these two police patrol zones, respectively.

During location data collection by Garmin GPSMAP 60, codes representing each checkpoint have been set to facilitate data storage or to reduce collection time, especially the delay caused by typing workload. Codes for Nongkhaem Police Station are "Origin" and "Destination" because it serves as both functions. Meanwhile, Tables 4.7, 4.8 and 4.9 show 100, 97 and 84 codes for police patrol zones 1, 2 and 3, respectively.

Table 4.7 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 1

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone1_000	Nongkhaem Police Station	origin
zone1_001	Uea Athon Village	Red-box Checkpoint
zone1_002	Sa Ran Phon Village	Red-box Checkpoint
zone1_003	Soi Ap Thip	Red-box Checkpoint
zone1_004	Soi Chatsan 2	Red-box Checkpoint
zone1_005	Soi Kamnan Chaloem	Red-box Checkpoint
zone1_006	Phuttan Village Office	Red-box Checkpoint
zone1_007	Sa Nek Factory	Red-box Checkpoint
zone1_008	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 8	Red-box Checkpoint
zone1_009	Krung Thong Plastic	Red-box Checkpoint
zone1_010	Sin Phet Condominium	Red-box Checkpoint
zone1_011	Government Housing Bank	Red-box Checkpoint
zone1_012	Yong Charoen Godown	Red-box Checkpoint
zone1_013	Hansa Factory	Red-box Checkpoint
zone1_014	Sin Thai Factory	Red-box Checkpoint
zone1_015	Ya Kan Yung Factory	Red-box Checkpoint
zone1_016	Kaeo Factory	Red-box Checkpoint
zone1_017	UB Factory	Red-box Checkpoint
zone1_018	PK Garage	Red-box Checkpoint
zone1_019	Hansa 3 Village	Red-box Checkpoint
zone1_020	Thong Thai Factory	Red-box Checkpoint
zone1_021	39/4 Hansa 5 Village	Red-box Checkpoint
zone1_022	Soi Chan In	Red-box Checkpoint
zone1_023	Si Mongkhon	Red-box Checkpoint
zone1_024	Soi Phut Tan 3/2	Red-box Checkpoint
zone1_025	Printing House Soi 79	Red-box Checkpoint

Table 4.7 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 1 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone1_026	Me Na Pho Rented Room	Red-box Checkpoint
zone1_027	Chuan Thawin Apartment	Red-box Checkpoint
zone1_028	Han Tha Wat	Red-box Checkpoint
zone1_029	Chu Rada Jeweler	Red-box Checkpoint
zone1_030	Soi Watchara Home 1	Red-box Checkpoint
zone1_031	Klom Chai godown	Red-box Checkpoint
zone1_032	Soi Khun Khachon	Red-box Checkpoint
zone1_033	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 28	Red-box Checkpoint
zone1_034	Badminton Court	Red-box Checkpoint
zone1_035	Lek Munwian Factory	Red-box Checkpoint
zone1_036	72/111-2 Khang Rungrot	Red-box Checkpoint
zone1_037	Saeng Thana Furniture	Red-box Checkpoint
zone1_038	Bangkok Foam	Red-box Checkpoint
zone1_039	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 29	Red-box Checkpoint
zone1_040	Khun Khachon Junk Shop	Red-box Checkpoint
zone1_041	PT Gas Station	Red-box Checkpoint
zone1_042	Phut Tan Camp	Red-box Checkpoint
zone1_043	Thai VP Factory	Red-box Checkpoint
zone1_044	Chuan Chuen Village	Red-box Checkpoint
zone1_045	PTT Gas Station	Red-box Checkpoint
zone1_046	7-Eleven (Soi 79 Branch)	Red-box Checkpoint
zone1_047	Khrueang Ngoen Soi 79	Red-box Checkpoint
zone1_048	19 Hong Rented Room	Red-box Checkpoint
zone1_049	Phat Cha Ra Loha Phan Factory	Red-box Checkpoint
zone1_050	Soi Phet Kasem 79 Soi 15	Red-box Checkpoint

Table 4.7 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 1 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone1_051	Printing House Soi 79	Red-box Checkpoint
zone1_052	Ma Ma Town House	Red-box Checkpoint
zone1_053	Ya Kan Yung House	Red-box Checkpoint
zone1_054	Thong Thai Row House	Red-box Checkpoint
zone1_055	Yen Chit	Red-box Checkpoint
zone1_056	Chu Chit Rented Room	Red-box Checkpoint
zone1_057	Soi Watchara Home 2	Red-box Checkpoint
zone1_058	Soi Phet Kasem 79 Soi 17	Red-box Checkpoint
zone1_059	Dao Den House	Red-box Checkpoint
zone1_060	7-Eleven (Hansa Village Branch)	Red-box Checkpoint
zone1_061	72/133 Khang Rungrot	Red-box Checkpoint
zone1_062	Nakhon Rin Factory	Red-box Checkpoint
zone1_063	Hansa 4 Village	Red-box Checkpoint
zone1_064	Phong Siri Chai Village	Red-box Checkpoint
zone1_065	Chinda Wet Factory	Red-box Checkpoint
zone1_066	4/146 Soi Watchara Home	Red-box Checkpoint
zone1_067	35/132 Soi Chatsan 2	Red-box Checkpoint
zone1_068	Land Office	Red-box Checkpoint
zone1_069	57/259 Hansa1 Village	Red-box Checkpoint
zone1_070	Soi Chuan Sanit	Red-box Checkpoint
zone1_071	Phet Kasem 81 Clinic	Red-box Checkpoint
zone1_072	Sub Power Plant	Red-box Checkpoint
zone1_073	Soi Ma Ma	Red-box Checkpoint
zone1_074	Thana Phi Rom Village	Red-box Checkpoint
zone1_075	Flat	Red-box Checkpoint

Table 4.7 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 1 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone1_076	35/79 Chatsan 2 Village	Red-box Checkpoint
zone1_077	79/426 Hansa 4 Village	Red-box Checkpoint
zone1_078	Car Wash	Red-box Checkpoint
zone1_079	Chatsan 2 Village Minimart	Red-box Checkpoint
zone1_080	Phet Kasem 79 Soi 27	Red-box Checkpoint
zone1_081	Thai Seng Heng Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone1_082	Muk Mani Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone1_083	To Kang Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone1_084	Siri Mongkhon Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone1_085	Rattana Suwan Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone1_086	Thep Mongkhon Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone1_087	UOB Bank	Bank Checkpoint
zone1_088	Siam Commercial Bank	Bank Checkpoint
zone1_089	ALC Bank	Bank Checkpoint
zone1_090	Kasikorn Bank	Bank Checkpoint
zone1_091	Entrance of Soi Hansa	Vehicle Checkpoint
zone1_092	Entrance of Soi Hansa Dummy	Vehicle Checkpoint
zone1_093	Entrance of Soi PhetKasem79	Vehicle Checkpoint
zone1_094	Entrance of Soi PhetKasem79 Dummy	Vehicle Checkpoint
zone1_095	Wood Mill	Vehicle Checkpoint
zone1_096	Wood Mill Dummy	Vehicle Checkpoint
zone1_097	Udom Temple	Vehicle Checkpoint
zone1_098	Udom Temple Dummy	Vehicle Checkpoint
zone1_099	Entrance of Soi Phet Kasem77/6	Vehicle Checkpoint
zone1_100	Entrance of Soi Phet Kasem77/6 Dummy	Vehicle Checkpoint
zone1_101	Nongkhaem Police Station	Destination

Table 4.8 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 2

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone2_000	Nongkhaem Police Station	origin
zone2_001	Sia Nam's House	Red-box Checkpoint
zone2_002	Phet Kasem1 Village	Red-box Checkpoint
zone2_003	Khunmae Shop	Red-box Checkpoint
zone2_004	Wo Rat Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_005	Soi Chotchuang	Red-box Checkpoint
zone2_006	Wutthi's House	Red-box Checkpoint
zone2_007	69 Aluminium Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_008	37/54 Soi Phet Kasem 71	Red-box Checkpoint
zone2_009	Toyota Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_010	Nakhon Phet Kasem Market	Red-box Checkpoint
zone2_011	Opposite Phai Thun's House	Red-box Checkpoint
zone2_012	Soi Prem Pri 1	Red-box Checkpoint
zone2_013	Premier Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_014	Factory at Soi Phet Kasem77	Red-box Checkpoint
zone2_015	309 Phet Kasem1 Village	Red-box Checkpoint
zone2_016	Soi Sawatdikan 1 Soi 6	Red-box Checkpoint
zone2_017	Yawata Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_018	Plate Factory	Red-box Checkpoint
zone2_019	Harvest Moon Restaurant	Red-box Checkpoint
zone2_020	Asia Factory	Red-box Checkpoint
zone2_021	PTR Phon Charoen Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_022	Phon Thawi Wat 1 Condominium	Red-box Checkpoint
zone2_023	ALK Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_024	Aphi Rue Di Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_025	Rangsan's House	Red-box Checkpoint

Table 4.8 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 2 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone2_026	Chom Chao's House	Red-box Checkpoint
zone2_027	Soi Phet Kasem 77 Soi 3-10	Red-box Checkpoint
zone2_028	ASK Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_029	Charoen Apartment	Red-box Checkpoint
zone2_030	Am Ma Rin Apartment	Red-box Checkpoint
zone2_031	Soi Sawatdikan 2 Soi 18	Red-box Checkpoint
zone2_032	Soi Sawatdikan 2 Soi 20 (1)	Red-box Checkpoint
zone2_033	Soi Sawatdikan 2 Soi 20 (2)	Red-box Checkpoint
zone2_034	17/3 Soi Phet Kasem77-4-9	Red-box Checkpoint
zone2_035	Sa Thi Ta Apartment	Red-box Checkpoint
zone2_036	Nam Saeng Dormitory	Red-box Checkpoint
zone2_037	Siri Thai Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_038	Phuttha Rak House	Red-box Checkpoint
zone2_039	Nam Saeng Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_040	Yu Thong Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_041	Bun Chai's House	Red-box Checkpoint
zone2_042	Ngi Thai Factory	Red-box Checkpoint
zone2_043	Khwan Thip Mansion	Red-box Checkpoint
zone2_044	Phong Sak Mansion	Red-box Checkpoint
zone2_045	Soi Prem Pri 2	Red-box Checkpoint
zone2_046	77 Apartment	Red-box Checkpoint
zone2_047	S & R Footware Factory	Red-box Checkpoint
zone2_048	Sawatdikan Plastic Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_049	Sakhon Pan Sin Dormitory	Red-box Checkpoint
zone2_050	Phitsa Man1-2 Row House	Red-box Checkpoint

Table 4.8 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 2 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone2_051	Opposite Ngi Thai Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_052	Phichai Yon Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_053	Silver Art Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_054	Gravia Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_055	Soi Rattana Sen	Red-box Checkpoint
zone2_056	Opposite Wutthi's House 1	Red-box Checkpoint
zone2_057	Jpect Knitting Factory	Red-box Checkpoint
zone2_058	Machine Shop	Red-box Checkpoint
zone2_059	Hia Ho's House	Red-box Checkpoint
zone2_060	Soi Prem Pri 2	Red-box Checkpoint
zone2_061	Rung Sawang Place	Red-box Checkpoint
zone2_062	Sitthi Phon Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_063	Khiam Heng Pho Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_064	Lap Pet Nong Khai Restaurant	Red-box Checkpoint
zone2_065	Arun Thong Village	Red-box Checkpoint
zone2_066	Thi Pha Wan Apartment	Red-box Checkpoint
zone2_067	Paper Factory	Red-box Checkpoint
zone2_068	Opposite Wutthi's House 2	Red-box Checkpoint
zone2_069	Ngi Thai Dormitory	Red-box Checkpoint
zone2_070	Lee Apartment	Red-box Checkpoint
zone2_071	No Entrance Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone2_072	257 Soi Phet Kasem 73/1	Red-box Checkpoint
zone2_073	The House	Red-box Checkpoint
zone2_074	Soi Sawat Di Ka 2 Soi 13	Red-box Checkpoint
zone2_075	Don Ya House	Red-box Checkpoint

Table 4.8 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 2 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone2_076	Sin Siam	Red-box Checkpoint
zone2_077	Charoen Minimart	Red-box Checkpoint
zone2_078	Suppha Wan 4 Village	Red-box Checkpoint
zone2_079	Salini House	Red-box Checkpoint
zone2_080	Khun Sawat Factory	Red-box Checkpoint
zone2_081	SP Apartment	Red-box Checkpoint
zone2_082	Yaowarat Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone2_083	Chai Mongkhon 3 Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone2_084	Thawi Chai 9 Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone2_085	Krungthai Bank	Bank Checkpoint
zone2_086	Krung Si Ayutthaya Bank	Bank Checkpoint
zone2_087	CIMB Bank	Bank Checkpoint
zone2_088	Opposite Carrefour Supermarket	Vehicle Checkpoint
zone2_089	Opposite Carrefour Supermarket Dummy	Vehicle Checkpoint
zone2_090	Nan Yang Co. ,Ltd.	Vehicle Checkpoint
zone2_091	Nan Yang Co. ,Ltd. Dummy	Vehicle Checkpoint
zone2_092	Soi Nak Sathaphorn 2	Vehicle Checkpoint
zone2_093	Soi Nak Sathaphorn 2 Dummy	Vehicle Checkpoint
zone2_094	PTT Gas Station	Vehicle Checkpoint
zone2_095	PTT Gas station Dummy	Vehicle Checkpoint
zone2_096	Entrance of Soi PhetKasem73	Vehicle Checkpoint
zone2_097	Entrance of Soi PhetKasem73 Dummy	Vehicle Checkpoint
zone2_098	Nongkhaem Police Station	Destination

Table 4.9 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 3

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
Zone3_000	Nongkhaem Police Station	origin
zone3_001	Wat Nongkhaem School	Red-box Checkpoint
zone3_002	Phet Kasem College	Red-box Checkpoint
zone3_003	Soi Phra Pin4 Soi 13/2	Red-box Checkpoint
zone3_004	Soi Phun Suk	Red-box Checkpoint
zone3_005	Kanda Village	Red-box Checkpoint
zone3_006	45/6 Fang Tai Road	Red-box Checkpoint
zone3_007	Thawi Suk Farm	Red-box Checkpoint
zone3_008	Pan Factory	Red-box Checkpoint
zone3_009	Na Ko Ya Factory	Red-box Checkpoint
zone3_010	Modern Factory	Red-box Checkpoint
zone3_011	Phet Minimart	Red-box Checkpoint
zone3_012	Soi Chaiyo	Red-box Checkpoint
zone3_013	Phon Phen Apartment	Red-box Checkpoint
zone3_014	Powder Factory	Red-box Checkpoint
zone3_015	Green Act Factory	Red-box Checkpoint
zone3_016	Kaeo Restaurant	Red-box Checkpoint
zone3_017	Nitta Ya Factory	Red-box Checkpoint
zone3_018	Khaep Mu Factory	Red-box Checkpoint
zone3_019	Soi Phra Pin 4 Soi 11	Red-box Checkpoint
zone3_020	Soi Phra Pin 4 Soi 6	Red-box Checkpoint
zone3_021	Soi Thana Suk 1	Red-box Checkpoint
zone3_022	Thana Suk Village	Red-box Checkpoint
zone3_023	Kitti Ya Village	Red-box Checkpoint
zone3_024	Soi Phet Monthon 11	Red-box Checkpoint
zone3_025	Phet Monthon Village	Red-box Checkpoint

Table 4.9 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 3 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone3_026	Chai Charoen Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_027	Kaona Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_028	Phai Lot Factory	Red-box Checkpoint
zone3_029	Soi Suwan Khon	Red-box Checkpoint
zone3_030	Phaisan Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_031	Tawan Chai Village	Red-box Checkpoint
zone3_032	Soi Phun Suk 1	Red-box Checkpoint
zone3_033	Soi Kanda 7	Red-box Checkpoint
zone3_034	Soi Sathit	Red-box Checkpoint
zone3_035	Hia Chua House	Red-box Checkpoint
zone3_036	Soi Kuan Im	Red-box Checkpoint
zone3_037	Soi Chuea Suan	Red-box Checkpoint
zone3_038	C B S Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_039	Chan Charan Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_040	Satin Factory	Red-box Checkpoint
zone3_041	Yaem Phaka Nok	Red-box Checkpoint
zone3_042	Yaem Phaka Nai	Red-box Checkpoint
zone3_043	Lat Da Rom Village	Red-box Checkpoint
zone3_044	Soi Prasit 4/4	Red-box Checkpoint
zone3_045	Ratchaphruek Village	Red-box Checkpoint
zone3_046	Pa Chuk's House	Red-box Checkpoint
zone3_047	Thai Phet Factory	Red-box Checkpoint
zone3_048	Soi Wan Samroeng	Red-box Checkpoint
zone3_049	Sai Thip Village	Red-box Checkpoint
zone3_050	Soi Thong Niam 1	Red-box Checkpoint

Table 4.9 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 3 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone3_051	Soi Chawalit	Red-box Checkpoint
zone3_052	Sawa Kon Kodang	Red-box Checkpoint
zone3_053	17/110 Bencha Phon Vilage	Red-box Checkpoint
zone3_054	Bencha Phon Village	Red-box Checkpoint
zone3_055	Soi Prasoet	Red-box Checkpoint
zone3_056	Suea Dek Factory	Red-box Checkpoint
zone3_057	Sombun Phon's House	Red-box Checkpoint
zone3_058	Rakhang Thong Rented Room	Red-box Checkpoint
zone3_059	Hutsa Chemical Factory	Red-box Checkpoint
zone3_060	Sombun Phon Rented Room	Red-box Checkpoint
zone3_061	Paichue 1 House	Red-box Checkpoint
zone3_062	Paichue 2 House	Red-box Checkpoint
zone3_063	Thai Nam Thip Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_064	Sock Factory	Red-box Checkpoint
zone3_065	Thian Saeng Thip Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_066	Sunthon 5 Village	Red-box Checkpoint
zone3_067	Bi Sian Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_068	Furniture	Red-box Checkpoint
zone3_069	Air Produce Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_070	Opposite Phet Samut Co. ,Ltd.	Red-box Checkpoint
zone3_071	Rim Nam Condominium	Red-box Checkpoint
zone3_072	Kim Sek Heng Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone3_073	Chai Mongkhon II Goldsmiths	Goldsmiths Checkpoint
zone3_074	Krungthai Bank	Bank Checkpoint
zone3_075	7-Eleven (Bus Terminal Branch)	Vehicle Checkpoint

Table 4.9 List of Checkpoint Codes for Police Patrol Zone 3 (cont.)

Code	Checkpoints	Type of Checkpoint
zone3_076	7-Eleven (Bus Terminal Branch) Dummy	Vehicle Checkpoint
zone3_077	Lak Sam Temple	Vehicle Checkpoint
zone3_078	Lak Sam Temple Dummy	Vehicle Checkpoint
zone3_079	Weekend Market near Police Station	Vehicle Checkpoint
zone3_080	Weekend Market near Police Station Dummy	Vehicle Checkpoint
zone3_081	Bus Terminal	Vehicle Checkpoint
zone3_082	Bus Terminal Dummy	Vehicle Checkpoint
zone3_083	7-Eleven (Nongkhaem Temple Branch)	Vehicle Checkpoint
zone3_084	7-Eleven (Nongkhaem Temple Branch) Dummy	Vehicle Checkpoint
zone3_085	Nongkhaem Police Station	Destination

After finishing data collection on checkpoint locations, Garmin GPSMAP 60 has been connected to the computer in order to transfer data. Data are then converted into shapefile via DNR Garmin software (Figure 4.4).

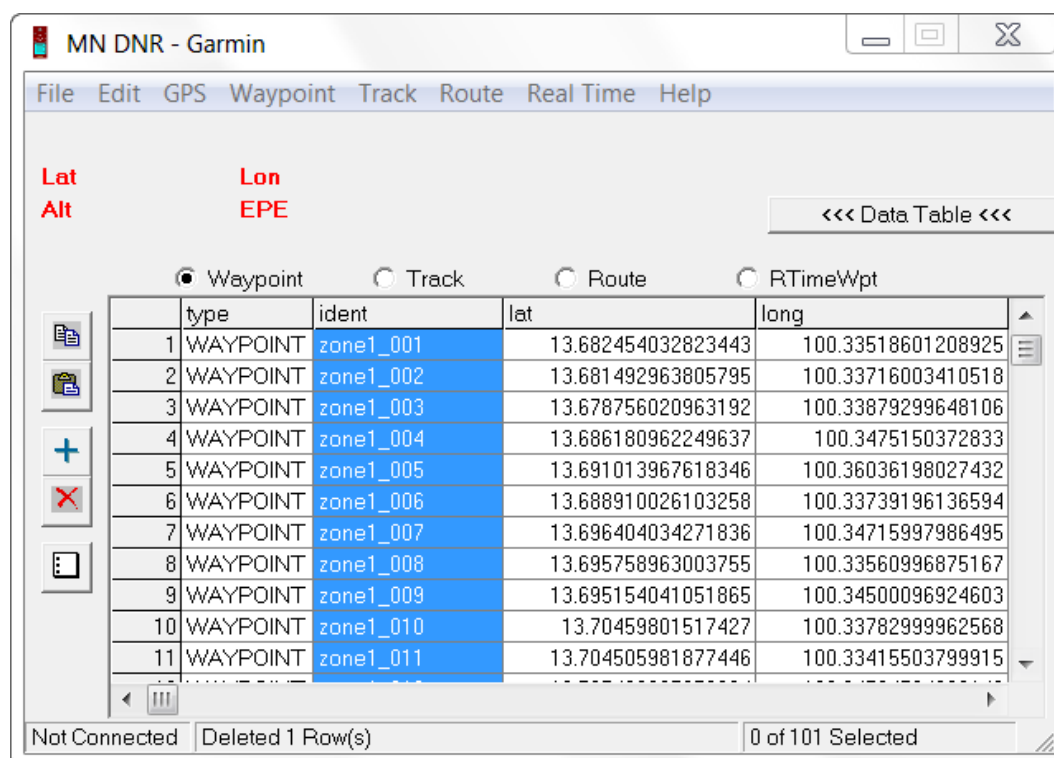


Figure 4.4 Conversion of Location Data into Shapefile via DNR Garmin Software

The projection for conversion purpose is set as Indian_1975_UTM_Zone_47N (Figure 4.5). Meanwhile, “Thailand Local Datum” is set for Datums and “Everest, Location Indian Thailand, UTM zone 47N” for Projections (Chaidi, 2010). This is to conform to the digital map of Nongkhaem Police Station’s responsible area. Location data are stored in 3 groups according to police patrol zones 1, 2 and 3, respectively.

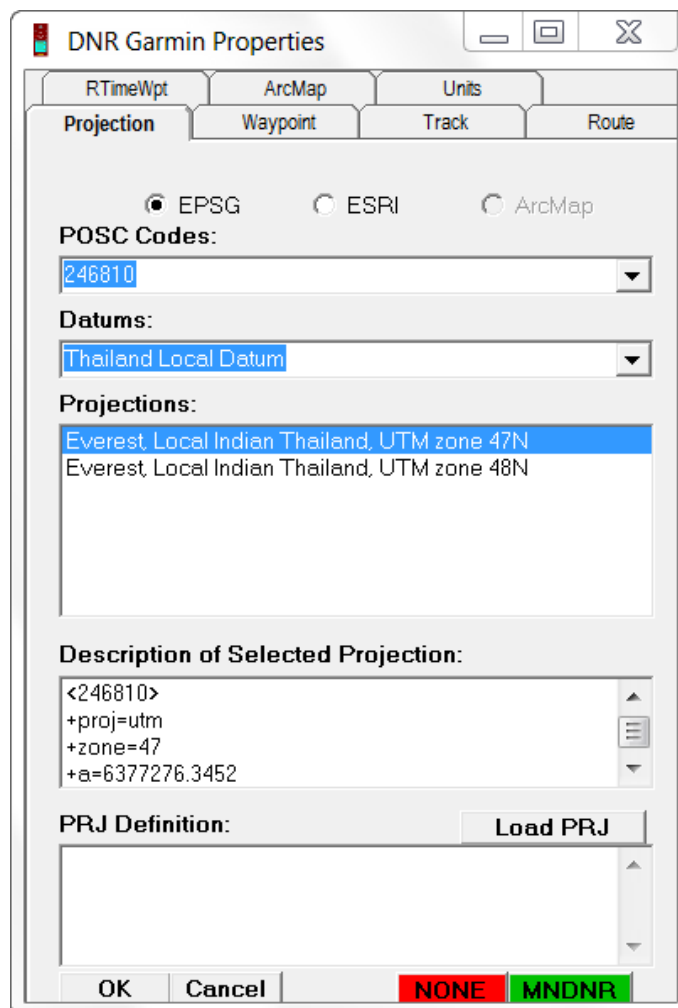


Figure 4.5 Projections in DNR Garmin Software

4.2.2 Digital Map

The digital map is a basis for route and time estimation. This research is based on the digital map developed by ESRI Co., Ltd. under Ministry of Transport contract. Data stored in shapefile are readable by ArcView, ArcInfo and other GIS software.

This map consists of a range of data layers. Only transport routes are chosen in this research since patrol officers commute on road network only; thus, no other layers is not necessarily used. Data in this digital map are in 'line' format representing highways, rural roads, municipal roads, countryside roads and soi (alley). Its scale is 1:4000 and its projection is Indian_1975_UTM_Zone_47N of latest update on 29 October 2008. It covers entire Nongkhaem Police Station's responsible area. Details are in Figure 4.6.

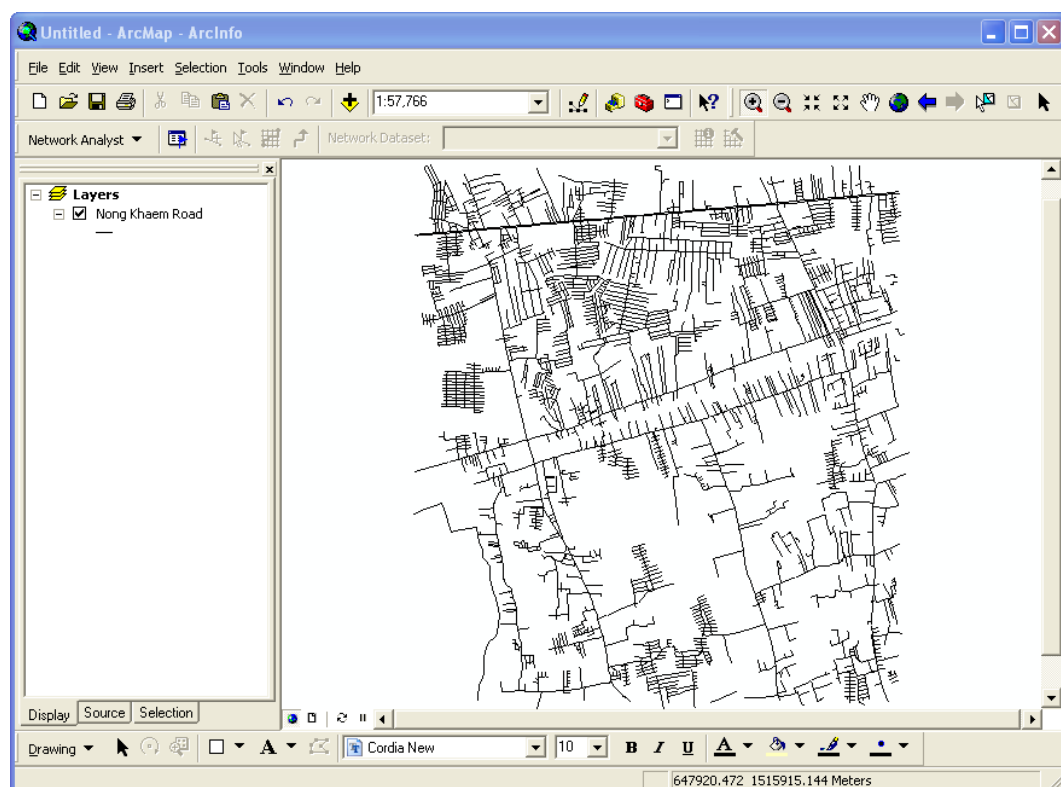


Figure 4.6 Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area

The Attributes of digital map of Nongkhaem Police Station's responsible area consists of 8 fields: ROAD_TYPE, ROAD_NUM, NAME_T, NAME_E, SURFACE, WIDTH, LANE and ONEWAY to represent codes of transport routes, transport route number, Name (Thai), Name (English), Road Surface, Road Width (Meter), number of lane (s) and oneway traffic roads, respectively. The width and type for these fields vary according to their characteristics.

Table 4.10 List of Digital Map Features

Shape	Item	Description	Width	Type
Polyline	ROAD_TYPE	Code of road type	2	Short Integer
	ROAD_NUM	Road number	8	Text
	NAME_T	Name (in Thai)	70	Text
	NAME_E	Name (in English)	70	Text
	SURFACE	Road surface	2	Short Integer
	WIDTH	Width of road (meter)	2	Short Integer
	LANE	Number of lanes	2	Short Integer
	ONEWAY	One-way direction	2	Text

ROAD_TYPE shows road types categorized into 9 groups. Highways – they are under Department of Highways' responsibility and categorized according to No. ranging from 1 - 4 digits. Rural Roads – they are under the Department of Rural Roads responsibility and can be identified by road signs. Municipal Roads – they are categorized according to municipalities' border line. Countryside Roads – they are located outside municipal area identifiable by road signs. Soi can be categorized according to the signs; Unnamed soi or vehicle routes; Bridges along Highways, Municipal Roads and Countryside Roads; Bridges along soi identifiable by signs and Bridges along unnamed soi or vehicle routes. Details are displayed in Table 4.11. With respect to Nongkhaem Police Station, most roads in its area fall into Category 6: 'Unnamed soi or vehicle routes; while the Category 3: 'Municipal Roads' ranks the second. As the road type can affect travel velocity, the road type thus is taken into account while determining travel speed.

Table 4.11 List of Road Type Code

ROAD_TYPE	Explanation
1	Highways, responsible by Department of Highways, can be categorized according to No. ranging from 1-4 digits.
2	Rural Roads, responsible by Department of Rural Roads, can be identified by road signs.
3	Municipal Roads are categorized according to the border line of municipalities.
4	Countryside Roads are those located outside municipal area identifiable by road signs.
5	Soi can be identified according to the signs.
6	Unnamed soi or vehicle routes
7	Bridges along Highways, Municipal Roads and Countryside Roads
8	Bridges along soi identifiable by signs
9	Bridges along unnamed soi or vehicle routes

ROAD_NUM refers to the specific highway number. This is to identify routes according to the highway numbering system designated by Department of Highway and Ministry of Rural Highways under the jurisdiction of the Ministry of Transport. However, most routes in Nongkhaem Police Station's responsible area have no highway number because most of them are unnamed soi or routes and municipal roads. Bangkok Metropolitan Administration (BMA) who owned them does not use the highway numbering system as such.

NAME_T, NAME_E: they refer to official names of highways, rural roads and soi, in Thai and English, and their respective highway number.

SURFACE: there are 4 types of road surface: concrete, asphalt, non-asphalt and other. In Nongkhaem Police Station's responsible area, most of them are concrete surface.

Table 4.12 List of Road Surface

Code	Explanations
1	Concrete road surface
2	Asphalt road surface
3	Non-asphalt road surface
4	Other

WIDTH: it is the width of road measured in meter. The measurement is made on the basis of aerial map. Most of roads in Nongkhaem Police Station's responsible area are 6 meters wide; while some of them are 4 meters.

LANE: it refers to the number of lanes. Most of roads in Nongkhaem Police Station's responsible area are two-lane roads.

ONEWAY: it means the vehicle route direction. Only dual routes are taken into consideration. Their codes are:

FT = it refers to oneway routes from the origin to the destination. The arrow sign is to identify the direction.

TF = it refers to oneway routes from the destination to the origin. Likewise, the arrow sign is to show the direction.

4.2.3 Designation of Travel Speed on each Road

To determine travel speed that most resembles the actual travel by patrol officers, Garmin GPSMAP 60 has been equipped with motorcycles for 3 police patrol zones. This is to collect data on routes, speed and actual distance. Data collection was conducted between December 15 -17, 2009. All data are readable by MapSource Version 6.16 software.

According to records kept by Garmin GPSMAP 60, on 15 December 2009, patrol officers in police patrol zone 1 traveled for 63.1 kilometers with travel time of 7 hours 36 minutes or average speed of 8 kilometers per hour. Figure 4.7 shows the routes taken by patrol officers, while Figure 4.8 displays details on travel speed and distance.

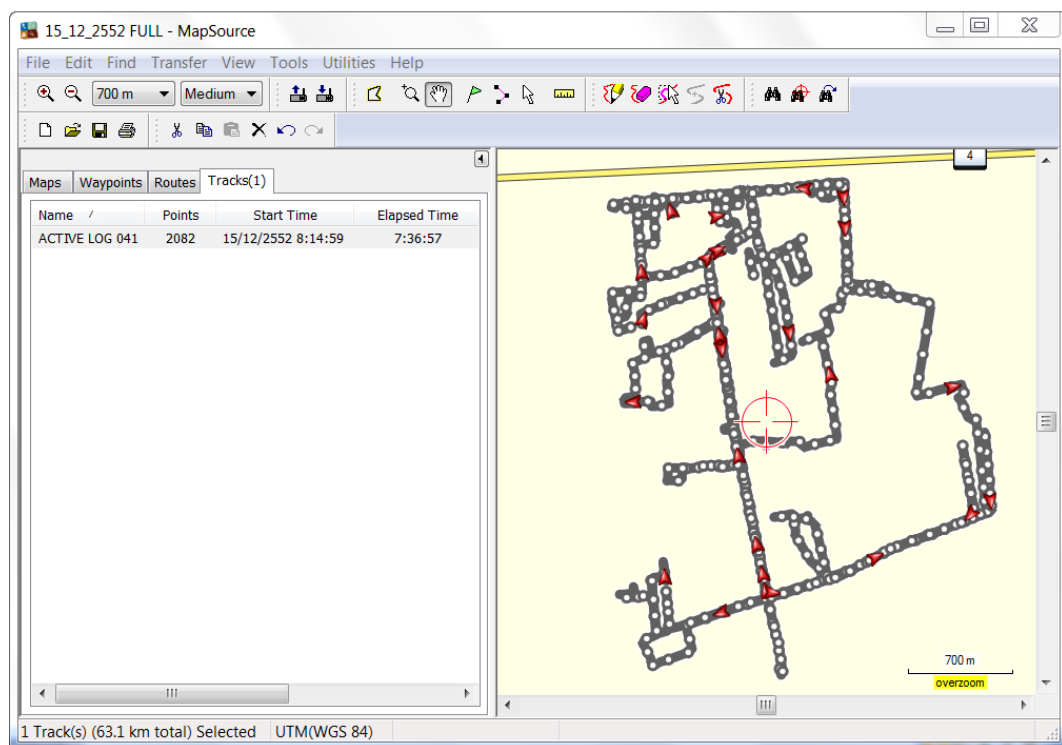


Figure 4.7 Routes Taken by Patrol Officers in Police Patrol Zone 1 as Recorded by Garmin GPSMAP 60

Track Properties

Name: ACTIVE LOG 041 Color: Default

Index	Time	Elevation	Depth	Temperature	Leg Length	Leg Time	Leg Speed	Leg Course	Position
1	15/12/2552 8:14:59	0 m			5 m	0:00:28	0.7 km/h	206° true	47 P 645504 1512393
2	15/12/2552 8:15:27	4 m			3 m	0:00:37	0.3 km/h	136° true	47 P 645502 1512389
3	15/12/2552 8:16:04	6 m			0 m	0:03:48	0 km/h	0° true	47 P 645504 1512386
4	15/12/2552 8:19:52	16 m			0 m	0:00:24	0 km/h	0° true	47 P 645504 1512386
5	15/12/2552 8:20:16	15 m			0 m	0:00:12	0 km/h	0° true	47 P 645504 1512386
6	15/12/2552 8:20:28	14 m			7 m	0:00:02	12 km/h	44° true	47 P 645504 1512386
7	15/12/2552 8:20:30	14 m			12 m	0:00:04	11 km/h	52° true	47 P 645509 1512391
8	15/12/2552 8:20:34	15 m			41 m	0:00:08	18 km/h	353° true	47 P 645518 1512398
9	15/12/2552 8:20:42	16 m			78 m	0:00:12	23 km/h	348° true	47 P 645513 1512439
10	15/12/2552 8:20:54	16 m			31 m	0:00:08	14 km/h	356° true	47 P 645497 1512514
11	15/12/2552 8:21:02	16 m			15 m	0:00:09	6 km/h	342° true	47 P 645494 1512545
12	15/12/2552 8:21:11	16 m			5 m	0:00:01	17 km/h	0° true	47 P 645490 1512560
13	15/12/2552 8:21:12	15 m			57 m	0:00:08	26 km/h	344° true	47 P 645490 1512564
14	15/12/2552 8:21:20	15 m			82 m	0:00:10	30 km/h	344° true	47 P 645473 1512619
15	15/12/2552 8:21:30	16 m			100 m	0:00:11	33 km/h	344° true	47 P 645449 1512697
16	15/12/2552 8:21:41	15 m			32 m	0:00:06	19 km/h	347° true	47 P 645421 1512792
17	15/12/2552 8:21:47	14 m			8 m	0:00:08	3 km/h	342° true	47 P 645414 1512823
18	15/12/2552 8:21:55	13 m			13 m	0:01:17	0.6 km/h	339° true	47 P 645411 1512830

☐ Center map on selected item(s)

Points	Length	Area	Elapsed Time	Avg. Speed
2082	63.1 km	2.2 sq km	7:36:57	8 km/h

Links
File/URL:

Figure 4.8 Travel Speed, Time and Distance in Police Patrol Zone 1 as
Recorded by Garmin GPSMAP 60

Likewise, the record kept by Garmin GPSMAP 60 reveals that, on December 16, 2009, patrol officers in police patrol zone 2 traveled 41.6 kilometers with travel time of 6 hours 50 minutes or average speed of 6 kilometers per hour. Figure 4.9 shows the routes taken by patrol officers, while Figure 4.10 displays details on travel speed and distance.

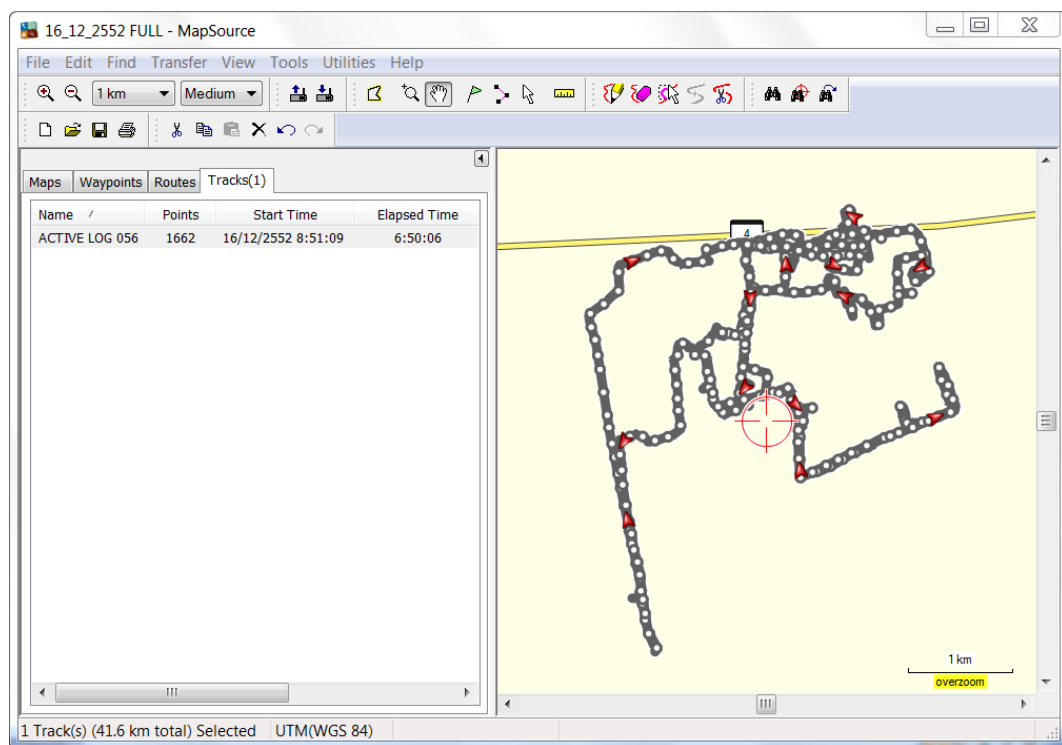
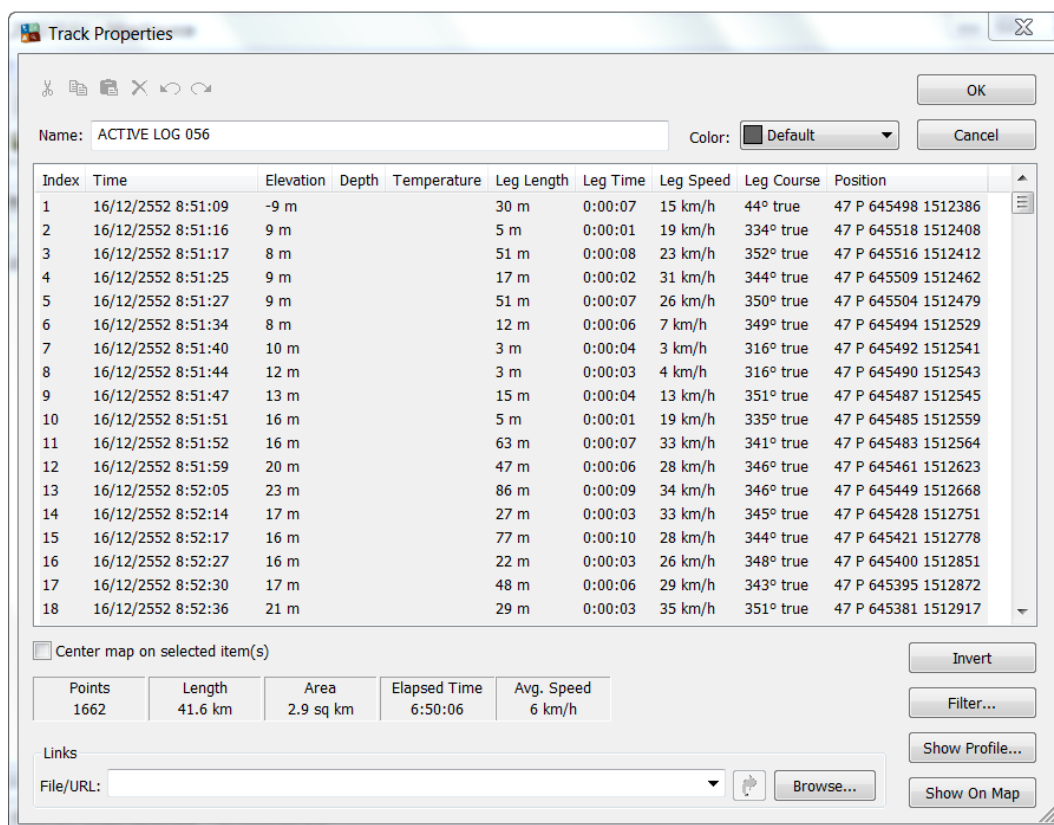


Figure 4.9 Routes Taken by Patrol Officers in Police Patrol Zone 2 as Recorded by Garmin GPSMAP 60



Track Properties

Name: ACTIVE LOG 056 Color: Default

Index	Time	Elevation	Depth	Temperature	Leg Length	Leg Time	Leg Speed	Leg Course	Position
1	16/12/2552 8:51:09	-9 m			30 m	0:00:07	15 km/h	44° true	47 P 645498 1512386
2	16/12/2552 8:51:16	9 m			5 m	0:00:01	19 km/h	334° true	47 P 645518 1512408
3	16/12/2552 8:51:17	8 m			51 m	0:00:08	23 km/h	352° true	47 P 645516 1512412
4	16/12/2552 8:51:25	9 m			17 m	0:00:02	31 km/h	344° true	47 P 645509 1512462
5	16/12/2552 8:51:27	9 m			51 m	0:00:07	26 km/h	350° true	47 P 645504 1512479
6	16/12/2552 8:51:34	8 m			12 m	0:00:06	7 km/h	349° true	47 P 645494 1512529
7	16/12/2552 8:51:40	10 m			3 m	0:00:04	3 km/h	316° true	47 P 645492 1512541
8	16/12/2552 8:51:44	12 m			3 m	0:00:03	4 km/h	316° true	47 P 645490 1512543
9	16/12/2552 8:51:47	13 m			15 m	0:00:04	13 km/h	351° true	47 P 645487 1512545
10	16/12/2552 8:51:51	16 m			5 m	0:00:01	19 km/h	335° true	47 P 645485 1512559
11	16/12/2552 8:51:52	16 m			63 m	0:00:07	33 km/h	341° true	47 P 645483 1512564
12	16/12/2552 8:51:59	20 m			47 m	0:00:06	28 km/h	346° true	47 P 645461 1512623
13	16/12/2552 8:52:05	23 m			86 m	0:00:09	34 km/h	346° true	47 P 645449 1512668
14	16/12/2552 8:52:14	17 m			27 m	0:00:03	33 km/h	345° true	47 P 645428 1512751
15	16/12/2552 8:52:17	16 m			77 m	0:00:10	28 km/h	344° true	47 P 645421 1512778
16	16/12/2552 8:52:27	16 m			22 m	0:00:03	26 km/h	348° true	47 P 645400 1512851
17	16/12/2552 8:52:30	17 m			48 m	0:00:06	29 km/h	343° true	47 P 645395 1512872
18	16/12/2552 8:52:36	21 m			29 m	0:00:03	35 km/h	351° true	47 P 645381 1512917

☐ Center map on selected item(s)

Points 1662	Length 41.6 km	Area 2.9 sq km	Elapsed Time 6:50:06	Avg. Speed 6 km/h
----------------	-------------------	-------------------	-------------------------	----------------------

Links

File/URL:

Figure 4.10 Travel Speed, Time and Distance in Police Patrol Zone 2 as
Recorded by Garmin GPSMAP 60

Also, the record kept by Garmin GPSMAP 60 reveals that, on December 17, 2009, patrol officers in police patrol zone 3 traveled for 35.6 kilometers with travel time of 6 hours 38 minutes or average speed of 5 kilometers per hour. Figure 4.11 shows the routes taken by patrol officers, while Figure 4.12 displays details on travel speed and distance.

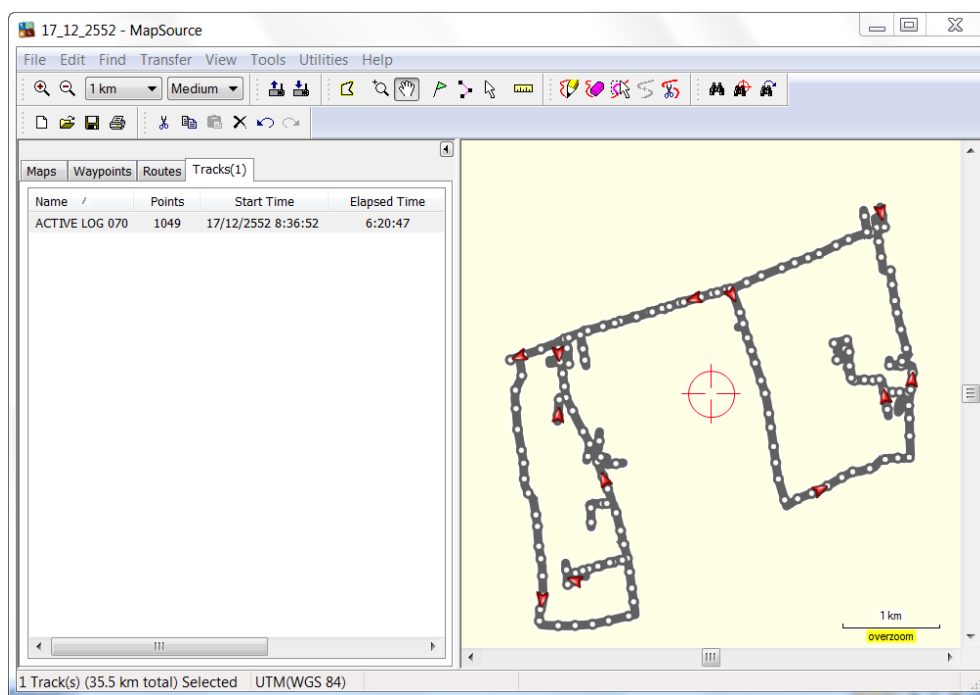


Figure 4.11 Routes Taken by Patrol Officers in Police Patrol Zone 3 as Recorded by Garmin GPSMAP 60

Index	Time	Elevation	Depth	Temperature	Leg Length	Leg Time	Leg Speed	Leg Course	Position
1	17/12/2552 8:36:52	-3 m			10 m	0:00:05	7 km/h	13° true	47 P 645525 1512389
2	17/12/2552 8:36:57	-4 m			0 m	0:00:18	0 km/h	0° true	47 P 645528 1512398
3	17/12/2552 8:37:15	-2 m			5 m	0:00:31	0.6 km/h	242° true	47 P 645528 1512398
4	17/12/2552 8:37:46	2 m			17 m	0:00:10	6 km/h	254° true	47 P 645523 1512396
5	17/12/2552 8:37:56	4 m			7 m	0:00:07	4 km/h	251° true	47 P 645507 1512391
6	17/12/2552 8:38:03	5 m			2 m	0:00:16	0.6 km/h	180° true	47 P 645500 1512389
7	17/12/2552 8:38:19	6 m			2 m	0:00:16	0.5 km/h	90° true	47 P 645500 1512386
8	17/12/2552 8:38:35	6 m			5 m	0:04:36	0.1 km/h	154° true	47 P 645502 1512386
9	17/12/2552 8:43:11	4 m			0 m	0:00:01	0 km/h	0° true	47 P 645505 1512381
10	17/12/2552 8:43:12	4 m			5 m	0:00:06	3 km/h	154° true	47 P 645505 1512381
11	17/12/2552 8:43:18	2 m			7 m	0:00:14	2 km/h	72° true	47 P 645507 1512377
12	17/12/2552 8:43:32	-5 m			21 m	0:01:34	0.8 km/h	270° true	47 P 645514 1512379
13	17/12/2552 8:45:06	-37 m			22 m	0:08:05	0.2 km/h	71° true	47 P 645493 1512379
14	17/12/2552 8:53:11	-9 m			14 m	0:00:07	7 km/h	280° true	47 P 645514 1512386
15	17/12/2552 8:53:18	-8 m			3 m	0:00:02	6 km/h	316° true	47 P 645500 1512389
16	17/12/2552 8:53:20	-7 m			7 m	0:00:07	4 km/h	252° true	47 P 645498 1512391
17	17/12/2552 8:53:27	-6 m			14 m	0:00:12	4 km/h	238° true	47 P 645491 1512389
18	17/12/2552 8:53:39	-4 m			7 m	0:00:08	3 km/h	251° true	47 P 645479 1512381

Center map on selected item(s)

Points: 1049 | Length: 35.5 km | Area: 6.5 sq km | Elapsed Time: 6:20:47 | Avg. Speed: 6 km/h

Links: File/URL:

Figure 4.12 Travel Speed, Time and Distance in Police Patrol Zone 3 as Recorded by Garmin GPSMAP 60

Travel speed is then analyzed based on above travel data to estimate average travel time in each route. In conclusion, the speed can be categorized into 3 groups, namely, 30 km/h, 25 km/h and 15 km/h.

30 km/h – Bang Bon 5 Road, Bang Bon 4 Road, Soi Phet Kasem 81 (Ma Charoen), Liap Khlong Phasi Charoen Fang Nuea Road and Soi Wat Sinuan

25 km/h – Road Category 1, Phet Kasem Road, Liap Khlong Phasi Charoen Fang Tai Road, Bang Bon 3 Road, Soi Sawatdikan 1, Soi Phet Kasem 77 Yaek (Junction) 1, Soi Phet Kasem 77 Yaek 2, Soi Phet Kasem 77 Yaek 3, Soi Phet Kasem 77 Yaek 4-4.

15 km/h – Road Category 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9.

4.2.4 Designation of Service Time

According to the interviews with patrol officers in light of police patrol, two patrol officers do police patrol and a motorcycle is their vehicle. They leave police station to checkpoints in the responsible area and choose the routes they deem suitable. After their arrival, they may spend time in the checkpoints differently due to the variation of practices and procedures in each checkpoint.

Red-box Checkpoints: they spend about 3 minutes and sign their name in the patrol notebook.

Bank Checkpoints: they spend about 10 minutes at bank premise and sign their name in the patrol notebook. They then inspect surrounding area and talk with individuals.

Goldsmith Checkpoints: they also spend about 10 minutes here and sign their name in the patrol notebook. They then inspect surrounding area and talk with individuals.

Vehicle Checkpoints: this follows “Police Patrol Plan for Patrol Officers”. The patrol officers thus are required to arrive and depart from the checkpoint at a specific time. At vehicle checkpoint, they need to inspect suspected or wrongdoers’ vehicles in order to find illegal items and to deter crime.

4.3 Data Analysis

All location data and shapefile (as described in Section 4.2) are analyzed by Network Analyst property of ArcMAP software in order to identify the shortest travel time between all checkpoints. Details on such analysis are in the following section.

4.3.1 GPS Data

In this stage, digital map of routes to all checkpoints in Nongkhaem Police Station's responsible area and all location data are displayed in ArcMAP software ready to find distance and travel time between checkpoints. All Figure 4.13 shows these checkpoints: red circles, green squares and blue triangles represent police patrol zones 1, 2 and 3, respectively. Meanwhile, black lines stand for the routes within Nongkhaem Police Station's responsible area.

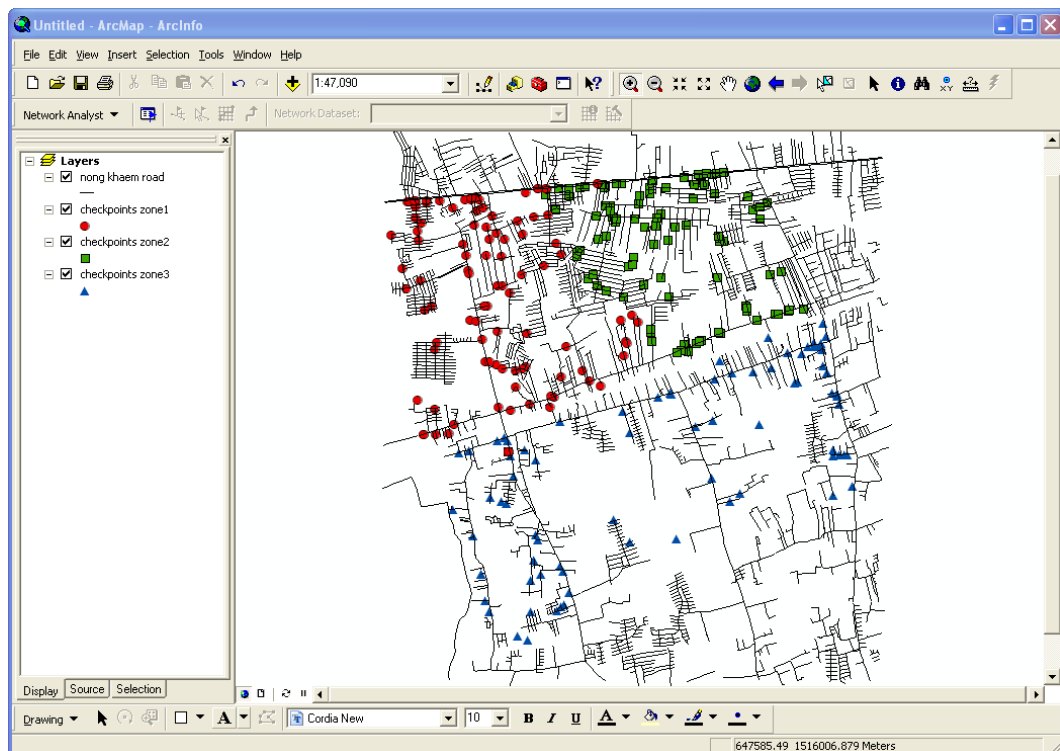


Figure 4.13 Checkpoint Locations in 3 Police Patrol Checkpoints and
Digital Map Displayed in ArcMAP Software

4.3.2 Network Analysis

Network Analyst Extension property of ArcMAP software is capable to route and find the closest facility and service area. In particular, data analysis in this research is carried out on the basis of Origin-Destination Cost Matrix.

1) Digital Map Configuration

To use Network Analyst Extension property, the configuration of routes in Nongkhaem Police Station's responsible area needs to resemble patrol officers' actual travel, e.g. setting travel speed on each route and developing Network Dataset.

Specifying Travel Speed

Travel speed setting should be most similar to the actual situation because in fact patrol officers use different travel speed along each route. Travel speed data described in Section 4.2.3 thus have been applied. For the digital map of routes in Nongkhaem Police Station's responsible area, there are three travel speed levels, namely, 30 km/h, 25 km/h and 15 km/h. Green, yellow and red lines represent the speed of 30 km/h, 25 km/h and 15 km/h, respectively (Figure 4.14).

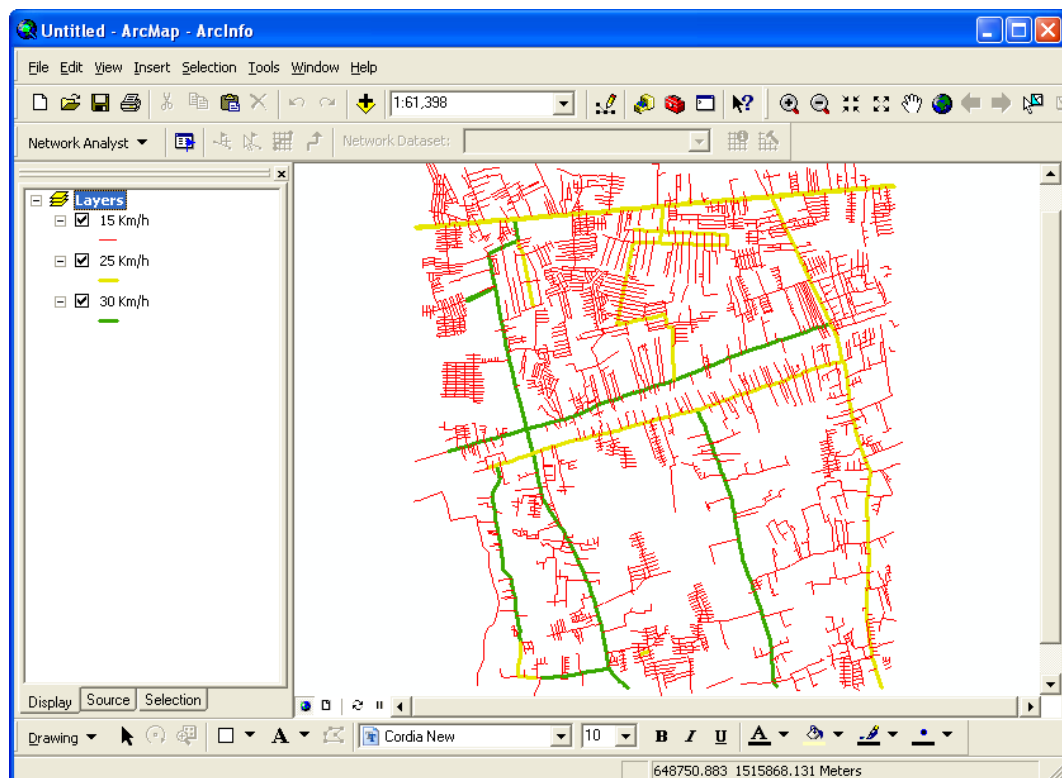


Figure 4.14 Travel Speed in each Route in Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area

Travel speed configuration can affect distance and time estimation in the light of two possible options, namely, “the shortest route” or “shortest travel time”. ArcMAP software is used for this purpose. Three fields, Speed (travel speed for each route), Meters (distance of that particular road) and Minutes (travel time in each route) have been added into the Attributes of digital map.

Speed Field is to identify travel speed based on the analysis in Section 4.2.3 and Minutes field is for travel time estimation in each route. Likewise, three speed levels are 15 km/h, 25 km/h and 30 km/h (Figure 4.15).

FID	Shape *	ROAD_TYPE	ROAD_NUM	NAME_E	SURFAC	WIDTH	LANE	ONEWAY	SHAPE_LEN	LENGTH	SPEED
0	Polyline	5		SOI PHET KASEM 69	1	7	2		29.553757	29.553757	25
1	Polyline	5		SOI NAK SATHAPHON 1	1	4	2		165.337234	165.337234	15
2	Polyline	5		SOI MU BAN P. S. VILLA 7	1	8	2		51.068913	51.068913	15
3	Polyline	5		SOI PHET KASEM 116/5	1	6	2		54.500554	54.500554	15
4	Polyline	6			1	6	2		35.535723	35.535723	15
5	Polyline	6			1	9	2		19.621882	19.621882	15
6	Polyline	3		LIAP KHLONG PHASI CHAROEN	1	12	4		287.828169	287.828169	30
7	Polyline	6			1	12	4		161.401275	161.401275	15
8	Polyline	5		SOI PHET KASEM 112 (RONGRIA	1	5	2		40.021448	40.021448	15
9	Polyline	6			1	8	2		30.585825	30.585825	15
10	Polyline	6			1	3	1		310.314398	310.314398	15
11	Polyline	6			1	12	4		4.930966	4.930966	15
12	Polyline	5		SOI LIAP KHLONG PHASI CHAR	1	4	2		183.041853	183.041853	15

Figure 4.15 Travel Speed for each Route as Displayed in Speed Field of Digital Map of Nongkhaem Police Station’s Responsible Area

Meters Field is for distance estimation in each route. Distance configuration in this field is based on Visual Basic Application (Figure 4.16).

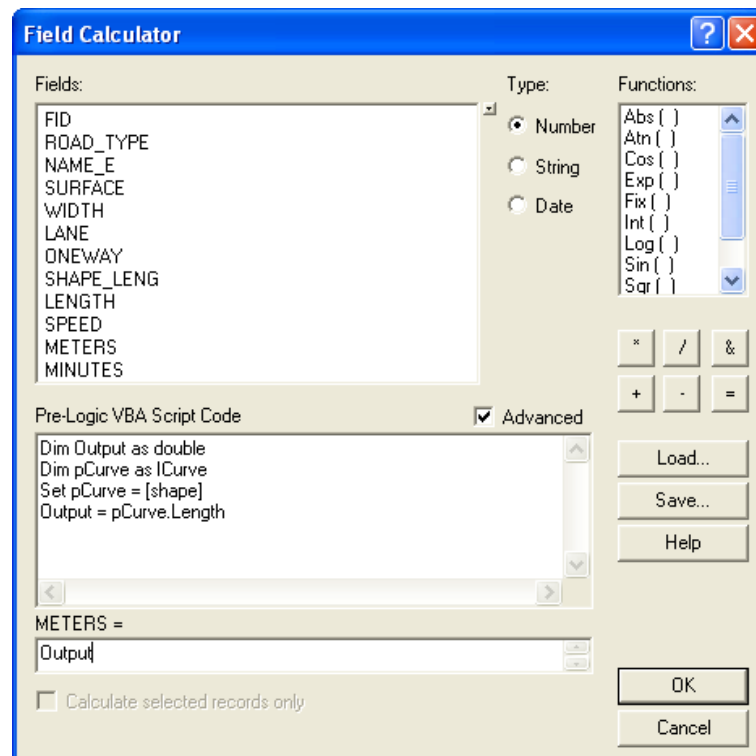


Figure 4.16 Distance Estimation in each Route in the Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area

Minutes field is to estimate travel time in each route. Travel time configuration is shown in Figure 4.17. For travel time estimation (minutes), distance in Meters field is multiplied with 0.06; then, divided by the corresponding travel speed in the Speed field.

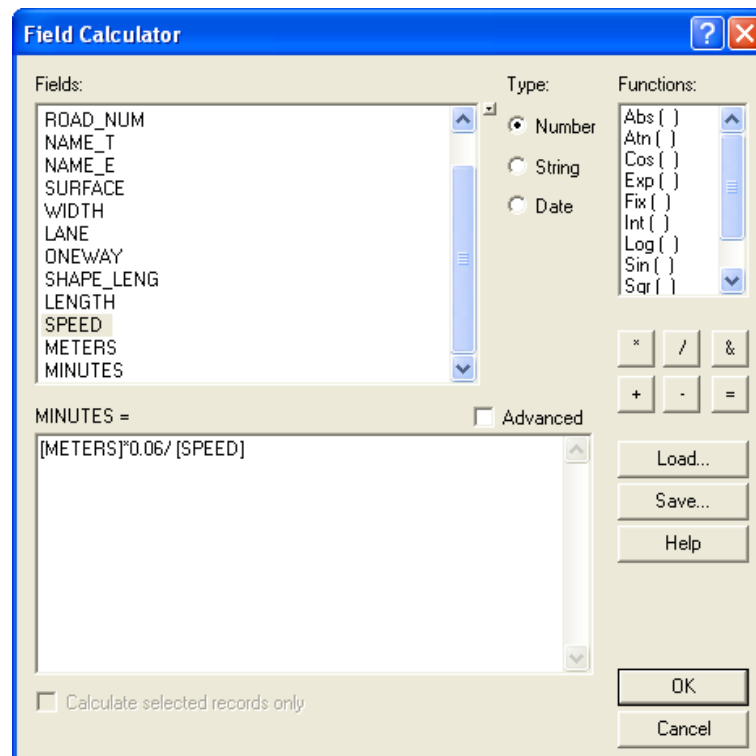
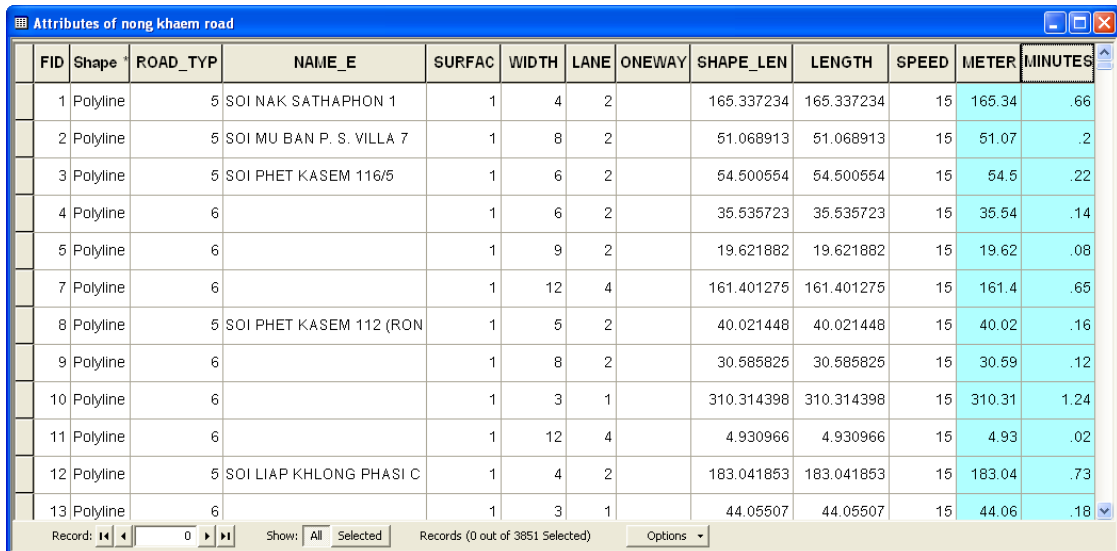


Figure 4.17 Travel Time Configuration in each Route in Nongkhaem Police Station's Responsible Area

Figure 4.18 shows distance and travel time estimation in the Attributes of digital map of Nongkhaem Police Station's responsible area.



FID	Shape	ROAD_TYP	NAME_E	SURFAC	WIDTH	LANE	ONEWAY	SHAPE_LEN	LENGTH	SPEED	METER	MINUTES
1	Polyline	5	SOI NAK SATHAPHON 1	1	4	2		165.337234	165.337234	15	165.34	.66
2	Polyline	5	SOI MU BAN P. S. VILLA 7	1	8	2		51.068913	51.068913	15	51.07	.2
3	Polyline	5	SOI PHET KASEM 116/5	1	6	2		54.500554	54.500554	15	54.5	.22
4	Polyline	6		1	6	2		35.535723	35.535723	15	35.54	.14
5	Polyline	6		1	9	2		19.621882	19.621882	15	19.62	.08
7	Polyline	6		1	12	4		161.401275	161.401275	15	161.4	.65
8	Polyline	5	SOI PHET KASEM 112 (RON	1	5	2		40.021448	40.021448	15	40.02	.16
9	Polyline	6		1	8	2		30.585825	30.585825	15	30.59	.12
10	Polyline	6		1	3	1		310.314398	310.314398	15	310.31	1.24
11	Polyline	6		1	12	4		4.930966	4.930966	15	4.93	.02
12	Polyline	5	SOI LIAP KHLONG PHASI C	1	4	2		183.041853	183.041853	15	183.04	.73
13	Polyline	6		1	3	1		44.05507	44.05507	15	44.06	.18

Figure 4.18 Distance and Travel Time Estimation in Nongkhaem Police Station's Responsible Area

Developing Network Dataset

In this stage, the digital map is configured in the way that most resembles the actual routes taken by patrol officers and their nature while doing police patrol. Indeed, accurate configuration leads to more effective analysis of routes and travel time between checkpoints. As a result, route connectivity in the digital map is important for developing Network Dataset. The configuration steps are as follows:

Connectivity: it is configured in 'Any Vertex' (Figure 4.19). Nodes are set to connect crossroads in order that all routes and checkpoints can be linked.

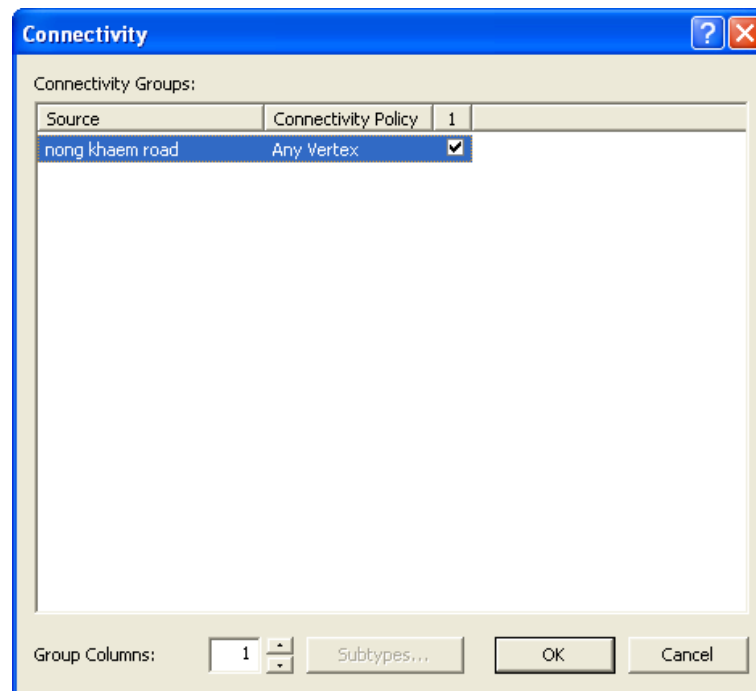


Figure 4.19 Connectivity in Network Dataset

Connectivity with Elevation: the connectivity also involves the elevation, e.g., bridges or expressways that have no road connectivity. However, no elevation data are collected for this research because there is no high bridge or expressway in Nongkaem police Station's area so elevation setting is not required (Figure 4.20).

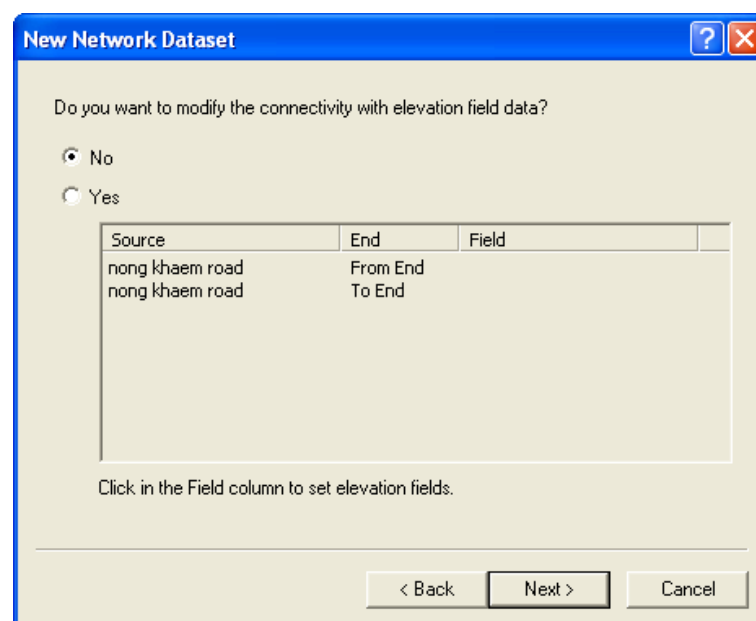


Figure 4.20 Configuration of Elevation in Network Dataset

Configuration of Turns: riding motorcycle allows patrol officers to commute conveniently. Therefore, Global Turns are chosen (Figure 4.21) as they can turn or make a U-turn at crossroads with ease.

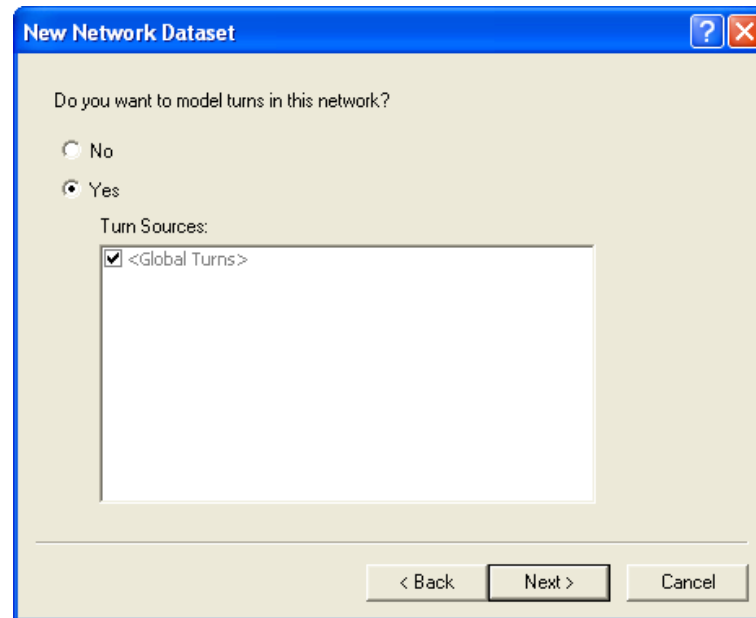


Figure 4.21 Configuration of Turns in Network Dataset

Configuration of Attributes in Network Dataset: due to the flexibility of motorcycle and hurry to reach checkpoints or to deter crime, patrol officers may sometimes ride against the flow of traffic. ‘Oneway’ feature thus has been omitted (Figure 4.22); therefore, Oneway field has not been included in the analysis of distance and travel time between checkpoints in this research.

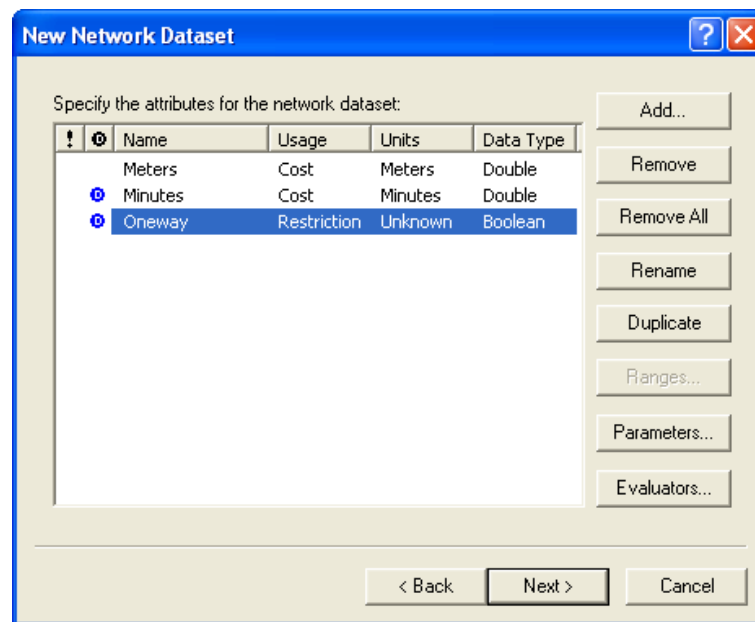


Figure 4.22 Specifying the Attributes in Network Dataset

Direction Settings: ‘Display Length Unit’ is for measurement unit setting (meters) and NAME_E is for road name (Figure 4.23).

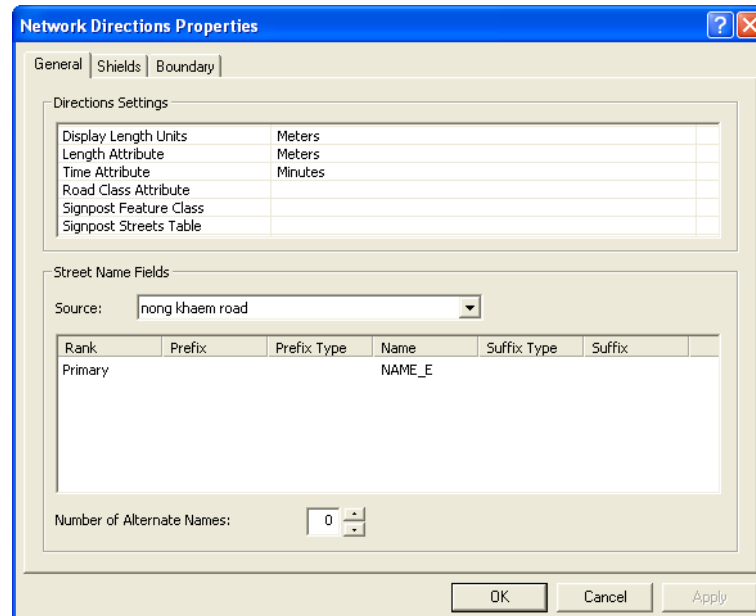


Figure 4.23 Direction Settings in Network Dataset

Summary: Figure 4.24 shows all configurations in Network Dataset and Figure 4.25 displays nodes of route and checkpoint connectivity to identify distance and travel time between checkpoints.

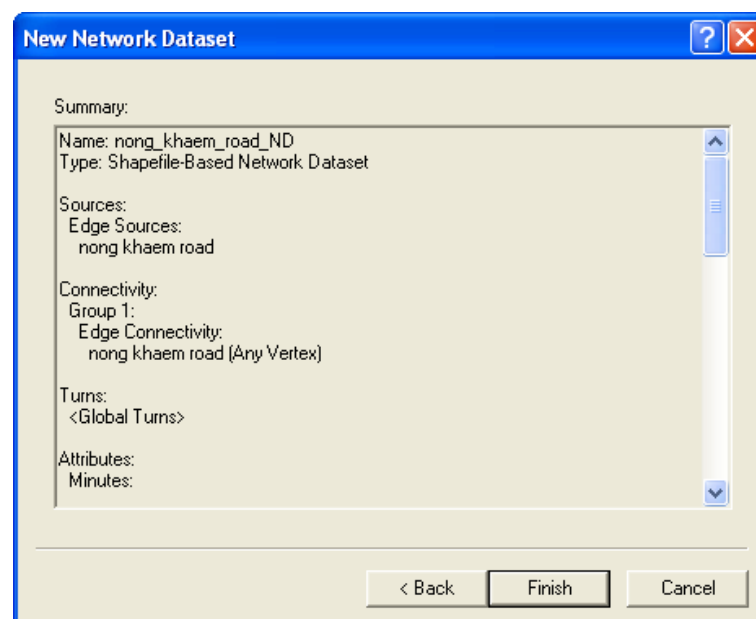


Figure 4.24 Summary of All Configurations in Network Dataset

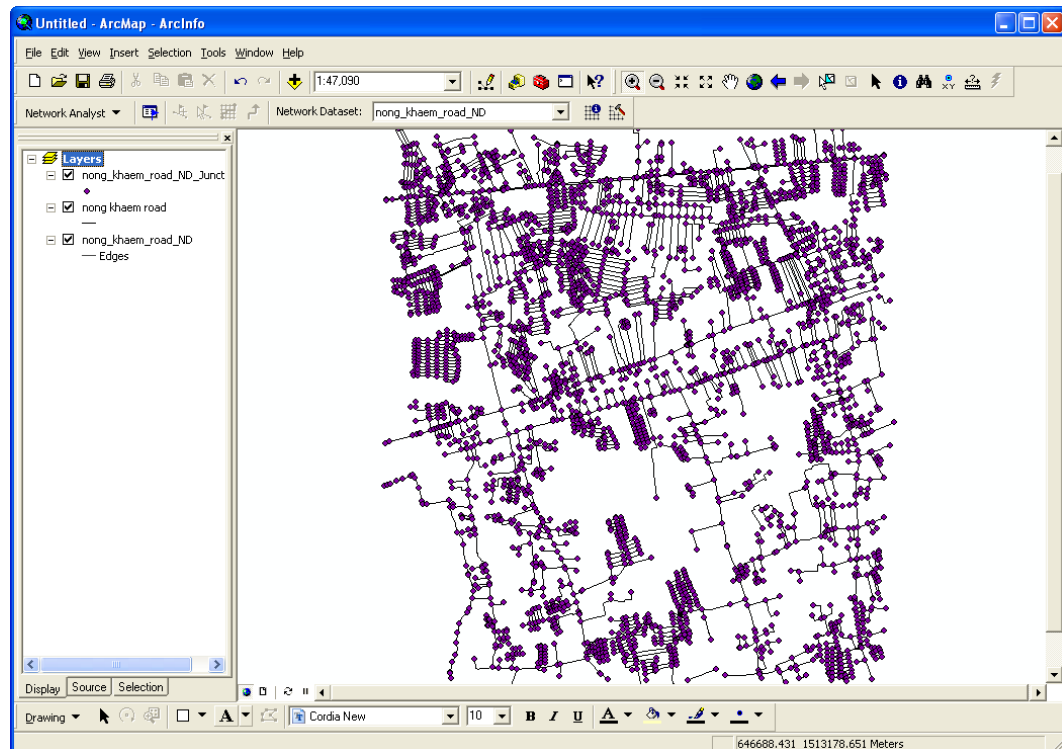


Figure 4.25 Complete Picture of Network Dataset of Digital Map of Nongkhaem Police Station's Responsible Area

2) Origin-Destination Cost Matrix Analysis

In previous section, data are arranged for analysis purpose. Checkpoint location data are collected to identify exact checkpoint position; while routes to checkpoints in digital map are connected. Travel speed and route connectivity thus should be configured in the way that most resemble actual situation. In this stage, those data are analyzed to find the shortest travel time between all checkpoints. With respect to property settings for time-based analysis, the impedance is set as ‘Minutes’ in Analysis Settings Function (Figure 4.26).

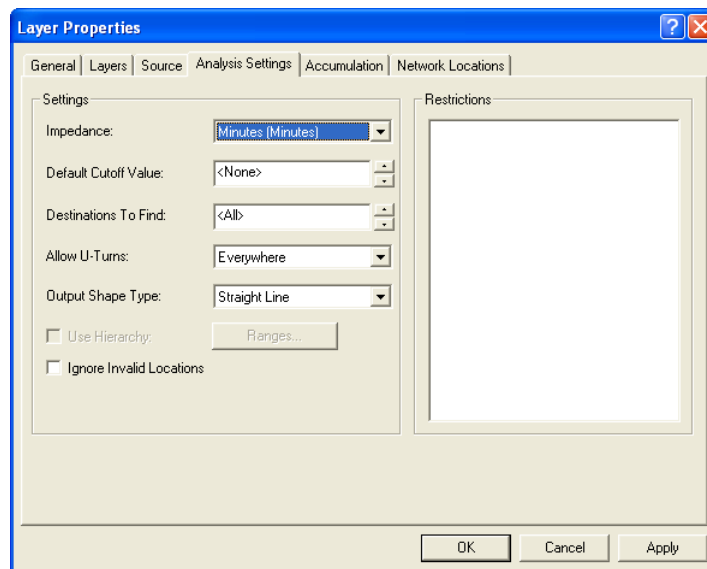


Figure 4.26 Configuration of Origin-Destination Cost Matrix Analysis Based on Time

Origin-Destination Cost Matrix Analysis is computed for separate police patrol zones. This corresponds to the patrol officers' actual performance of duty. The details are as follows.

Police Patrol Zone 1

There are 100 checkpoints in police patrol zone 1 based on location data collected as described in Section 4.2.1. When Nongkhaem Police Station that serves as the origin and destination is included, total checkpoints to be analyzed are 102. Total 10,404 routes that patrol officers pursue will then be analyzed (Figure 4.27).

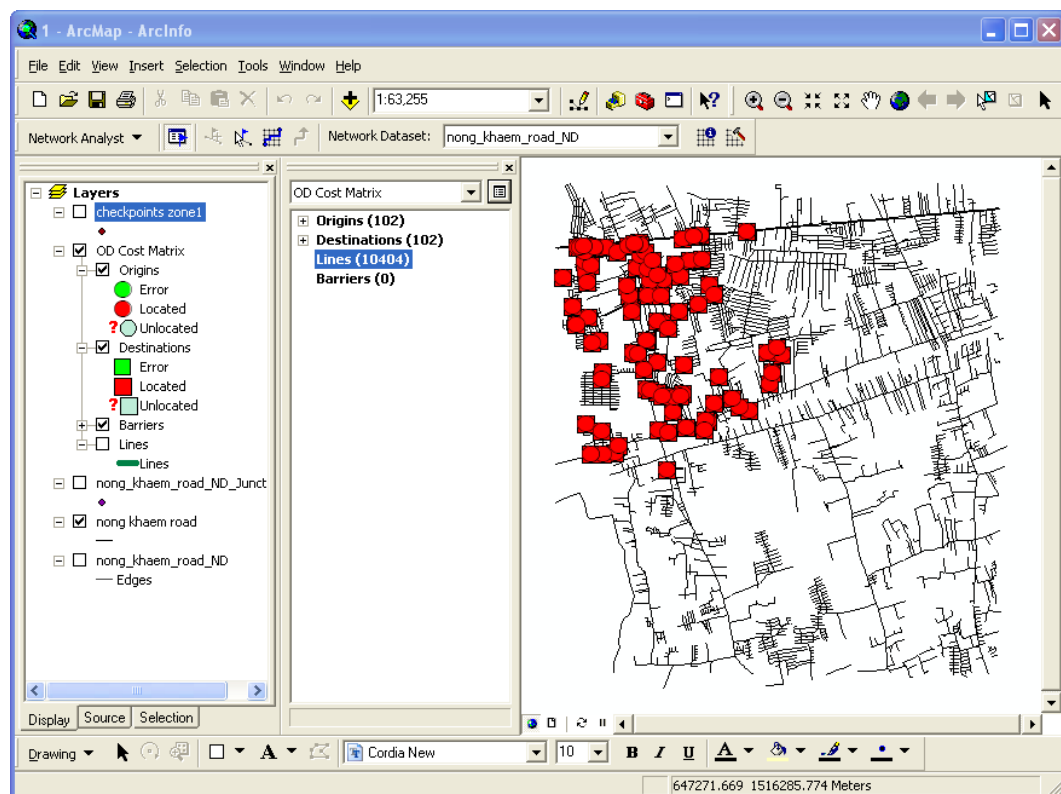
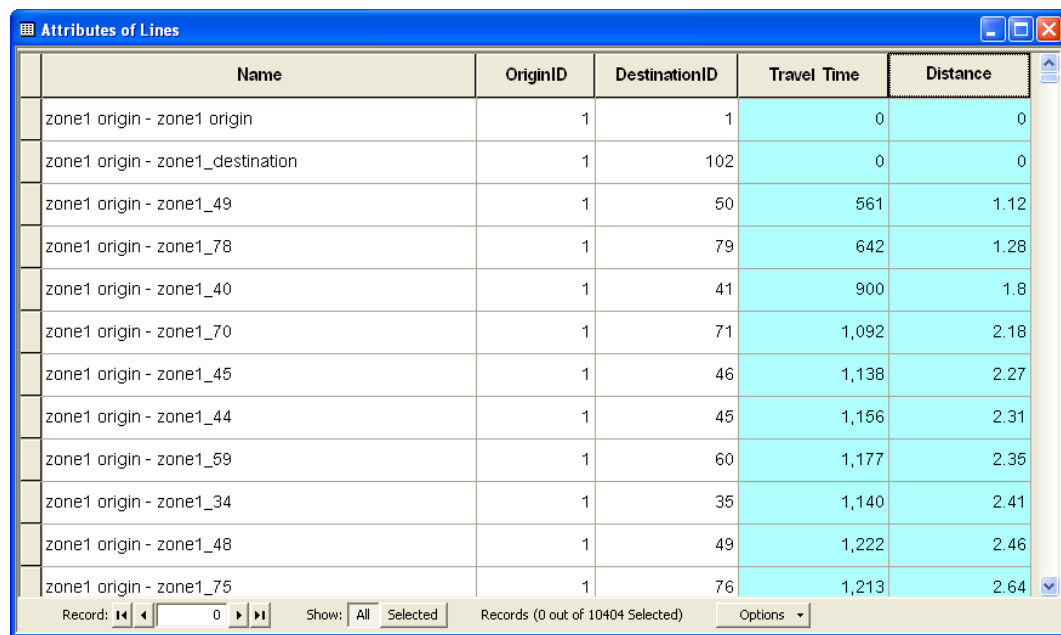


Figure 4.27 Origin-Destination Cost Matrix in Police Patrol Zone 1

Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in police patrol zone 1 are shown in Figure 4.28. All 10,404 routes between checkpoints are in Name field. Distance field displays the shortest time (minutes) in traveling between checkpoints and Travel Time field shows the shortest-time routes (meters) between checkpoints. This analysis is also exportable to database file.



Name	OriginID	DestinationID	Travel Time	Distance
zone1 origin - zone1 origin	1	1	0	0
zone1 origin - zone1_destination	1	102	0	0
zone1 origin - zone1_49	1	50	561	1.12
zone1 origin - zone1_78	1	79	642	1.28
zone1 origin - zone1_40	1	41	900	1.8
zone1 origin - zone1_70	1	71	1,092	2.18
zone1 origin - zone1_45	1	46	1,138	2.27
zone1 origin - zone1_44	1	45	1,156	2.31
zone1 origin - zone1_59	1	60	1,177	2.35
zone1 origin - zone1_34	1	35	1,140	2.41
zone1 origin - zone1_48	1	49	1,222	2.46
zone1 origin - zone1_75	1	76	1,213	2.64

Figure 4.28 Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone1

Police Patrol Zone 2

There are 97 checkpoints in police patrol zone 2 based on location data collected as described in Item 4.2.1. When Nongkhaem Police Station that serves as the origin and destination is included, total checkpoints to be analyzed are 99. Total 9,801 routes that patrol officers pursue will then be analyzed (Figure 4.29).

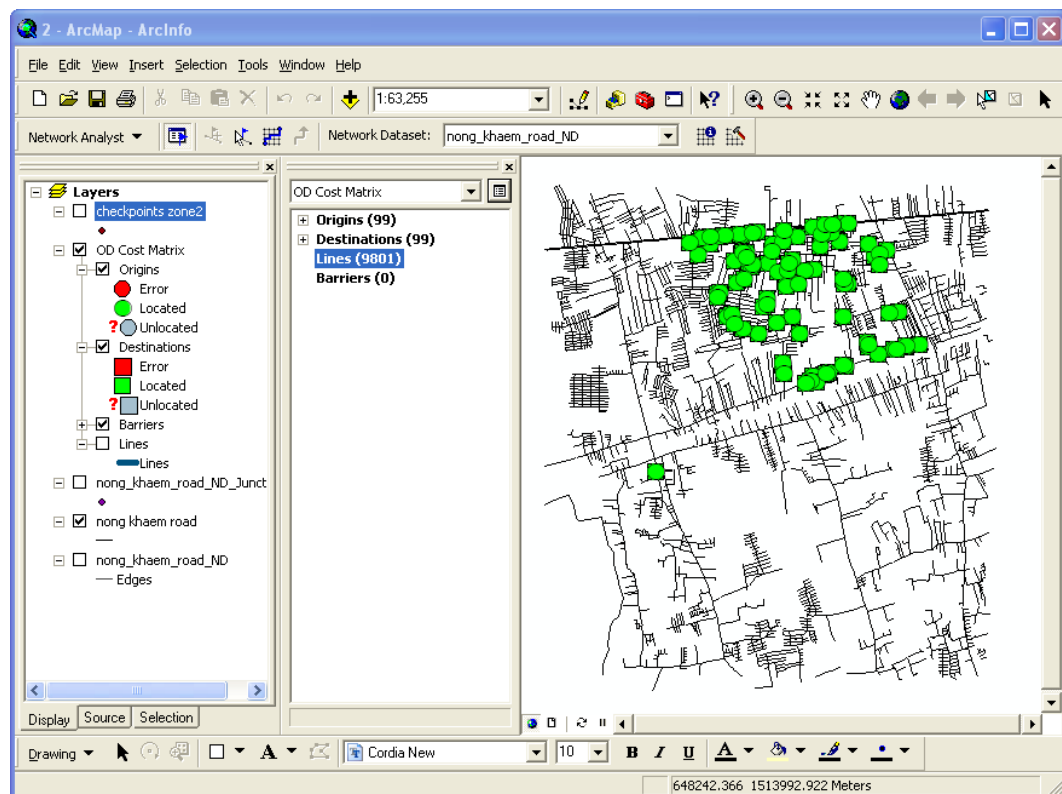
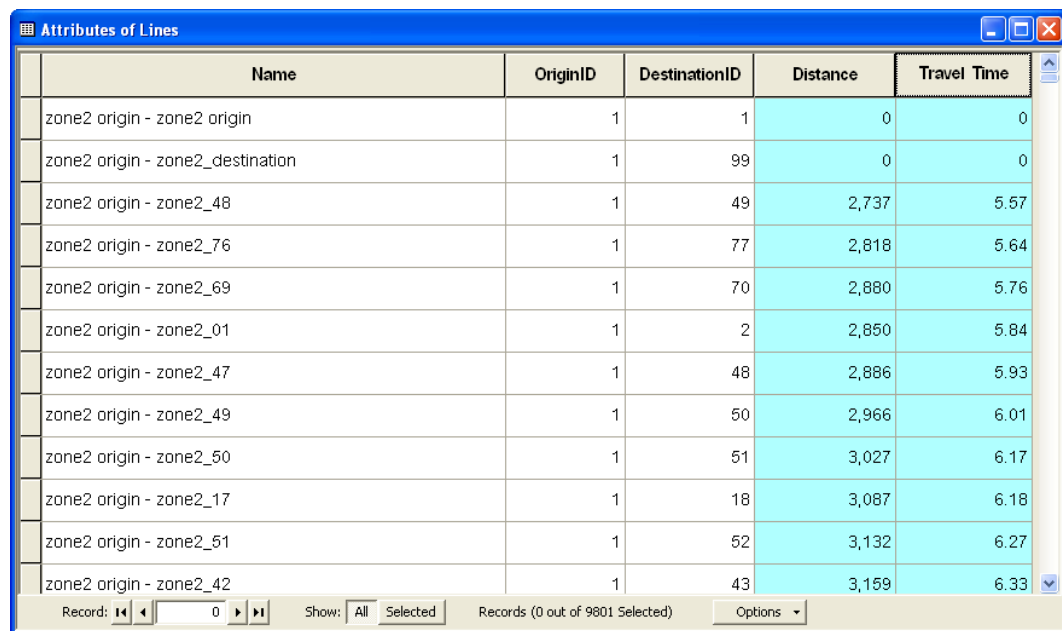


Figure 4.29 Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone 2

Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in police patrol zone 2 are shown in Figure 4.30. All 9,801 routes between checkpoints are in Name field. Distance field displays the shortest time (minutes) to travel between checkpoints and Travel Time field shows the shortest-time routes (meters) between checkpoints. This analysis is also exportable to database file.



Name	OriginID	DestinationID	Distance	Travel Time
zone2 origin - zone2 origin	1	1	0	0
zone2 origin - zone2_destination	1	99	0	0
zone2 origin - zone2_48	1	49	2,737	5.57
zone2 origin - zone2_76	1	77	2,818	5.64
zone2 origin - zone2_69	1	70	2,880	5.76
zone2 origin - zone2_01	1	2	2,850	5.84
zone2 origin - zone2_47	1	48	2,886	5.93
zone2 origin - zone2_49	1	50	2,966	6.01
zone2 origin - zone2_50	1	51	3,027	6.17
zone2 origin - zone2_17	1	18	3,087	6.18
zone2 origin - zone2_51	1	52	3,132	6.27
zone2 origin - zone2_42	1	43	3,159	6.33

Record: 0 Show: All Selected Records (0 out of 9801 Selected) Options

Figure 4.30 Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone2

Police Patrol Zone 3

There are 84 checkpoints in police patrol zone 3 based on location data collected as described in Item 4.2.1. When Nongkhaem Police Station that serves as the origin and destination is included, total checkpoints to be analyzed are 86. Total 7,396 routes that patrol officers pursue will then be analyzed (Figure 4.31).

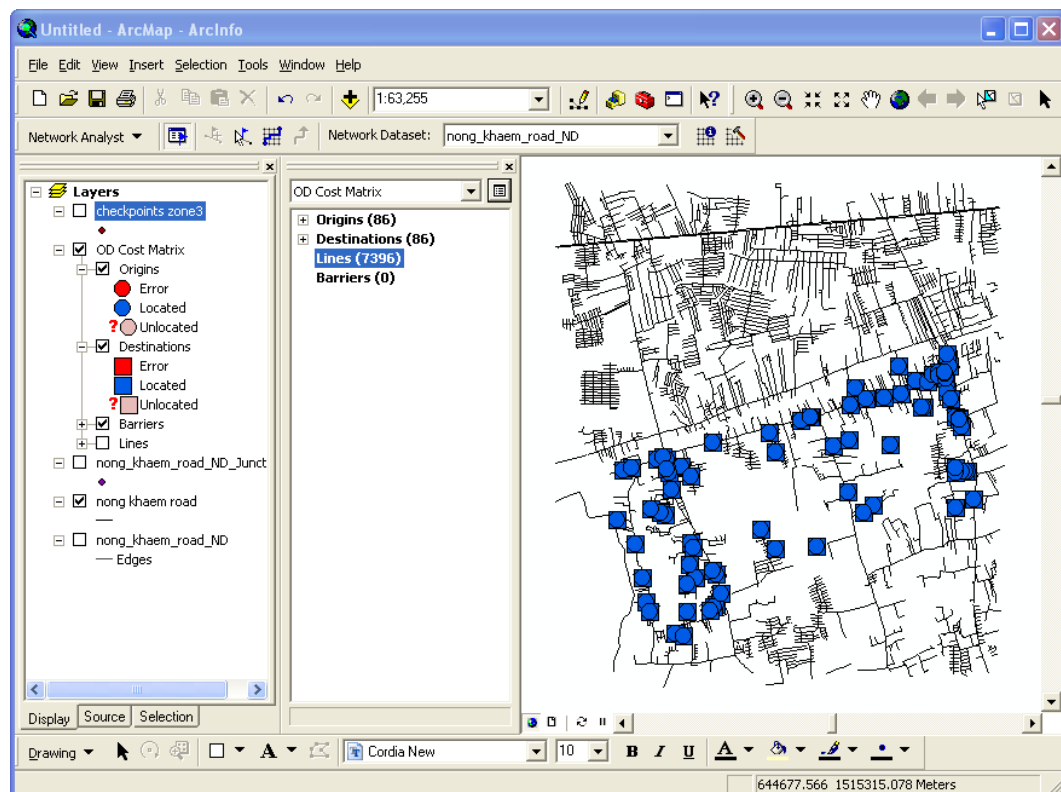
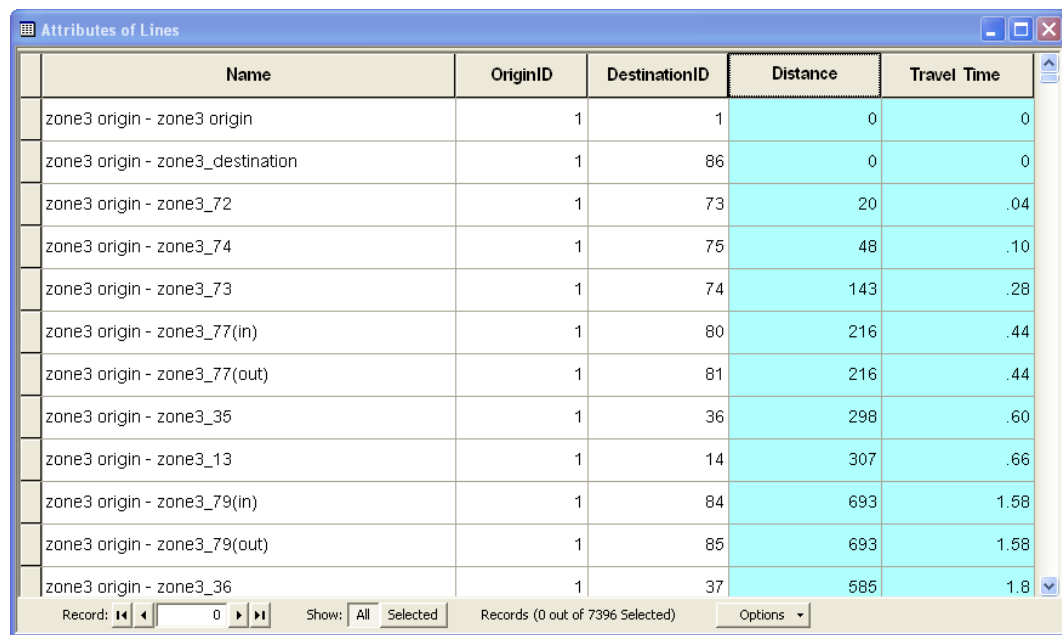


Figure 4.31 Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone 3

Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in police patrol zone 3 are shown in Figure 4.32. All 7,396 routes between checkpoints are in Name field. Distance field displays the shortest time (minutes) in traveling between checkpoints and Travel Time field shows the shortest-time routes (meters) between checkpoints. This analysis is also exportable to database file.



Name	OriginID	DestinationID	Distance	Travel Time
zone3 origin - zone3 origin	1	1	0	0
zone3 origin - zone3_destination	1	86	0	0
zone3 origin - zone3_72	1	73	20	.04
zone3 origin - zone3_74	1	75	48	.10
zone3 origin - zone3_73	1	74	143	.28
zone3 origin - zone3_77(in)	1	80	216	.44
zone3 origin - zone3_77(out)	1	81	216	.44
zone3 origin - zone3_35	1	36	298	.60
zone3 origin - zone3_13	1	14	307	.66
zone3 origin - zone3_79(in)	1	84	693	1.58
zone3 origin - zone3_79(out)	1	85	693	1.58
zone3 origin - zone3_36	1	37	585	1.8

Record: 0 Show: All Selected Records (0 out of 7396 Selected) Options

Figure 4.32 Results of Origin-Destination Cost Matrix Analysis in Police Patrol Zone3

4.3.3 Distance Matrix and Travel Time Matrix

Distance Matrix displays travel distance between all checkpoints across digital map network. Routes between checkpoints are the shortest-time ones. Travel time also depends on the speed in each route. As described earlier, there are three speed levels in this research, namely, 15 km/h, 25 km/h and 30 km/h. Such distance is based on Origin-Destination Cost Matrix analysis in police patrol zones 1, 2 and 3 as described in Section 4.3.2 (Network Analyst). Distance between checkpoints can be used as a value in C_{ij} (cost or distance in road network from checkpoint i to checkpoint j with the shortest time) in the objective function of optimization models with an aim to minimize the sum of total travel cost by identifying the shortest route that the patrol officers can take to all checkpoints without repetition.

Travel distances between all checkpoints across digital map network are on the basis of Origin-Destination Cost Matrix analysis as described in Section 4.3.2. The results are displayed in separate Police Patrol Zones, namely, police patrol zone 1 (10,404 routes), police patrol zone 2 (9,801 routes) and police patrol zone 3 (7,369 routes) as shown in Tables 4.13, 4.14 and 4.15, respectively. In this regard, the number of routes varies according to the number of checkpoints in each police patrol zone.

Table 4.13 Distance Matrix in Police Patrol Zone 1 (meters)

Checkpoint ID	zone1_000	zone1_001	zone1_002	zone1_003	zone1_004	zone1_005	.	.	.	zone1_099	zone1_100	zone1_101
zone1_000	0	1,918	1,560	1,259	1,492	2,888	.	.	.	4,842	4,842	0
zone1_001	1,918	0	873	833	2,396	3,792	.	.	.	5,746	5,746	1,918
zone1_002	1,560	873	0	475	2,038	3,434	.	.	.	5,388	5,388	1,560
zone1_003	1,259	833	475	0	1,737	3,133	.	.	.	5,087	5,087	1,259
zone1_004	1,492	2,396	2,038	1,737	0	2,395	.	.	.	5,320	5,320	,1492
zone1_005	2,888	3,792	3,434	3,133	2,395	0	.	.	.	3,904	3,904	2,888
.
.
.
zone1_099	4,842	5,746	5,388	5,087	5,320	3,904	.	.	.	0	0	4,842
zone1_100	4,842	5,746	5,388	5,087	5,320	3,904	.	.	.	0	0	4,842
zone1_101	0	1,918	1,560	1,259	1,492	2,888	.	.	.	4,842	4,842	0

Table 4.14 Distance Matrix in Police Patrol Zone 2 (meters)

Checkpoint ID	zone2_000	zone2_001	zone2_002	zone2_003	zone2_004	zone2_005	.	.	.	zone2_096	zone2_097	zone2_098
zone2_000	0	2,851	4,601	3,414	4,011	4,855	.	.	.	6,195	6,195	0
zone2_001	2,851	0	3,545	1,269	1,867	2,711	.	.	.	3,917	3,917	2,851
zone2_002	4,601	3,545	0	4,814	5,463	4,124	.	.	.	2,005	2,005	4,601
zone2_003	3,414	1,269	4,814	0	5,98	1,442	.	.	.	3,617	3,617	3,414
zone2_004	4,011	1,867	5,463	598	0	1,284	.	.	.	3,459	3,459	4,011
zone2_005	4,855	2,711	4,124	1,442	1,284	0	.	.	.	2,120	2,120	4,855
.
.
.
zone2_096	6,195	3,917	2,005	3,617	3,459	2,120	.	.	.	0	0	6,195
zone2_097	6,195	3,917	2,005	3,617	3,459	2,120	.	.	.	0	0	6,195
zone2_098	0	2,851	4,601	3,414	4,011	4,855	.	.	.	6,195	6,195	0

Table 4.15 Distance Matrix in Police Patrol Zone 3 (meters)

Checkpoint ID	zone3_000	zone3_001	zone3_002	zone3_003	zone3_004	zone3_005	.	.	.	zone3_084	zone3_085	zone3_086
zone3_000	0	810	1,784	2,894	1,118	733	.	.	.	693	693	0
zone3_001	810	0	1,233	3,704	1,928	1,543	.	.	.	142	142	810
zone3_002	1,784	1,233	0	4,191	2,902	2,517	.	.	.	1,091	1,091	1,784
zone3_003	2,894	3,704	4,191	0	1,964	2,856	.	.	.	3,587	3,587	2,894
zone3_004	1,118	1,928	2,902	1,964	0	1,080	.	.	.	1,811	1,811	1,118
zone3_005	733	1,543	2,517	2,856	1,080	0	.	.	.	1,426	1,426	733
.
.
.
zone3_084	693	142	1,091	3,587	1,811	1,426	.	.	.	0	0	693
zone3_085	693	142	1,091	3,587	1,811	1,426	.	.	.	0	0	693
zone3_086	0	810	1,784	2,894	1,118	733	.	.	.	693	693	0

Travel Time Matrix shows travel time between all checkpoints across digital map network. The routes between checkpoints are the shortest-time ones. This Travel Time Matrix relates to Distance Matrix because it is the same route. Such distance is based on Origin-Destination Cost Matrix analysis in police patrol zones 1, 2 and 3 as described in Section 4.3.2 (Network Analyst). Distance between checkpoints can be used as a value in t_{ij} (the shortest drive time from checkpoint i to checkpoint j across roads) in Constraint 3 of the mathematical model.

Travel Times between all checkpoints across digital map network are on the basis of Origin-Destination Cost Matrix analysis as described in Section 4.3.2. The results are displayed in separate police patrol zones, namely, police patrol zone 1 (10,404 routes), police patrol zone 2 (9,801 routes) and police patrol zone 3 (7,369 routes) as shown in Tables 4.16, 4.17 and 4.18, respectively. In this regard, the number of routes varies according to the number of checkpoints in each police patrol zone.

Table 4.16 Travel Time Matrix in Police Patrol Zone 1 (minutes)

Checkpoint ID	zone1_000	zone1_001	zone1_002	zone1_003	zone1_004	zone1_005	.	.	.	zone1_099	zone1_100	zone1_101
zone1_000	0	4.85	3.63	2.69	3.98	6.83	.	.	.	10.2	10.2	0
zone1_001	4.85	0	3.27	2.85	6.79	9.65	.	.	.	13	13	4.85
zone1_002	3.63	3.27	0	1.64	5.58	8.44	.	.	.	11.8	11.8	3.63
zone1_003	2.69	2.85	1.64	0	4.64	7.5	.	.	.	10.9	10.9	2.69
zone1_004	3.98	6.79	5.58	4.64	0	6.84	.	.	.	12.2	12.2	3.98
zone1_005	6.83	9.65	8.44	7.5	6.84	0	.	.	.	11	11	6.83
.
.
.
zone1_099	10.2	13	11.8	10.9	12.2	11	.	.	.	0	0	10.2
zone1_100	10.2	13	11.8	10.9	12.2	11	.	.	.	0	0	10.2
zone1_101	0	4.85	3.63	2.69	3.98	7	.	.	.	10.2	10.2	0

Table 4.17 Travel Time Matrix in Police Patrol Zone 2 (minutes)

Checkpoint ID	zone2_000	zone2_001	zone2_002	zone2_003	zone2_004	zone2_005	.	.	.	zone2_096	zone2_097	zone2_098
zone2_000	0	5.85	9.98	6.84	8.49	10.7	.	.	.	13.47	13.47	0
zone2_001	5.85	0	9.65	2.7	4.34	6.55	.	.	.	9.37	9.37	5.85
zone2_002	9.98	9.65	0	12.34	13.51	10.82	.	.	.	5.16	5.16	9.98
zone2_003	6.84	2.7	12.34	0	1.65	3.86	.	.	.	8.25	8.25	6.84
zone2_004	8.49	4.34	13.51	1.65	0	3.97	.	.	.	8.36	8.36	8.49
zone2_005	10.7	6.55	10.82	3.86	3.97	0	.	.	.	5.67	5.67	10.7
.
.
.
zone2_096	13.47	9.37	5.16	8.25	8.36	5.67	.	.	.	0	0	13.47
zone2_097	13.47	9.37	5.16	8.25	8.36	5.67	.	.	.	0	0	13.47
zone2_098	0	5.85	9.98	6.84	8.49	10.7	.	.	.	13.47	13.47	0

Table 4.18 Travel Time Matrix in Police Patrol Zone 3 (minutes)

Checkpoint ID	zone3_000	zone3_001	zone3_002	zone3_003	zone3_004	zone3_005	.	.	.	zone3_084	zone3_085	zone3_086
zone3_000	0	1.87	3.75	7.21	2.62	2.18	.	.	.	1.58	1.58	0
zone3_001	1.87	0	2.51	9.08	4.49	4.05	.	.	.	0.35	0.35	1.87
zone3_002	3.75	2.51	0	10.21	6.36	5.93	.	.	.	2.17	2.17	3.75
zone3_003	7.21	9.08	10.21	0	5.86	7.83	.	.	.	8.79	8.79	7.21
zone3_004	2.62	4.49	6.36	5.86	0	3.24	.	.	.	4.2	4.2	2.62
zone3_005	2.18	4.05	5.93	7.83	3.24	0	.	.	.	3.76	3.76	2.18
.
.
.
zone3_084	1.58	0.35	2.17	8.79	4.2	3.76	.	.	.	0	0	1.58
zone3_085	1.58	0.35	2.17	8.79	4.2	3.76	.	.	.	0	0	1.58
zone3_086	0	1.87	3.75	7.21	2.62	2.18	.	.	.	1.58	1.58	0

4.3.4 Service Time and Time Windows

The estimation of shortest-time route between all checkpoints in digital map and travel time between all checkpoints in digital map as described in Section 4.2.3 is to identify the figures to be included in the mathematical models. In addition, it is also required to estimate the service time at each checkpoint and each vehicle checkpoint as well as time windows.

The service time, which can vary according to different practices and procedures in respective checkpoints, is set as S_i (service time at the checkpoint i) in Constraints 3 and 4 of the mathematical model. Table 4.19 displays the service time for red-box checkpoints, bank checkpoints and goldsmith checkpoints to be set in mathematical models. Meanwhile, the service time at vehicle checkpoint is in line with the Police Patrol Plan.

Table 4.19 Service Time in each Type of Checkpoint

Type of Checkpoints	Service Time (Minutes)
Red-Box Checkpoints	3
Bank Checkpoints	5
Goldsmith Checkpoints	5

Police Patrol Plan has been specified by the commander as Time Windows for vehicle checkpoint. It includes the beginning time (a) and the finishing time (b) for the performance of duty at the vehicle checkpoint. In addition, the service times for vehicle checkpoints and dummy vehicle checkpoints are also identified.

The beginning and finishing time for the performance of duty requires patrol officers to arrive at and depart from the vehicle checkpoint before or after a specific time. To estimate beginning and finishing times at the vehicle checkpoint, the beginning time of each police patrol shift as well as the beginning and finishing time in establishing the vehicle checkpoint are taken into account. The beginning and finishing time are set as a and b in Constraints 8 and 9 of mathematical models, respectively.

Service Time of the vehicle checkpoint refers to the time when the performance of duty begins and finishes. For the dummy vehicle checkpoint, its service time is 0 because no patrol officers actually depart from here to other checkpoints. The service times for vehicle checkpoint and dummy vehicle checkpoint are set as S_i in Constraints 3 and Constraint 4 of mathematical models, respectively.

For the case study, three Police Patrol Plans for patrol officers' daily performance of duty in Table 4.20 are used. They were designated by the commander according to the following shifts:

1) Shift 1 of Police Patrol Plan

Shift 1 of Police Patrol Plan is between 12:01 a.m. - 8:00 a.m., The performance of duty during this shift is according to Table 4.4. Meanwhile, time windows and service time at each checkpoint are shown in Table 4.20.

Table 4.20 Time Windows and Service Time of the Vehicle Checkpoint (Shift 1)

Patrol Officers	Checkpoint ID	Locations	Time Windows		Service Time S_i (minutes)
			a	b	
Zone 1	091	Entrance of Soi Hansa	345		30
	092	Entrance of Soi Hansa (Dummy)		375	
	093	Entrance of Soi Phet Kasem 79	420		30
	094	Entrance of Soi Phet Kasem 79 (Dummy)		450	
Zone 2	088	Opposite Carrefour Supermarket	330		60
	089	Opposite Carrefour Supermarket (Dummy)		390	
	090	Nan Yang Co., Ltd.	420		30
	091	Nan Yang Co., Ltd. (Dummy)		450	
Zone 3	081	Bus Terminal	360		60
	082	Bus Terminal (Dummy)		420	

For the vehicle checkpoint at the entrance of Soi Hansa in police patrol zone 1, the performance of duty lasts for 30 minutes between 5:45 a.m. - 6:15 a.m. or 345th minute and 375th minute from the beginning of shift 1, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at the vehicle checkpoint at the entrance of Soi Phet Kasem 79 in police patrol zone 1, the performance of duty lasts for 30 minutes between 7:00 a.m. - 07:30 a.m. or 420th minute and 450th minute from the beginning of shift 1, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint opposite to Carrefour Supermarket in police patrol zone 2, the performance of duty lasts for 30 minutes between 5:30 a.m. - 6:30 a.m. or 330th minute and 390th minute from the beginning of shift 1, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at Nanyang Co., Ltd. in police patrol zone 2, the performance of duty lasts for 30 minutes between 7:00 a.m. - 7:30 a.m. or 420th minute and 450th minute from the beginning of shift 1, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at Bus Terminal in police patrol zone 3, the performance of duty lasts for 30 minutes between 7:00 a.m. - 7:30 a.m. or 420th minute and 450th minute from the beginning of shift 1, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

2) Shift 2 of Police Patrol Plan

Shift 2 of Police Patrol Plan is between 8:01 a.m. – 4:00 p.m., The performance of duty during this shift is according to Table 4.5. Meanwhile, time windows and service time at each checkpoint are shown in Table 4.21.

Table 4.21 Time Windows and Service Time of the Vehicle Checkpoint (Shift 2)

Patrol Officers	Checkpoint ID	Locations	Time Windows		Service Time S_i (minutes)
			a	b	
Zone 1	095	Wood Mill	180		30
	096	Wood Mill (Dummy)		210	
	097	Udom Temple	375		45
	098	Udom Temple (Dummy)		420	
Zone 2	092	Soi Nak Sathaphorn 2	180		60
	093	Soi Nak Sathaphorn 2 (Dummy)		240	
	088	Opposite Carrefour Supermarket	360		60
	089	Opposite Carrefour Supermarket (Dummy)		420	
Zone 3	077	Lak Sam Temple	420		30
	078	Lak Sam Temple (Dummy)		450	

For the vehicle checkpoint at the Wood Mill in police patrol zone 1, the performance of duty lasts for 30 minutes between 11:00 a.m. - 11:30 a.m. or 180th minute and 210th minute from the beginning of shift 2, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at Udom Temple in police patrol zone 1, the performance of duty lasts for 45 minutes between 2:15 p.m. – 3:00 p.m. or 375th minute and 420th minute from the beginning of shift 2, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at Soi Nak Sathaphorn 2 in police patrol zone 2, the performance of duty lasts for 60 minutes between 11:00 a.m. – 12:00 p.m. or 180th minute and 240th minute from the beginning of shift 2, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint opposite to Carrefour Supermarket in police patrol zone 2, the performance of duty lasts for 60 minutes between 2:00 p.m. – 3:00 p.m. or 360th minute and 420th minute from the beginning of shift 2, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at Lak Sam Temple in Police Patrol Zone 3, the performance of duty lasts for 60 minutes between 3:00 p.m. - 3:30 p.m. or 420th minute and 450th minute from the beginning of shift 2, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

3) Shift 3 of Police Patrol Plan

Shift 3 of Police Patrol Plan is between 4:01 p.m. - 12:00 a.m., The performance of duty during this shift is according to Table 4.6. Meanwhile, time windows and service time at each checkpoint are shown in Table 4.22.

Table 4.22 Time Windows and Service Time of the Vehicle Checkpoint (Shift 3)

Patrol Officers	Checkpoint ID	Locations	Time Windows		Service Time S_i (minutes)
			a	b	
Zone 1	091	Entrance of Soi Hansa	120		30
	092	Entrance of Soi Hansa (Dummy)		150	
	099	Entrance of Soi Phet Kasem 77/6	240		30
	100	Entrance of Soi Phet Kasem 77/6 (Dummy)		270	
Zone 2	094	PTT Gas Station	240		30
	095	PTT Gas Station (Dummy)		270	
	096	Entrance of Soi Phet Kasem 73	300		30
	097	Entrance of Soi Phet Kasem 73 (Dummy)		330	
	096	Entrance of Soi Phet Kasem 73	360		60
	097	Entrance of Soi Phet Kasem 73 (Dummy)		420	
Zone 3	079	Weekend Market near Police Station	90		30
	080	Weekend Market near Police Station (Dummy)		150	
	081	Bus Terminal	360		30
	082	Bus Terminal (Dummy)		390	
	083	7-Eleven (Nongkhaem Temple Branch)	450		30
	084	7-Eleven (Nongkhaem Temple Branch) (Dummy)		480	

For the vehicle checkpoint at the entrance of Hansa Village in police patrol zone 1, the performance of duty lasts for 30 minutes between 6:00 p.m. – 6:30 p.m. or 120th minute and 150th minute from the beginning of shift 3, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at the entrance of Soi Phet Kasem 77/6 in police patrol zone 1, the performance of duty lasts for 30 minutes between 8:00 p.m. - 8:30 p.m. or the 240th minute and the 270th minute from the beginning of shift 3, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at PTT Gas Station in police patrol zone 2, the performance of duty lasts for 30 minutes between 8:00 p.m. - 8:30 p.m. or the 240th minute and the 270th minute from the beginning of shift 3, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at the entrance of Soi Phet Kasem 73 in police patrol zone 2, the performance of duty lasts for 30 minutes between 9:00 p.m. - 9:30 p.m. or the 300th minute and the 330th minute from the beginning of shift 3, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For vehicle checkpoint at the entrance of Soi Phet Kasem 73 in police patrol zone 2, the performance of duty lasts for 30 minutes between 10:00 p.m. – 11:00 p.m. or the 360th minute and the 420th minute from the beginning of shift 3, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at Bus Terminal in police patrol zone 3, the performance of duty lasts for 30 minutes between 10:00 p.m. - 10:30 p.m. or the 360th minute and the 390th minute from the beginning of shift 3, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

For the vehicle checkpoint at 7-Eleven (Nongkhaem Temple Branch) in police patrol zone 3, the performance of duty lasts for 30 minutes between 11:30 p.m. – 12:00 a.m. or the 450th minute and the 480th minute from the beginning of shift 3, respectively. The dummy is designated at 0 minute.

4.4 Developing Mathematical Models

The mathematical modeling developed for solving time-constraint police patrol plan arrangement is similar to Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW). The model is formulated as a Mixed Integer Linear Program (MILP). Definitions of elements in the model are as follows:

sets

- N is the group of checkpoints : for
 Police patrol zone 1 - 001, 002, 003,..., 100,
 Police patrol zone 2 - 001, 002, 003,..., 097,
 Police patrol zone 3 - 001, 002, 003,..., 084.
- K is the group of vehicle checkpoints: for
 Police patrol zone 1 - 091, 093, 095, 097, 099,
 Police patrol zone 2 - 088, 090, 092, 094, 096,
 Police patrol zone 3 - 075, 077, 079, 081, 083.
- K' is the group of corresponding dummy vehicle checkpoints: for
 Police patrol zone 1 - 092, 094, 096, 098, 100,
 Police patrol zone 2 - 089, 091, 093, 095, 097,
 Police patrol zone 3 - 076, 078, 080, 082, 084.

indices

- i, j refers to the checkpoint. The number of checkpoints in each police patrol zone is equivalent to the number specified in the group of N .
- k refers to the vehicle checkpoints. The number of checkpoints in each police patrol zone is equivalent to the number specified in the group of N .
- k' refers to the dummy vehicle checkpoints. The number of checkpoints in each police patrol zone is equivalent to the number specified in the group of N .
- o refers to the origin (Nongkhaem Police Station) in police patrol zones 1, 2 and 3, which is '0'.
- d refers to the destination (Nongkhaem Police Station) 101, 98 and 85 in police patrol zones 1, 2 and 3, respectively.

Parameters

C_{ij}	cost or distance in road network from checkpoint i to checkpoint j with the shortest time. In the objective function, it is derived from the travel time between all checkpoints in digital map routes. These are shortest-time routes as described in Tables 4.13, 4.14 and 4.15 for police patrol zones 1, 2 and 3, respectively.
X_{od}	Constraint 4 determines the origin-destination traveling as 0 in order to prohibit direct traveling from the origin to the destination. It is required to visit checkpoints before the arrival at the destination.
$X_{kk'}$	Constraint 5 is designated as 1 to specify the traveling from one vehicle checkpoint to one dummy vehicle checkpoint.
$X_{k'k}$	Constraint 6 is designated as 0 to specify the traveling from one dummy vehicle checkpoint to one vehicle checkpoint.
T_o	the police patrol beginning time at the police station, Constraint 7 set T_o to be 0.
T_d	the police patrol finishing time at the police station, Constraint 10 set T_d to be less than or equal to 480.
S_i	(service time at the checkpoint i) in Constraint 3 is based on the duration of the performance of duty at different checkpoint as described in Tables 4.19, 4.20, 4.21 and 4.22.
t_{ij}	(the shortest drive time from checkpoint i to checkpoint j across road network) in Constraint 3 is based on the travel time between all checkpoints in digital map routes. These are shortest-time routes as described in Tables 4.16, 4.17 and 4.18 for police patrol zones 1, 2 and 3, respectively.
a	patrol officers' arrival time at vehicle checkpoints in Constraint 9 is based on Tables 4.20, 4.21 and 4.22.
b	the arrival time of patrol officers at the dummy vehicle checkpoint in Constraint 10 is based on Tables 4.20, 4.21 and 4.22.

M refers to the Big-M which may be set to be the highest value of time constraint based on the sum of travel time, performance of duty time and the longest travel time, which is $480 + 60 + 27 = 567$.

Decision Variables

X_{ij} = 1 refers to the case where the patrol officers choose to travel from Checkpoint i to Checkpoint j

= 0 otherwise

T_i refers to the arrival time at Checkpoint i

T_j refers to the arrival time at Checkpoint j

W_i refers to the waiting time at Checkpoint i

W'_k refers to the waiting time at Checkpoint k

A mathematical model for the problem of police patrol with time windows is formulated as follows:

Mathematical Formulation

Objective Function

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\}} \sum_{j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\} - \{i\}} C_{ij} X_{ij}$$

Constraints

$$\sum_{j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\}} X_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\}, \quad i \neq j \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\}} X_{ij} = 1 \quad ; \forall j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\}, \quad i \neq j \quad (2)$$

$$T_i + W_i + S_i + t_{ij} \leq T_j + M(1 - X_{ij}) \quad ; \forall i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\}, \quad \forall j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\}; \quad i \neq j \quad (3)$$

$$X_{od} = 0 \quad (4)$$

$$X_{kk'} = 1 \quad ; \forall k \in K, \quad \forall k' \in K' \quad (5)$$

$$X_{k'k} = 0 \quad ; \forall k \in K, \quad \forall k' \in K' \quad (6)$$

$$T_o = 0 \quad (7)$$

$$T_k = a \quad ; \forall k \in K \quad (8)$$

$$T_{k'} = b \quad ; \forall k' \in K' \quad (9)$$

$$T_d \leq 480 \quad (10)$$

$$W'_k = 0 \quad ; \forall k \in K \quad (11)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i \in N \cup K \cup K' \cup \{o\}, \quad \forall j \in N \cup K \cup K' \cup \{d\}; \quad i \neq j \quad (12)$$

In the above model, three decision variables must be solved, i.e., X_{ij} (the chosen route from checkpoint i to checkpoint j), T_i (the arrival time at the checkpoint i) and W_i (the waiting time prior to performing duties). However, this research has revealed how to minimize the sum of total travel cost by identifying the shortest route to be taken by patrol officers to all checkpoints without repetition. They know the sequence of traveling to checkpoints X_{ij} , when to arrive at one given checkpoint (T_i) and waiting time at that particular checkpoint W_i . This is a ‘byproduct’ achieved from solving this problem. Study results thus can specify routes and time in duty for police patrol. It can be said that research objectives are met in light that police patrol practices are imitated; then, police patrol routes are designated instead of the arbitrarily selected by individual patrol officers.

4.5 Study

After the identification of all variables in the mathematical model, Dreamweaver is used in expressing the formulation for a solver. Here LINDO software is used for solving the mathematical models.

This is the study to verify the applicability of mathematical modeling. Only the checkpoints where patrol officers’ visits are required: checkpoints. As a result, check points No. 1 - 12 in each police patrol zone and the vehicle checkpoints (the arrival time has been designated) are chosen accordingly. For the latter, it is to examine Time Windows in Constraints 3 - 11. Initially, Police Patrol Plan (shift 2) – 8:01 a.m. - 4:00 p.m. (in Table 4.5) has been used in this study. The illustration is also presented separately into three police patrol zones as follows:

4.5.1 Police Patrol Zone 1

There are totally 18 checkpoints in police patrol zone 1, namely, Nongkhaem Police Station (as the origin and destination), 12 red-box checkpoints and 4 vehicle checkpoints as listed in Table 4.23.

Table 4.23 List of Checkpoints for Study (Police Patrol Zone 1)

No.	Type of Checkpoints	Checkpoints ID	Location
1	Origin	zone1_000	Nongkhaem Police Station
2	Red-Box Checkpoint	zone1_001	Uea Athon Village
3	Red-Box Checkpoint	zone1_002	Sa Ran Phon Village
4	Red-Box Checkpoint	zone1_003	Soi Ap Thip
5	Red-Box Checkpoint	zone1_004	Soi Chatsan 2
6	Red-Box Checkpoint	zone1_005	Soi Kamnan Chaloem
7	Red-Box Checkpoint	zone1_006	Phuttan Village Office
8	Red-Box Checkpoint	zone1_007	Sa Nek Factory
9	Red-Box Checkpoint	zone1_008	Soi Phong Siri Chai IV Soi 8
10	Red-Box Checkpoint	zone1_009	Krung Thong Plastic
11	Red-Box Checkpoint	zone1_010	Sin Phet Condominium
12	Red-Box Checkpoint	zone1_011	Government Housing Bank
13	Red-Box Checkpoint	zone1_012	Yong Charoen Godown
14	Vehicle Checkpoint	zone1_095	Wood Mill
15	Vehicle Checkpoint	zone1_096	Wood Mill (dummy)
16	Vehicle Checkpoint	zone1_097	Udom Temple
17	Vehicle Checkpoint	zone1_098	Udom Temple (dummy)
18	Destination	zone1_101	Nongkhaem Police Station

Dreamweaver have been used for developing PHP-language-based User Interface for displaying the formulation. This particular User Interface allows the researcher to select the checkpoints, Service Time and Time Windows for route arrangement purpose as shown in Figure 4.33 Police Patrol Zone is on the top of page; while the left-hand column is for the selection of desired checkpoints. The formulation based on the input from the left side will be displayed in the right-hand column.

POLICE PATROL ZONE 1	
CHECK POINTS	MATHEMATICAL MODEL
Zone1_0 <input type="checkbox"/> Service Time 0 Zone1_1 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_2 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_3 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_4 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_5 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_6 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_7 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_8 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_9 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_10 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_11 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_12 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_13 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_14 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_15 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_16 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_17 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_18 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_19 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_20 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_21 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_22 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_23 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_24 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_25 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_26 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_27 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_28 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_29 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_30 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_31 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_32 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_33 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_34 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_35 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_36 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_37 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_38 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_39 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_40 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_41 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_42 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_43 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_44 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_45 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_46 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_47 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_48 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_49 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_50 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_51 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_52 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_53 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_54 <input type="checkbox"/> Service Time 3	Point Selected : MIN Subject to $X0_{101} = 0$ $T0 = 0$ $T101 = 480$ end int 3
	Zone1_55 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_56 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_57 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_58 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_59 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_60 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_61 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_62 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_63 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_64 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_65 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_66 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_67 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_68 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_69 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_70 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_71 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_72 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_73 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_74 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_75 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_76 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_77 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_78 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_79 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_80 <input type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_81 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_82 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_83 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_84 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_85 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_86 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_87 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_88 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_89 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_90 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Zone1_91 <input type="checkbox"/> Service Time 5 Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_92 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_93 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_94 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_95 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_96 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_97 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_98 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_99 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_100 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window <input type="checkbox"/> Zone1_101 <input type="checkbox"/> Service Time 0 Submit

Figure 4.33 User Interface Developed with Dreamweaver for the Selection of Checkpoints.

The checkpoints, Service Time and Time Windows as shown in Figure 4.34 have been chosen for Police Patrol Zone 1. One should then select 18 desired checkpoints and fill in the Service Time (as described in Table 4.19) and Time Windows (as described in Table 4.21). After that, one presses ‘Submit’ button to generate the formulation.

POLICE PATROL ZONE 1	
CHECK POINTS Zone1_0 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 0 Zone1_1 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_2 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_3 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_4 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_5 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_6 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_7 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_8 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_9 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_10 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_11 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3 Zone1_12 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 3	MATHEMATICAL MODEL Point Selected : MIN Subject to X0_101 = 0 T0 = 0 T101 = 480 end int 3
Zone1_95 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 30 Time Window 180 Zone1_96 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 0 Time Window 210 Zone1_97 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 45 Time Window 375 Zone1_98 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 0 Time Window 420 Zone1_99 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window Zone1_100 <input type="checkbox"/> Service Time Time Window Zone1_101 <input checked="" type="checkbox"/> Service Time 0 Submit	

Figure 4.34 Selecting the Checkpoints and Filling in User Interface with Service Time and Time Windows

The results based on those selected checkpoints and inserted Service Time and Time Windows in the right-hand side is the formulation that consists of Objective Function and Constraints (Figure 4.35). The file is in Text format to enable LINDO to it in the Editor for problem solving purpose.

POLICE PATROL ZONE 1				Time Window	Service Time	Time Window	Service Time	Time Window	Service Time
CHECK POINTS		MATHEMATICAL MODEL		Zone1_91	Service Time	Zone1_96	Service Time	Zone1_99	Service Time
Point Selected: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 95 96 97 98				Zone1_100 <th>Service Time</th> <td colspan="4"></td>	Service Time				
Zone1_1 <td>Service Time</td> <td colspan="2">MIN</td> <td colspan="6"></td>	Service Time	MIN							
Zone1_2 <td>Service Time</td> <td colspan="2">318910.1 + 156020.2 + 127020.3 + 149020.4 + 28702.5 + 149700.6 + 12802.7 + 43021.8 + 41021.9 + 147102.0 + 447102.1 + 394902.2 + 144902.3 + 144902.4 + 10302.7 + 41020.8 + 9602.9 + 43021.0 + 179802.1 + 28702.2 + 41021.3 + 41021.4 + 394902.5 + 50602.6 + 473502.7 + 114502.8 + 12802.9 + 9002.0 + 9002.1 + 9002.2 + 9002.3 + 8702.4 + 47352.5 + 394902.6 + 343402.7 + 25121.8 + 37802.9 + 35520.0 + 470802.9 + 4702.0 + 14702.1 + 44902.2 + 42902.3 + 6092.4 + 470802.5 + 40502.6 + 394902.7 + 81202.8 + 147502.9 + 173702.0 + 313202.1 + 22902.2 + 34802.3 + 3252.4 + 394902.4 + 50602.5 + 41020.6 + 141402.7 + 123902.8 + 39902.9 + 39902.0 + 34802.1 + 43402.2 + 394902.3 + 22902.4 + 3252.5 + 394902.6 + 440402.7 + 140402.8 + 140402.9 + 140402.0 + 440402.1 + 144742.2 + 144742.3 + 186202.4 + 186202.5 + 58102.6 + 58102.7 + 58102.8 + 279102.9 + 140402.0 + 22102.1 + 22102.2 + 22102.3 + 22102.4 + 34802.5 + 41020.6 + 41020.7 + 41020.8 + 34802.9 + 50602.0 + 664102.1 + 664102.2 + 13802.3 + 123802.4 + 173702.5 + 173702.6 + 173702.7 + 173702.8 + 173702.9 + 274702.0 + 22102.1 + 30802.2 + 41020.3 + 394902.4 + 22102.5 + 22102.6 + 22102.7 + 22102.8 + 394902.9 + 140402.0 + 161202.1 + 161202.2 + 161202.3 + 161202.4 + 161202.5 + 161202.6 + 161202.7 + 161202.8 + 161202.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 27</td>	Service Time	318910.1 + 156020.2 + 127020.3 + 149020.4 + 28702.5 + 149700.6 + 12802.7 + 43021.8 + 41021.9 + 147102.0 + 447102.1 + 394902.2 + 144902.3 + 144902.4 + 10302.7 + 41020.8 + 9602.9 + 43021.0 + 179802.1 + 28702.2 + 41021.3 + 41021.4 + 394902.5 + 50602.6 + 473502.7 + 114502.8 + 12802.9 + 9002.0 + 9002.1 + 9002.2 + 9002.3 + 8702.4 + 47352.5 + 394902.6 + 343402.7 + 25121.8 + 37802.9 + 35520.0 + 470802.9 + 4702.0 + 14702.1 + 44902.2 + 42902.3 + 6092.4 + 470802.5 + 40502.6 + 394902.7 + 81202.8 + 147502.9 + 173702.0 + 313202.1 + 22902.2 + 34802.3 + 3252.4 + 394902.4 + 50602.5 + 41020.6 + 141402.7 + 123902.8 + 39902.9 + 39902.0 + 34802.1 + 43402.2 + 394902.3 + 22902.4 + 3252.5 + 394902.6 + 440402.7 + 140402.8 + 140402.9 + 140402.0 + 440402.1 + 144742.2 + 144742.3 + 186202.4 + 186202.5 + 58102.6 + 58102.7 + 58102.8 + 279102.9 + 140402.0 + 22102.1 + 22102.2 + 22102.3 + 22102.4 + 34802.5 + 41020.6 + 41020.7 + 41020.8 + 34802.9 + 50602.0 + 664102.1 + 664102.2 + 13802.3 + 123802.4 + 173702.5 + 173702.6 + 173702.7 + 173702.8 + 173702.9 + 274702.0 + 22102.1 + 30802.2 + 41020.3 + 394902.4 + 22102.5 + 22102.6 + 22102.7 + 22102.8 + 394902.9 + 140402.0 + 161202.1 + 161202.2 + 161202.3 + 161202.4 + 161202.5 + 161202.6 + 161202.7 + 161202.8 + 161202.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 274702.9 + 274702.0 + 274702.1 + 274702.2 + 274702.3 + 274702.4 + 274702.5 + 274702.6 + 274702.7 + 274702.8 + 27							

Figure 4.35 Formulations in User Interface for Police Patrol Zone 1

4.5.2 Police Patrol Zone 2

There are totally 18 checkpoints in police patrol zone 2, namely, Nongkhaem Police Station (as the origin and destination), 12 red-box checkpoints and 4 vehicle checkpoints as described in Table 4.24.

Table 4.24 List of Checkpoints for Study (Police Patrol Zone 2)

Order	Type of Checkpoints	checkpoints ID	Location
1	Origin	zone2_000	Nongkhaem Police Station
2	Red-Box Checkpoint	zone2_001	Sia Nam's House
3	Red-Box Checkpoint	zone2_002	Phet Kasem1 Village
4	Red-Box Checkpoint	zone2_003	Khunmae Shop
5	Red-Box Checkpoint	zone2_004	Wo Rat Co. ,Ltd.
6	Red-Box Checkpoint	zone2_005	Soi Chotchuang
7	Red-Box Checkpoint	zone2_006	Wutthi's House
8	Red-Box Checkpoint	zone2_007	69 Aluminium Co. ,Ltd.
9	Red-Box Checkpoint	zone2_008	37/54 Soi Phet Kasem 71
10	Red-Box Checkpoint	zone2_009	Toyota Co. ,Ltd.
11	Red-Box Checkpoint	zone2_010	Nakhon Phet Kasem Market
12	Red-Box Checkpoint	zone2_011	Opposite Phai Thun's House
13	Red-Box Checkpoint	zone2_012	Soi Prem Pri 1
14	Vehicle Checkpoint	zone2_088	Opposite Carrefour
15	Vehicle Checkpoint	zone2_089	Opposite Carrefour (dummy)
16	Vehicle Checkpoint	zone2_092	Soi Na Khot Than Phon 2
17	Vehicle Checkpoint	zone2_093	Soi Na Khot Than Phon 2(dummy)
18	Destination	zone2_098	Nongkhaem Police Station

The processes for Police Patrol Zone 2 are similar to Police Patrol Zone 1. That is to say that the results in User Interface as shown in Figure 4.36 contain all 18 checkpoints along with Service Time according to the type of the checkpoint (as described in Table 4.19) and Time Windows (as described in Table 4.21) that have been filled in.

[illegible]

Figure 4.36 Formulations in User Interface for Police Patrol Zone 2

4.5.3 Police Patrol Zone 3

There are totally 16 checkpoints in police patrol zone 3, namely, Nongkhaem Police Station (as the origin and destination), 12 red-box checkpoints and two vehicle checkpoints as described in Table 4.25.

Table 4.25 List of Checkpoints for Study (Police Patrol Zone 3)

Order	Type of Checkpoints	checkpoints ID	Location
1	Origin	zone3_000	Nongkhaem Police Station
2	Red-Box Checkpoint	zone3_001	Wat Nongkhaem School
3	Red-Box Checkpoint	zone3_002	Phet Kasem College
4	Red-Box Checkpoint	zone3_003	Soi Phra Pin 4 13/2
5	Red-Box Checkpoint	zone3_004	Soi Phun Suk
6	Red-Box Checkpoint	zone3_005	Kanda Village
7	Red-Box Checkpoint	zone3_006	45/6 Fang Tai Road
8	Red-Box Checkpoint	zone3_007	Thawi Suk Farm
9	Red-Box Checkpoint	zone3_008	Pan Factory
10	Red-Box Checkpoint	zone3_009	Na Ko Ya Factory
11	Red-Box Checkpoint	zone3_010	Modern Factory
12	Red-Box Checkpoint	zone3_011	Phet Minimart
13	Red-Box Checkpoint	zone3_012	Soi Chaiyo
14	Vehicle Checkpoint	zone3_077	Lak Sam Temple
15	Vehicle Checkpoint	zone3_078	Lak Sam Temple (dummy)
16	Destination	zone3_085	Nongkhaem Police Station

The processes for Police Patrol Zone 3 are similar to Police Patrol Zone 1.

[illegible]

Figure 4.37 Formulations in User Interface for Police Patrol Zone 3

4.6 Solution Method

The mathematical formulations for routing and scheduling police patrol service now are saved in three separate text files ready for the optimization solver. LINDO Software Version 6.1 is used in this research for finding the solution. This software is capable to accommodate 200,000 variables and the maximum number of 64,000 constraints.

Since LINDO editor has the limit on the size of the opening file, if a file is so large, it has to be opened as view-only mode. Similarly, if the output file is large, it should be saved onto the hard disk rather than reported to the window editor concurrently. The procedure is shown in Figure 4.38, as LINDO set the Log Output (F10). This step is crucial for a large output file since it consumes a lot of memory. In such case, LINDO may experience a long delay to find the solution because of little memory left. In the worst case, the program can be unresponsive due to too many constraints and variables.

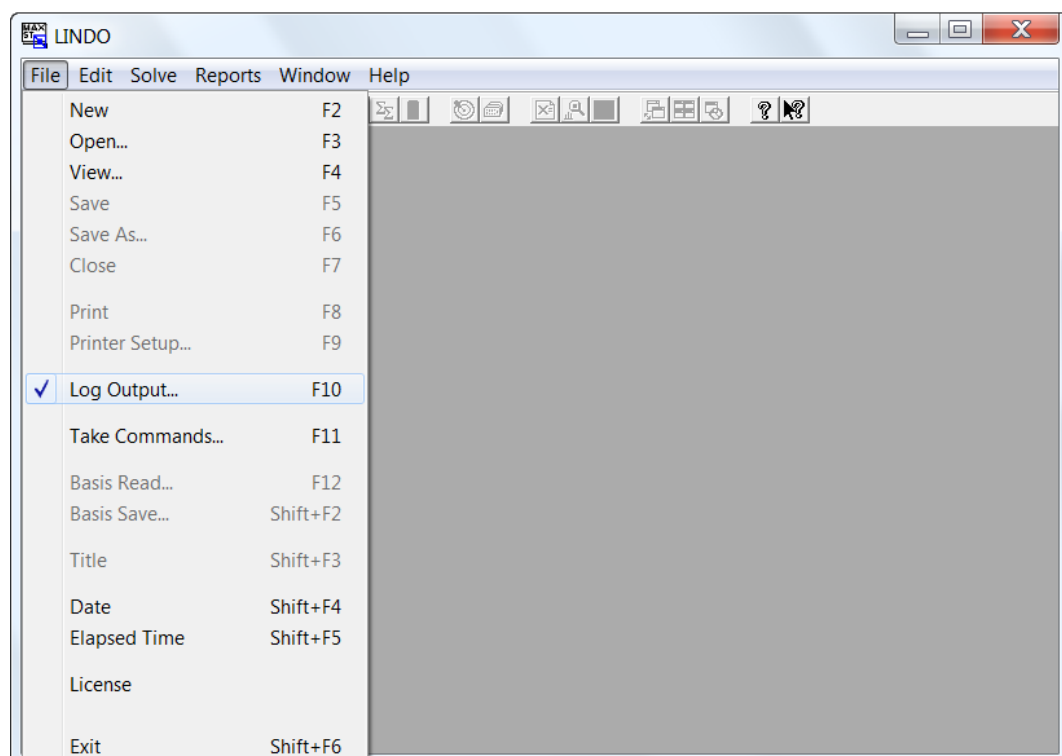


Figure 4.38 Using Log Output Menu (F10) to Save Solutions as a Text File

In Figure 4.39, the mathematical formulation is being opened into LINDO editor as a view-only file. Hence, the mathematical formulation can be rechecked but no change can be made. Figure 4.40 displays the details of the mathematical expression for police patrol zone 1. For zones 2 and 3, the resulting formulations are shown in Figures 4.41 and 4.42, respectively.

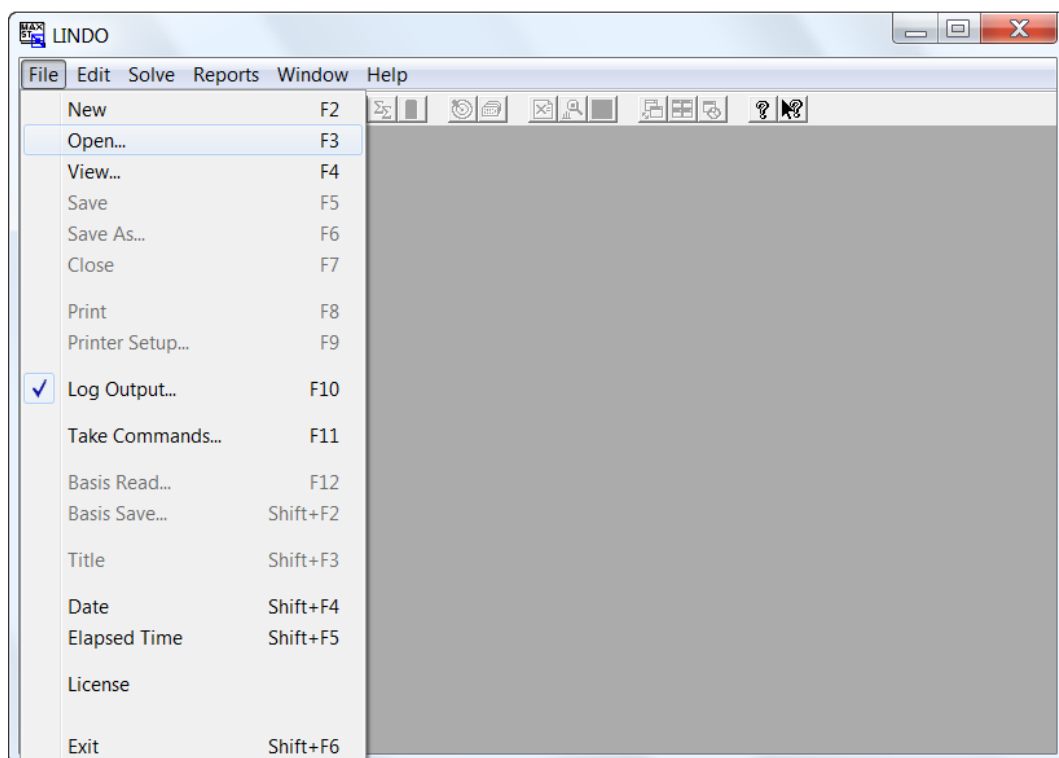


Figure 4.39 Importing Text File by Open (F3) Menu into LINDO Software

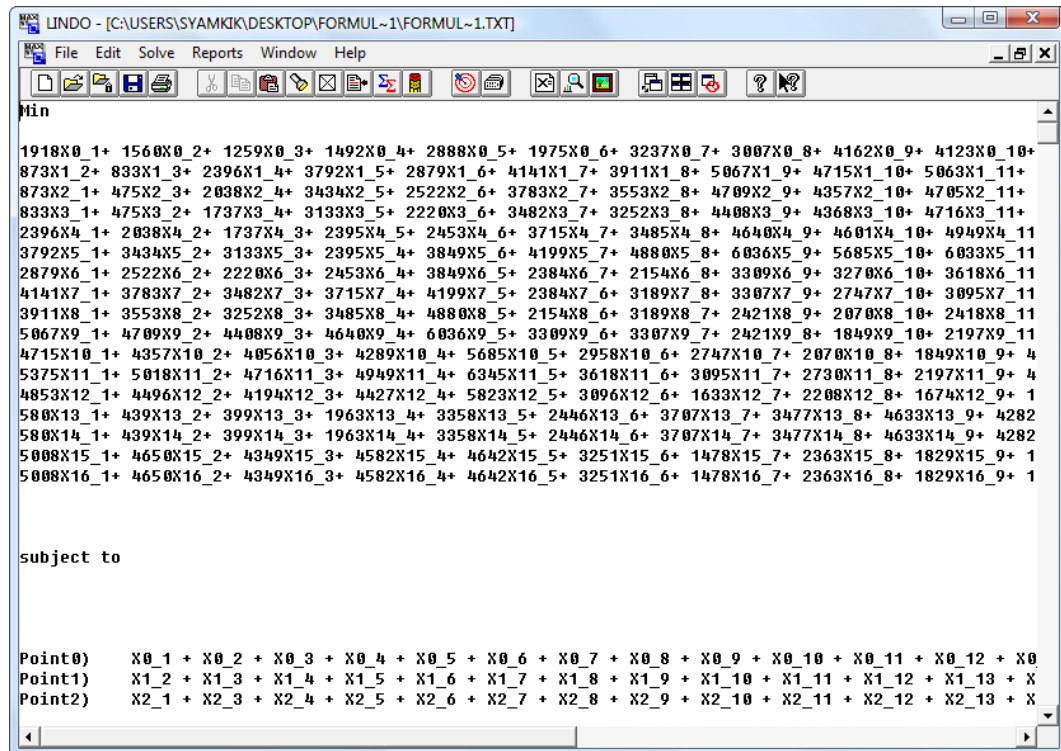


Figure 4.40 Mathematic Formulae of Police Patrol Zone 1 in LINDO Software

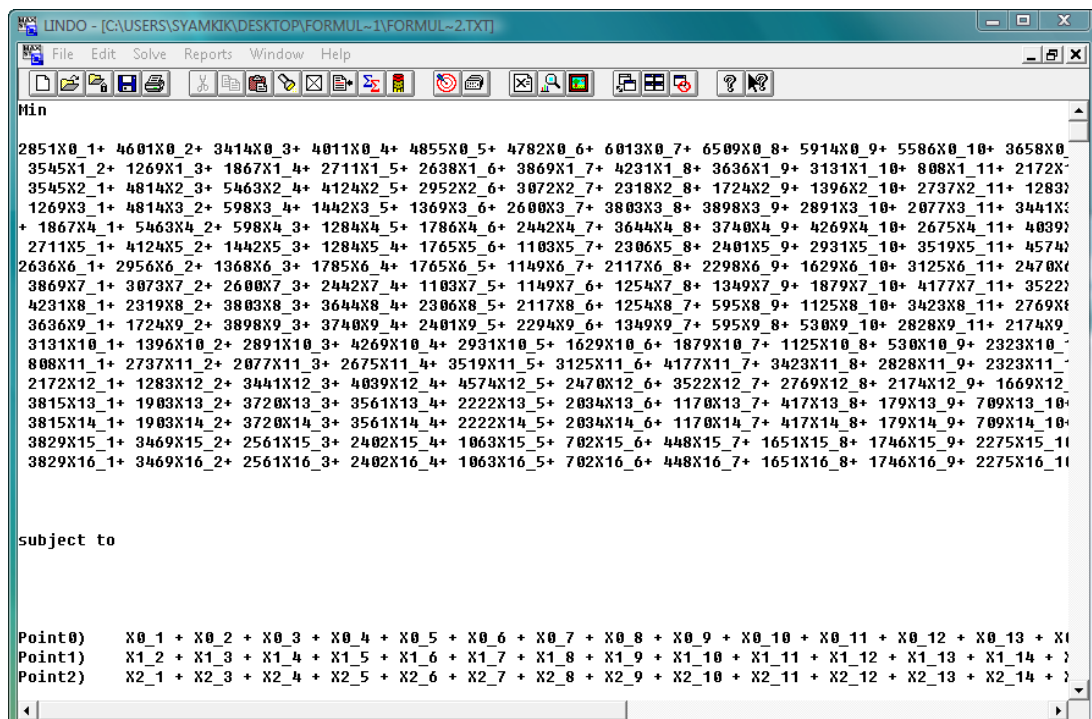


Figure 4.41 Mathematic Formulae of Police Patrol Zone 2 in LINDO Software

Min

810X0_1+	1784X0_2+	2894X0_3+	1118X0_4+	733X0_5+	873X0_6+	2123X0_7+
1233X1_2+	3704X1_3+	1928X1_4+	1543X1_5+	1307X1_6+	2557X1_7+	3939X1_8+
1233X2_1+	4191X2_3+	2902X2_4+	2517X2_5+	2201X2_6+	3531X2_7+	4913X2_8+
3704X3_1+	4191X3_2+	1964X3_4+	2856X3_5+	3766X3_6+	5017X3_7+	6398X3_8+
1928X4_1+	2902X4_2+	1964X4_3+	1080X4_5+	1990X4_6+	3241X4_7+	4623X4_8+
1543X5_1+	2517X5_2+	2856X5_3+	1080X5_4+	1606X5_6+	2856X5_7+	4238X5_8+
1307X6_1+	2281X6_2+	3766X6_3+	1990X6_4+	1606X6_5+	1251X6_7+	2633X6_8+
2557X7_1+	3531X7_2+	5017X7_3+	3241X7_4+	2856X7_5+	1251X7_6+	1382X7_8+
3939X8_1+	4913X8_2+	6398X8_3+	4623X8_4+	4238X8_5+	2633X8_6+	1382X8_8+
3517X9_1+	4491X9_2+	5976X9_3+	4200X9_4+	3816X9_5+	2211X9_6+	960X9_8+
4969X10_1+	5943X10_2+	7428X10_3+	5652X10_4+	5267X10_5+	3662X10_6+	2412X10_8+
5558X11_1+	6533X11_2+	8018X11_3+	6242X11_4+	5857X11_5+	4252X11_6+	3002X11_8+
7057X12_1+	8031X12_2+	9516X12_3+	7740X12_4+	7355X12_5+	5750X12_6+	4500X12_8+
2708X13_1+	3682X13_2+	5167X13_3+	3391X13_4+	3007X13_5+	1402X13_6+	151X13_8+
2708X14_1+	3682X14_2+	5167X14_3+	3391X14_4+	3007X14_5+	1402X14_6+	151X14_8+

Subject to

Point0) $X0_1 + X0_2 + X0_3 + X0_4 + X0_5 + X0_6 + X0_7 + X0_8 + X0_9 + X0_{10} + X0_{11} + X0_{12} + X0_{13} + X0_{14}$

Point1) $X1_2 + X1_3 + X1_4 + X1_5 + X1_6 + X1_7 + X1_8 + X1_9 + X1_{10} + X1_{11} + X1_{12} + X1_{13} + X1_{14} + X1_{15}$

Point2) $X2_1 + X2_3 + X2_4 + X2_5 + X2_6 + X2_7 + X2_8 + X2_9 + X2_{10} + X2_{11} + X2_{12} + X2_{13} + X2_{14} + X2_{15}$

Point3) $X3_1 + X3_2 + X3_4 + X3_5 + X3_6 + X3_7 + X3_8 + X3_9 + X3_{10} + X3_{11} + X3_{12} + X3_{13} + X3_{14} + X3_{15}$

Point4) $X4_1 + X4_2 + X4_3 + X4_5 + X4_6 + X4_7 + X4_8 + X4_9 + X4_{10} + X4_{11} + X4_{12} + X4_{13} + X4_{14} + X4_{15}$

Point5) $X5_1 + X5_2 + X5_3 + X5_4 + X5_6 + X5_7 + X5_8 + X5_9 + X5_{10} + X5_{11} + X5_{12} + X5_{13} + X5_{14} + X5_{15}$

Point6) $X6_1 + X6_2 + X6_3 + X6_4 + X6_5 + X6_7 + X6_8 + X6_9 + X6_{10} + X6_{11} + X6_{12} + X6_{13} + X6_{14} + X6_{15}$

Point7) $X7_1 + X7_2 + X7_3 + X7_4 + X7_5 + X7_6 + X7_8 + X7_9 + X7_{10} + X7_{11} + X7_{12} + X7_{13} + X7_{14} + X7_{15}$

Point8) $X8_1 + X8_2 + X8_3 + X8_4 + X8_5 + X8_6 + X8_7 + X8_9 + X8_{10} + X8_{11} + X8_{12} + X8_{13} + X8_{14} + X8_{15}$

Point9) $X9_1 + X9_2 + X9_3 + X9_4 + X9_5 + X9_6 + X9_7 + X9_8 + X9_{10} + X9_{11} + X9_{12} + X9_{13} + X9_{14} + X9_{15}$

Point10) $X10_1 + X10_2 + X10_3 + X10_4 + X10_5 + X10_6 + X10_7 + X10_8 + X10_9 + X10_{11} + X10_{12} + X10_{13} + X10_{14} + X10_{15}$

Figure 4.42 Mathematic Formulae of Police Patrol Zone 3 in LINDO Software

Text Files of each Police Patrol Zone have been opened into LINDO editor for finding the optimal solution. The results are explained zone-by-zone in the following section.

4.7 Results and Discussion

The solutions obtained from LINDO software can vary depending on the number of checkpoints to be visited by patrol officers and the difference of distance and travel time in each police patrol zone. The solutions for individual police patrol zones are as follows:

4.7.1 Results for Police Patrol Zone 1

The solution for Police Patrol Zone 1 is in the optimal status as shown in Figure 4.43. It took LINDO 1 minutes 33 seconds to find an optimal solution.

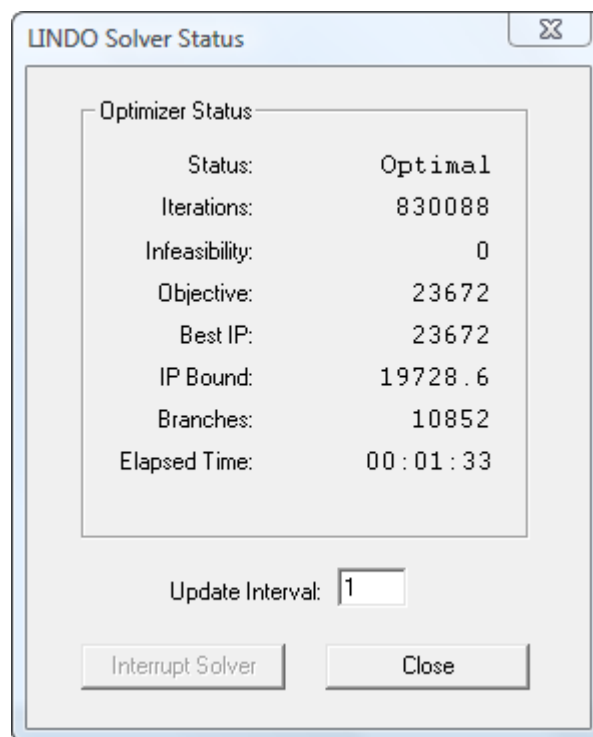


Figure 4.43 LINDO Solver Status for Police Patrol Zone 1

After solving mathematic formulae in Police Patrol Zone 1, LINDO saved the 15,276 KB outputs file. The details of this solution are reported below.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE = 23,672

$X_{0_2} = 1$	$T_0 = 0$	
$X_{2_1} = 1$	$T_2 = 3.63$	
$X_{1_95} = 1$	$T_1 = 9.9$	$W_1 = 164.94$
$X_{95_96} = 1$	$T_{95} = 180$	
$X_{96_3} = 1$	$T_{96} = 210$	
$X_{3_6} = 1$	$T_3 = 210.96$	
$X_{6_8} = 1$	$T_6 = 219.7$	
$X_{8_9} = 1$	$T_8 = 228.63$	
$X_{9_10} = 1$	$T_9 = 237.45$	$W_9 = 116.05$
$X_{10_11} = 1$	$T_{10} = 361.01$	
$X_{11_12} = 1$	$T_{11} = 365.14$	
$X_{12_97} = 1$	$T_{12} = 371.63$	
$X_{97_98} = 1$	$T_{97} = 375$	
$X_{98_7} = 1$	$T_{98} = 420$	
$X_{7_5} = 1$	$T_7 = 425.72$	$W_7 = 21.45$
$X_{5_4} = 1$	$T_5 = 441.75$	
$X_{4_101} = 1$	$T_4 = 473.03$	
	$T_{101} = 480$	

The solution of police patrol in police patrol zone 1 (shift 2) can be summarized in Table 4.26 with 5 columns: Checkpoint Code, Location, Arrival Time, Waiting Time and Service Time. It also provides details on the arrival time to the checkpoints, waiting time and duration of the performance of duty. It is arranged in the sequence from the beginning at Nongkhaem Police Station (origin) until returning to Nongkhaem Police Station (destination).

Table 4.26 Results in Police Patrol Zone 1 (Shift 2)

Checkpoint Code	Checkpoints	Arrival Time	Waiting Time	Service Time
ZONE1_000	NongKhaem Police Station	0		
ZONE1_002	Sa Ran Phon Village	3.63		3
ZONE1_001	Uea Athon Village	9.9	164.94	3
ZONE1_095	Wood Mill	180		30
ZONE1_096	Wood Mill(dummy)	210		
ZONE1_003	Soi Ap Thip	210.96		3
ZONE1_006	Phuttan Village Office	219.7		3
ZONE1_008	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 8	228.63		3
ZONE1_009	Krung Thong Plastic	237.45	116.05	3
ZONE1_010	Sin Phet Condominium	361.01		3
ZONE1_011	Government Housing Bank	365.14		3
ZONE1_012	Yong Charoen Godown	371.63		3
ZONE1_097	Udom Temple	375		45
ZONE1_098	Udom Temple (dummy)	420		
ZONE1_007	Sa Nek Factory	425.72		3
ZONE1_005	Soi Kamnan Chaloem	441.75	21.45	3
ZONE1_004	Soi Chatsan 2	473.03		3
ZONE1_101	Nongkhaem Police Station	480		

In brief, for the solution of the police patrol in police patrol zone 1 (shift 2), the overall distance is 23,672 meters beginning from Nongkhaem Police Station 0 minutes after left from the station.

Arriving at the checkpoint at Sa Ran Phon village 3.63 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Uea Athon Village 9.9 minutes after left from the station and waiting for 164.94 minutes prior to performing duties. The performance of duty takes 3 minutes.

Arriving at the vehicle checkpoint at the Wood Mill 180 minutes after left from the station and performing duties for 30 minutes and departing from the dummy vehicle checkpoint at the wood mill 210 minutes after left from the station.

Arriving at the Checkpoint at Soi Ap Thip 210.96 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Phuttan Village Office 219.7 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Soi Phong Siri Chai 4 Soi8 228.6 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Krung Thong Plastic 237.45 minutes after left from the station and waiting for 116.05 minutes prior to performing duties. The performance of duty takes 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Sin Phet Condominium 361.01 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Government Housing Bank 365.14 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Yong Charoen Godown 371.63 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the vehicle checkpoint at Udom Temple 375 minutes after left from the station and performing duties for 45 minutes and departing from the vehicle checkpoint at Udom Temple (dummy) 420 minutes after left from the station.

Arriving at the checkpoint at Sa Nek Factory 425.72 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Soi Kamnan Chaloem 441.75 minutes after left from the station and waiting for 21.45 minutes prior to performing duties. The performance of duty takes 3 minutes.

Arriving at the Checkpoint at Soi Chatsan2 473.03 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arrive at Nongkhaem Police Station (destination) 480 minutes after left from the station.

For better understanding of police patrol routing in police patrol zone 1 (shift 2), the route function of Network Analyst in ArcMAP software is applied to illustrate the sequence of routes (Figure 4.44). The route clearly shows that the mathematical model gives a reasonable tour passing all checkpoints. Since this is the best (optimal) route, it may be a good benchmark to compare with current practice by patrol officers. Therefore, it is expected that the results of analysis would be beneficial for routing and scheduling police patrol service in practice.

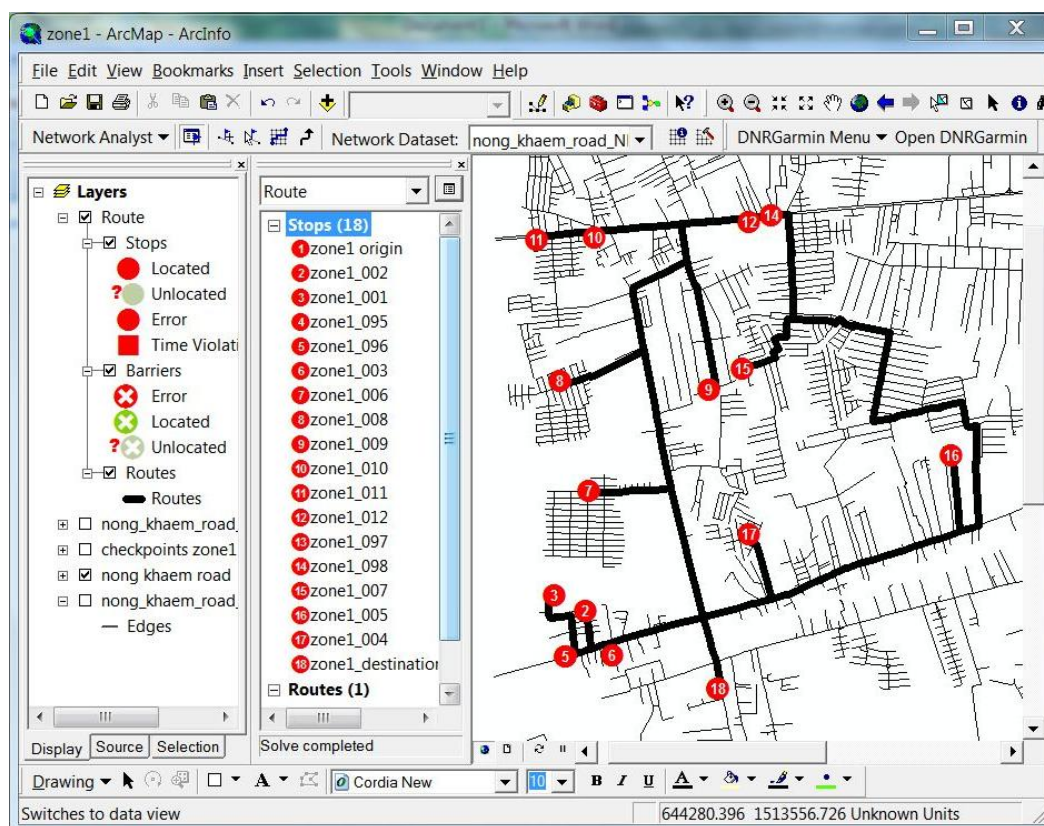


Figure 4.44 Routes Based on the Analysis of Patrol Officers in
Police Patrol Zone 1 (Shift 2)

Further, the route function also provides details on directions, distance and travel time (Figure 4.45). As it is printable, the commander can then use it along with Table 4.26 in designating patrol officers.

Step	Direction	Distance (m)	Time	Map
Route: zone1 origin - zone1 destination 23670.6 m 1 hr 7 min				
1:	Start at zone1 origin			Map
2:	Go north on BANG BON 5 RD. toward LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG TAI RD./SOI PHET KASEM 81 (MA CHAROEN)	187.7 m	< 1 min	Map
3:	Continue on SOI PHET KASEM 81 (MA CHAROEN)	319.1 m	< 1 min	Map
4:	Turn left on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	795.9 m	2 min	Map
5:	Turn right to stay on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	257.3 m	1 min	Map
6:	Arrive at zone1_002, on the right			Map
7:	Depart zone1_002			
8:	Go back south on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	257.3 m	1 min	Map
9:	Turn right at LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD. to stay on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	108.4 m	< 1 min	Map
10:	Turn right on SOI CHAIYASIT 2	262.6 m	1 min	Map
11:	Turn left to stay on SOI CHAIYASIT 2	244 m	< 1 min	Map
12:	Arrive at zone1_001, on the right			Map
13:	Depart zone1_001			
14:	Go back southeast on SOI CHAIYASIT 2	244 m	< 1 min	Map
15:	Turn right at SOI CHAIYASIT 2 to stay on SOI CHAIYASIT 2	262.6 m	1 min	Map
16:	Turn right on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	73.1 m	< 1 min	Map
17:	Arrive at zone1_095, on the left			Map
18:	Depart zone1_095			
19:	Arrive at zone1_096			Map
20:	Depart zone1_096			
21:	Go back east on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	312.2 m	< 1 min	Map
22:	Turn right on SOI APTHIP	86.6 m	< 1 min	Map
23:	Arrive at zone1_003, on the right			Map
24:	Depart zone1_003			
25:	Go back north on SOI APTHIP	86.6 m	< 1 min	Map
26:	Turn right on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	665.2 m	1 min	Map
27:	Turn left on SOI PHET KASEM 81 (MA CHAROEN)	907.1 m	2 min	Map
28:	Turn left to stay on SOI PHET KASEM 81 (MA CHAROEN)	560.8 m	2 min	Map
29:	Arrive at zone1_006, on the right			Map

Figure 4.45 Detail of Routes Based on the Analysis by Patrol Officers in Police Patrol Zone 1 (Shift 2)

The waiting time prior to performing duties based on route estimation may benefit the commander in other way too. For example, the commander may designate the patrol officers to gather information and news as well as to pursue community relations. In this regard, the patrol officers may be allowed to manage their own time or demanded to perform their duties in each checkpoints within the specified time as their commander may see fit.

In doing so, it may facilitate the commander in formulating his desired plan for crime prevention and suppression. Meanwhile, fuel saving is also realized because the patrol officers do go in the wrong way. Rather, some results have been

adjusted for more conformity to the actual situation. Consequently, it can be said that the results from mathematical modeling is a decision support tool for the commander.

4.7.2 Results for Police Patrol Zone 2

The solution for Police Patrol Zone 2 is in the optimal status as described in Figure 4.46. It took LINDO only 5 seconds in finding this optimal solution.

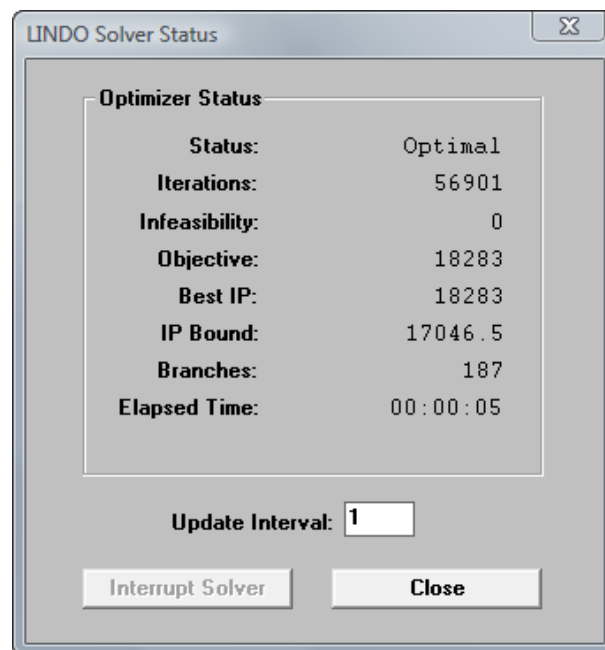


Figure 4.46 LINDO Solver Status for Police Patrol Zone 2

After solving the mathematical formulation in Police Patrol Zone 2, LINDO software saved the 147 KB output text file. The details of this solution are shown below.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE = 18,283

$X_{0_3} = 1$	$T_0 = 0$	
$X_{3_4} = 1$	$T_3 = 6.84$	
$X_{4_5} = 1$	$T_4 = 11.48$	
$X_{5_6} = 1$	$T_5 = 18.44$	
$X_{6_92} = 1$	$T_6 = 26.71$	$W_6 = 146.47$
$X_{92_93} = 1$	$T_{92} = 180$	

$X_{93_7} = 1$	$T_{93} = 210$	
$X_{7_8} = 1$	$T_7 = 211.45$	$W_7 = 137.71$
$X_{8_88} = 1$	$T_8 = 355.6$	
$X_{88_89} = 1$	$T_{88} = 360$	
$X_{89_9} = 1$	$T_{89} = 420$	$W_{89} = 19.4$
$X_{9_10} = 1$	$T_9 = 439.83$	
$X_{10_2} = 1$	$T_{10} = 444.38$	
$X_{2_12} = 1$	$T_2 = 451.27$	
$X_{12_11} = 1$	$T_{12} = 459.39$	
$X_{11_1} = 1$	$T_{11} = 466.22$	
$X_{1_9} = 1$	$T_1 = 471.16$	
	$T_{98} = 480$	

The solution of police patrol in police patrol zone 2 (shift 2) can be summarized in Table 4.27 with 5 columns: Checkpoint ID, Location, Arrival Time, Waiting Time and Service Time. It also provides details on the arrival time to checkpoint, waiting time and duration of the performance of duty. It is arranged in the sequence from the beginning at Nongkhaem Police Station (origin) and returning to Nongkhaem Police Station (destination).

Table 4.27 Results in Police Patrol Zone 2 (Shift 2)

Checkpoint Code	Checkpoints	Arrival Time	Waiting Time	Service Time
ZONE2_000	NongKhaem Police Station	0		0
ZONE2_003	Khunmae Shop	6.84		3
ZONE2_004	Wo Rat Co. ,Ltd.	11.48		3
ZONE2_005	Soi Chotchuang	18.44		3
ZONE2_006	Wutthi's House	27.71	146.47	3
ZONE2_092	Soi Nak Sathaphorn 2	180		30
ZONE2_093	Soi Nak Sathaphorn 2 (Dummy)	210		0
ZONE2_007	69 Aluminium Co. ,Ltd.	211.45	137.71	3
ZONE2_008	37/54 Soi Phet Kasem 71	355.6		3
ZONE2_088	Opposite Carrefour	360		60
ZONE2_089	Opposite Carrefour (Dummy)	420	19.4	0
ZONE2_009	Toyota Co. ,Ltd.	439.83		3
ZONE2_010	Nakhon Phet Kasem Market	444.38		3
ZONE2_002	Phet Kasem1 Village	451.27		3
ZONE2_012	Soi Prem Pri 1	459.39		3
ZONE2_011	Opposite Phai Thun's House	466.22		3
ZONE2_001	Sia Nam's House	471.16		3
ZONE2_098	Nongkhaem Police Station	480		0

In brief, for the optimal solution of the police patrol in police patrol zone 2 (shift 2), the overall distance is 18,283 meters beginning from Nongkhaem Police Station 0 minutes after left from the station.

Arriving at the checkpoint at Khunmae Shop 6.84 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Wo Rat Co. ,Ltd.11.48 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Soi Chotchuang 18.44 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Wutthi's House 27.71 minutes after left from the station and waiting for 146.47 minutes prior to performing duties - the performance of duty takes 3 minutes.

Arriving at the vehicle checkpoint at Soi Nak Sathaphorn2 180 minutes after left from the station and performing duties for 30 minutes and departing from the checkpoint at Soi Nak Sathaphorn 2 (dummy) 210 minutes after left from the station.

Arriving the checkpoint at 69 Aluminium Co. ,Ltd. 211.45 minutes after left from the station and waiting for 137.71 minutes prior to performing duties - the performance of duty takes 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at 37/54 Soi Phet Kasem71 355.6 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes

Arriving at the vehicle checkpoint opposite to Carrefour Supermarket 360 minutes after left from the station and performing duties for 60 minutes – the performance of duty at the vehicle checkpoint opposite to Carrefour Supermarket finished 420 minutes after left from the station. Then, the waiting time is 19.4 minutes.

Arriving at the checkpoint at Toyota Co. ,Ltd. 439.83 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Nakhon Phet Kasem Market 444.38 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Phet Kasem 1 Village 451.27 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Soi Prem Pri1 459.38 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint Opposite Phai Thun's House 466.22 after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Sia Nam's House 471.16 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at NongKhaem Police Station (destination) 480 minutes after left from the station.

For better understanding of police patrol in police patrol zone 2 (shift 2), the route function of Network Analyst in ArcMAP software is applied to illustrate the sequence of routes based on the results (Figure 4.47). Routes are numerated. Again, the route clearly shows that the mathematical model gives a reasonable tour passing all checkpoints. Since this is the best (optimal) route, it may be a good benchmark to compare with current practice by patrol officers. Therefore, it is expected that the results of analysis would be beneficial for routing and scheduling police patrol service in practice.

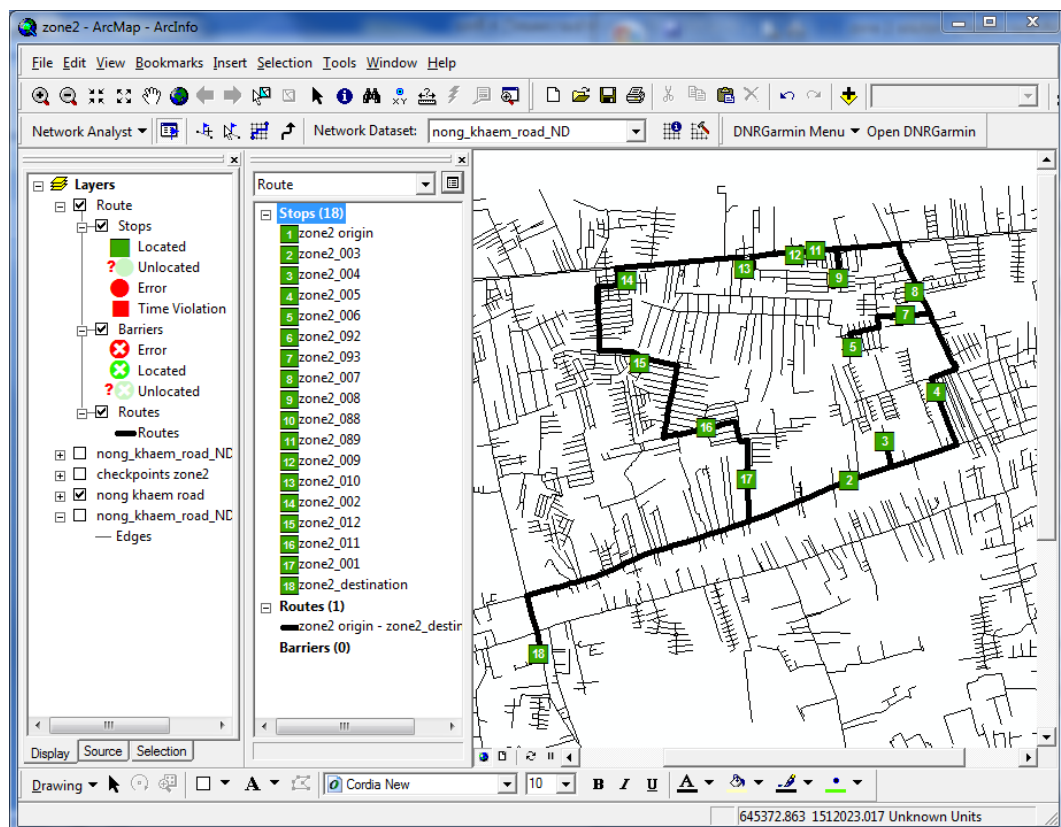


Figure 4.47 Routes Based on the Analysis of Patrol Officers in
Police Patrol Zone 2 (Shift 2)

Further, the route function also provides details on directions, distance and travel time (Figure 4.48). As it is printable, the commander can then use it along with Table 4.27 in designating patrol officers.

Step	Direction	Distance (m)	Time (min)
1	Start at zone2 origin		
2	Go north on BANG BON 5 RD. toward LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG TAI RD./SOI PHET KASEM 81 (MA CHAROEN)	187.7 m	< 1 min
3	Continue on SOI PHET KASEM 81 (MA CHAROEN)	319.1 m	< 1 min
4	Turn right on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	695.1 m	1 min
5	Continue to stay on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	2211.1 m	4 min
6	Arrive at zone2_003, on the right		
7	Depart zone2_003		
8	Continue east on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	12 m	< 1 min
9	Continue to stay on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	366.1 m	< 1 min
10	Turn left on SOI SUNTHON 4	219.7 m	< 1 min
11	Arrive at zone2_004, on the left		
12	Depart zone2_004		
13	Go back south on SOI SUNTHON 4	219.7 m	< 1 min
14	Turn left on LIAP KHLONG PHASI CHAROEN FANG NUEA RD.	580.8 m	1 min
15	Turn left on SOI CHOT CHUANG	482.6 m	2 min
16	Arrive at zone2_005, on the right		
17	Depart zone2_005		
18	Continue north on SOI CHOT CHUANG	125.8 m	< 1 min
19	Turn right	221 m	< 1 min
20	Turn left on SOI PHET KASEM 69	512.2 m	1 min
21	Turn left on SOI NAK SATHAPHON 2	445 m	2 min
22	Turn left on SOI NAK SATHAPHON 1	99.7 m	< 1 min
23	Turn right to stay on SOI NAK SATHAPHON 1	66.6 m	< 1 min
24	Continue to stay on SOI NAK SATHAPHON 1	182 m	< 1 min
25	Turn left to stay on SOI NAK SATHAPHON 1	111.6 m	< 1 min
26	Arrive at zone2_006, on the left		
27	Depart zone2_006		
28	Go back north on SOI NAK SATHAPHON 1	111.6 m	< 1 min
29	Turn right at SOI NAK SATHAPHON 1 to stay on SOI NAK	182 m	< 1 min

Figure 4.48 Detail of Routes Based on the Analysis by Patrol Officers in Police Patrol Zone 2 (Shift 2)

When compared to Police Patrol Zone 1, long waiting time prior to performing duties is also found in certain checkpoints in Police Patrol Zone 2. Thus, the same practice is applied.

4.7.3 Results for Police Patrol Zone 3

The solution for police patrol zone 3 is in the optimal status as described in Figure 4.49. It took LINDO 1 minute 25 seconds in finding this solution.

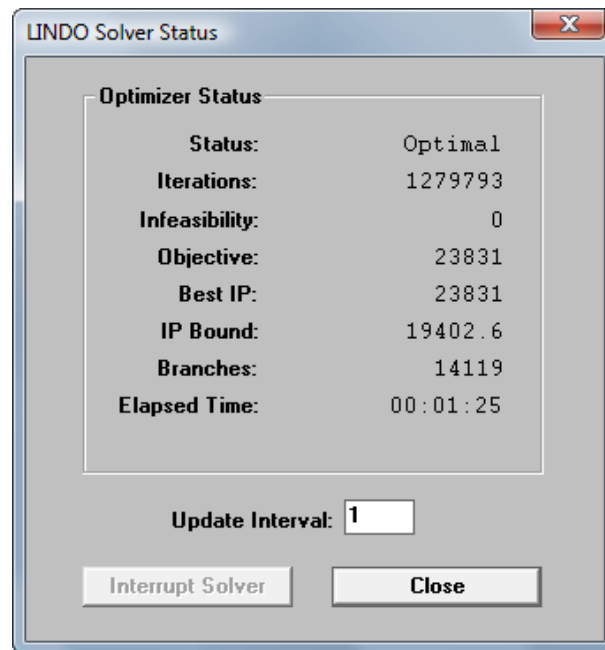


Figure 4.49 LINDO Solver Status for Police Patrol Zone 3

After finished solving mathematical model for police patrol zone 3, LINDO saved a 17,048 KB text file onto the hard disk. The details of this solution are as follows:

OBJECTIVE FUNCTION VALUE = 23,831

$X_{0_5} = 1$	$T_0 = 0$	
$X_{5_4} = 1$	$T_5 = 2.18$	
$X_{4_3} = 1$	$T_4 = 8.42$	
$X_{3_2} = 1$	$T_3 = 17.27$	
$X_{2_1} = 1$	$T_2 = 30.48$	
$X_{1_6} = 1$	$T_1 = 35.99$	
$X_{6_7} = 1$	$T_6 = 42.14$	
$X_{7_9} = 1$	$T_7 = 48.15$	
$X_{9_10} = 1$	$T_9 = 53.46$	$W_9 = 325.95$
	$T_{10} = 386.37$	

$$\begin{array}{ll}
 X_{10_11} = 1 & T_{11} = 391.34 \\
 X_{11_12} = 1 & T_{12} = 398.83 \\
 X_{12_8} = 1 & T_8 = 414.51 \\
 X_{8_77} = 1 & T_{77} = 420 \\
 X_{77_78} = 1 & T_{78} = 450 \\
 X_{78_85} = 1 & T_{85} = 480
 \end{array}
 \qquad W_{10} = 24.61$$

The solution to the routing and scheduling of police patrol service in police patrol zone 3 (shift 2) can be summarized in Table 4.28 with 5 columns, namely, Checkpoint ID, Location, Arrival Time, Waiting Time and Service Time. It also provides details on the arrival time to checkpoint, waiting time and duration of the performance of duty. It is arranged in the sequence from the beginning at Nongkhaem Police Station (origin) until returning to Nongkhaem Police Station (destination).

Table 4.28 Results in Police Patrol Zone 3 (Shift 2)

Checkpoint Code	Checkpoint	Arrival Time	Waiting Time	Service Time
ZONE3_000	Nongkhaem Police station	0		
ZONE3_005	Kanda Village	2.18		3
ZONE3_004	Soi Phun Suk	8.42		3
ZONE3_003	Soi Phra Pin4 Soi 13/2	17.27		3
ZONE3_002	Phet Kasem College	30.48		3
ZONE3_001	Wat Nongkhaem School	35.99		3
ZONE3_006	45/6 Fang Tai Road	42.14		3
ZONE3_007	Thawi Suk Farm	48.15		3
ZONE3_009	Na Ko Ya Factory	53.46	325.95	3
ZONE3_010	Modern Factory	386.37		3
ZONE3_011	Phet Minimart	391.34		3
ZONE3_012	Soi Chaiyo	398.83		3
ZONE3_008	Pan Factory	414.51		3
ZONE3_077	Lak Sam Temple	420		30
ZONE3_078	Lak Sam Temple (dummy)	450	24.61	
ZONE3_085	Nongkhaem Police Station	480		

In brief, for the optimal solution of the police patrol in police patrol zone 3 (shift 2) reported the overall distance of 23,840 meters beginning from Nongkhaem Police Station 0 minutes after left from the station.

Arriving at the checkpoint at Kanda Village 2.18 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Soi Phun Suk 8.42 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Soi Phra Pin 4 Soi 13/2 17.27 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Phet Kasem College 30.48 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Wat Nongkhaem School 35.99 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at 45/6, Fang Tai Road 42.14 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Thawi Suk Farm 48.15 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Na Ko Ya Factory 53.46 minutes after left from the station and waiting for 325.95 minutes prior to performing duties - the performance of duty takes 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Modern Factory 386.37 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Phet Minimart 391.34 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Soi Chaiyo 398.83 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the checkpoint at Pan Factory 414.51 minutes after left from the station and performing duties for 3 minutes.

Arriving at the vehicle checkpoint 420 minutes after left from the station and performing duties for 30 minutes - the performance of duty at the vehicle checkpoint opposite to Carrefour Supermarket finished 450 minutes after left from the station. Then, the waiting time is 24.61 minutes.

Returned to Nongkhaem Police Station (destination) 480 minutes after left from the station.

For better understanding of police patrol in police patrol zone 3 (shift 2), the route function of Network Analyst in ArcMAP software is applied to illustrate the sequence of routes based on the optimal solution (Figure 4.50). Routes are numbered. The route clearly shows that the mathematical model gives a reasonable tour passing all checkpoints. Since this is the best (optimal) route, it may be a good benchmark to compare with current practice by patrol officers. Therefore, it is expected that the results of analysis would be beneficial for routing and scheduling police patrol service in practice.

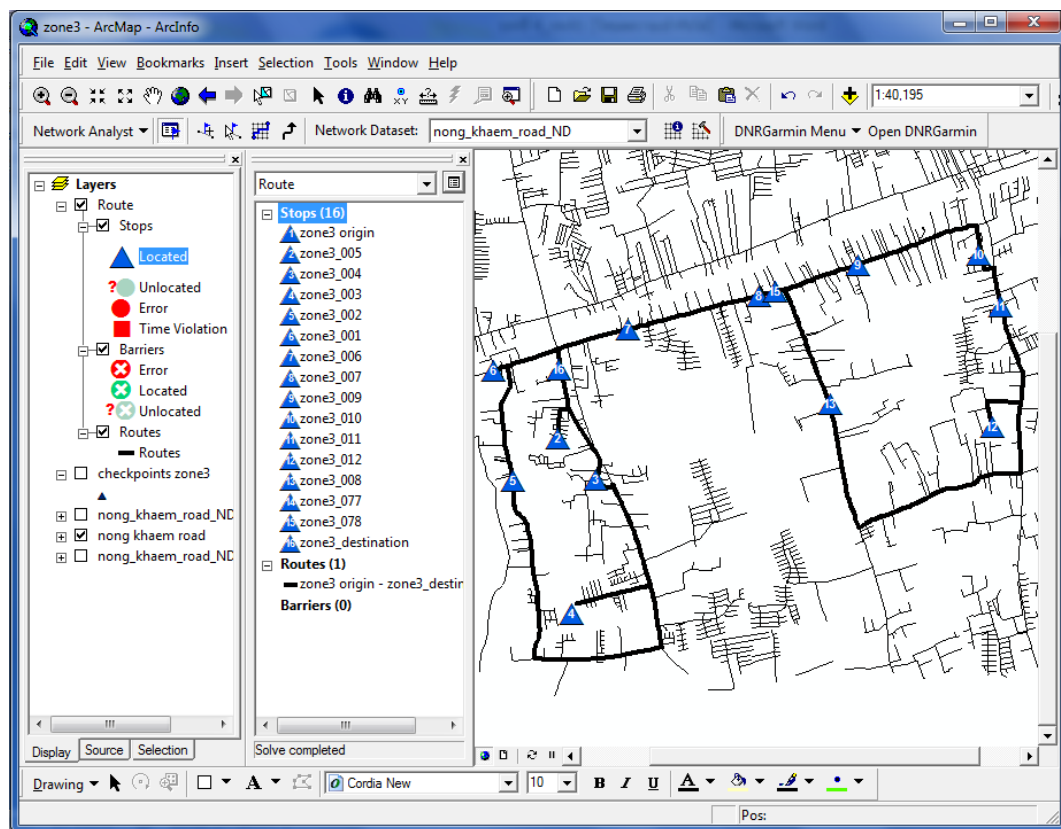


Figure 4.50 Routes Based on the Analysis of Patrol Officers in
Police Patrol Zone 3 (Shift 2)

When compared to Police Patrol Zone 1, long waiting time prior to performing duties is also found in certain checkpoints in Police Patrol Zone 3. Thus, the same practice is applied.

Further, results from running the route function also provide details on directions, distance and travel time (Figure 4.51). As it is printable, the commander can then use it along with Table 4.28 in designating patrol officers

Step	Direction	Distance (m)	Travel Time
1	Start at zone3 origin		
2	Go South on BANG BON 5 RD. toward SOI WUTTHISUK	385.8 m	< 1 min
3	Make sharp right on SOI CHUEN CHOM	87.5 m	< 1 min
4	Turn left to stay on SOI CHUEN CHOM	259.7 m	1 min
5	Arrive at zone3_005, on the right		
6	Depart zone3_005		
7	Go back North on SOI CHUEN CHOM	259.7 m	1 min
8	Turn right at SOI CHUEN CHOM to stay on SOI CHUEN CHOM	87.5 m	< 1 min
9	Turn right on BANG BON 5 RD.	547.8 m	1 min
10	Bear right on SOI PHUN SUK	184.3 m	< 1 min
11	Arrive at zone3_004, on the right		
12	Depart zone3_004		
13	Continue South West on SOI PHUN SUK	31.3 m	< 1 min
14	Continue on SOI SUWAN NAKHON	226.2 m	< 1 min
15	Make sharp right on BANG BON 5 RD.	992 m	2 min
16	Turn right to stay on BANG BON 5 RD.	714.4 m	3 min
17	Arrive at zone3_003, on the left		
18	Depart zone3_003		
19	Go back East on BANG BON 5 RD.	714.4 m	3 min
20	Turn right at BANG BON 5 RD. to stay on BANG BON 5 RD.	588.9 m	1 min
21	Turn right on SOMDET PHRA NARESUAN MAHARAT 1 RD.	882 m	2 min
22	Continue	300.7 m	< 1 min
23	Turn right	248.4 m	< 1 min
24	Continue on SOI WAT SINUAN	1455.9 m	3 min
25	Arrive at zone3_002, on the right		
26	Depart zone3_002		
27	Continue North on SOI WAT SINUAN	1103.3 m	2 min

Figure 4.51 Detail of Routes Based on the Analysis by Patrol Officers in Police Patrol Zone 3 (Shift 2)

According to the results of study, the time in finding an optimal solution for police patrol zone 2 is the shortest as compared to zones 1 and 3. The amount of computing time for three zones is not very long. Next, the attempt to route and schedule the patrol service through all kinds of checkpoints will be conducted. Practically speaking, this may be useful for manpower planning. From the technical standpoint, it is also useful for studying the behavior of a larger routing and scheduling of police patrol service problem.

4.8 Routing and Scheduling of Police Patrol Service Through All Checkpoints

The arrangement of police patrol plan and route across all 12 main checkpoints and the establishment of vehicle checkpoints have been examined in Sections 4.5, 4.6 and 4.7. Satisfactory results have been achieved. In this Section, it is the experiment on the arrangement of police patrol plan and route by adding more checkpoints (red-box, bank and gold smiths checkpoints) into the mathematical model on one-by-one basis. LINDO then has been executed to find the solutions when the number of checkpoints is continually increased. One-by-one increase of checkpoint (not all at once) has been pursued since the huge number of checkpoints, as in this case, is expected to become a very difficult problem (NP-Hard) to solve. Optimization computer package may likely be unable to yield the optimal solution. Consequently, one-by-one increase may allow the author to study the behaviors of this particular problem such as the growth of computing time, size of output file and the reduction in waiting time and so on.

The solutions are categorized into three groups according to the police patrol zoning. At the beginning, the solutions in Sections 4.5, 4.6 and 4.7 are based on 12 checkpoints and the other two vehicle checkpoints with time constraint. When LINDO finds the solution, the patrol route will be re-arranged and a checkpoint will be added one by one until it becomes impossible to find the solution. In this regard, the behavior of optimal solution for any problem size can be studied. If the mathematical model is capable for the arrangement of police patrol plan and route that cover all checkpoints within the period of 8 hours, it means that patrol officers can visit all of them too. In contrast, if such arrangement fails to cover all checkpoints for 8-hour shift, it may probably imply the maximum number of checkpoints that police patrol can actually visit in each shift. Other managerial techniques (e.g. increasing the number of patrol officers and re-organizing the police patrol zone) may then be necessary to deal with excess number of checkpoints for the full coverage. The study on issues mentioned above will be discussed as follows:

4.8.1 Increased Number of Checkpoints

The number of checkpoints has been increased one by one. The added checkpoint is randomly selected in order to prevent possible bias and the concentration of checkpoints in one particular area. Such increase is shown in Tables 4.29, 4.30 and 4.31 for Police Patrol Zone 1, 2 and 3, respectively.

Table 4.29 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 1

No.	Checkpoint ID	Location
1	zone1_057	Soi Watchara Home 2
2	zone1_016	Kaeo Factory
3	zone1_067	35/132 Soi Chatsan 2
4	zone1_021	39/4 Hansa 5 Village
5	zone1_075	Flat
6	zone1_060	7-Eleven (Hansa Village Branch)
7	zone1_019	Hansa 5 Village
8	zone1_032	Soi Khun Khachon
9	zone1_046	7-Eleven (Soi 79 Branch)
10	zone1_070	Soi Chuan Sanit
11	zone1_083	To Kang Goldsmiths
12	zone1_034	Badminton Court
13	zone1_053	Ya Kan Yung House
14	zone1_024	Soi Phut Tan 3/2
15	zone1_052	Ma Ma Town House
16	zone1_077	79/426 Hansa 5 Village
17	zone1_069	57/259 Hansa 1 Village
18	zone1_039	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 29
19	zone1_026	Me Na Pho Rented Room
20	zone1_074	Thana Phi Rom Village
21	zone1_080	Phet Kasem 79 Soi 27
22	zone1_076	35/79 Chatsan 2 Village

Table 4.29 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 1 (cont.)

No.	Checkpoint ID	Location
23	zone1_035	Lek Munwian Factory
24	zone1_064	Phong Siri Chai Village
25	zone1_087	UOB Bank
26	zone1_029	Chu Rada Jeweler
27	zone1_023	Si Mongkhon
28	zone1_047	Khrueang Ngoen Soi 79
29	zone1_043	Thai VP Factory
30	zone1_078	Car Wash
31	zone1_058	Soi Phet Kasem 79 Soi 17
32	zone1_068	Land Office
33	zone1_048	19 Hong Rented Room
34	zone1_079	Chatsan 2 Village Minimart
35	zone1_054	Thong Thai Row House
36	zone1_066	4/146 Soi Watchara Home
37	zone1_036	72/111-2 Khang Rungrot
38	zone1_055	Yen Chit
39	zone1_081	Thai Seng Heng Goldsmiths
40	zone1_022	Soi Chan In
41	zone1_084	Siri Mongkhon Goldsmiths
42	zone1_027	Chuan Thawin Apartmemt
43	zone1_082	Muk Mani Goldsmiths
44	zone1_018	PK Garage
45	zone1_065	Chinda Wet Factory
46	zone1_013	Hansa Factory
47	zone1_072	Sub Power Plant
48	zone1_071	Phet Kasem 81 Clinic
49	zone1_073	Soi Ma Ma
50	zone1_044	Chuan Chuen Village

Table 4.29 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 1 (cont.)

No.	Checkpoint ID	Location
51	zone1_033	Soi Phong Siri Chai 4 Soi 28
52	zone1_063	Hansa 4 Village
53	zone1_061	72/133 Khang Rungrot
54	zone1_030	Soi Watchara Home 1
55	zone1_037	Saeng Thana Furniture
56	zone1_051	Printing House Soi 79
57	zone1_049	Phat Cha Ra Loha Phan Factory
58	zone1_028	Han Tha Wat
59	zone1_041	PT Gas Station
60	zone1_017	UB Factory
61	zone1_085	Rattana Suwan Goldsmiths
62	zone1_020	Thong Thai Factory
63	zone1_045	PTT Gas Station
64	zone1_015	Ya Kan Yung Factory
65	zone1_088	Siam Commercial Bank
66	zone1_086	Thep Mongkhon Goldsmiths
67	zone1_062	Nakhon Rin Factory
68	zone1_038	Bangkok Foam
69	zone1_042	Phut Tan Camp
70	zone1_040	Khun Khachon Junk Shop
71	zone1_056	Chu Chit Rented Room
72	zone1_025	Printing House Soi 79
73	zone1_090	Kasikorn Bank
74	zone1_059	Dao Den House
75	zone1_014	Sin Thai Factory
76	zone1_089	ALC Bank
77	zone1_031	Klom Chai Godown
78	zone1_050	Soi Phet Kasem 79 Soi 15

Table 4.30 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 2

No.	Checkpoint ID	Location
1	zone2_060	Soi Prem Pri 2
2	zone2_071	No Entrance Co. ,Ltd.
3	zone2_037	Siri Thai Co. ,Ltd.
4	zone2_068	Opposite Wutthi's House 2
5	zone2_041	Bun Chai's House
6	zone2_070	Lee Apartment
7	zone2_017	Yawata Co. ,Ltd.
8	zone2_056	Opposite Wutthi's House 1
9	zone2_055	Soi Rattana Sen
10	zone2_022	Phon Thawi Wat 1 Condominium
11	zone2_074	Soi Sawat Di Ka 2 Soi 13
12	zone2_032	Soi Sawatdikan 2 Soi 20 (1)
13	zone2_038	Phuttha Rak House
14	zone2_042	Ngi Thai Factory
15	zone2_080	Khun Sawat Factory
16	zone2_035	Sa Thi Ta Apartment
17	zone2_086	Krung Si Ayutthaya Bank
18	zone2_083	Chai Mongkhon 3 Goldsmiths
19	zone2_014	Factory at Soi Phet Kasem77
20	zone2_048	Sawatdikan Plastic Co. ,Ltd.
21	zone2_049	Sakhon Pan Sin Dormitory
22	zone2_015	309 Phet Kasem1 Village
23	zone2_051	Opposite Ngi Thai Co. ,Ltd.
24	zone2_054	Gravia Co. ,Ltd.
25	zone2_076	Sin Siam

Table 4.30 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 2 (cont.)

No.	Checkpoint ID	Location
26	zone2_067	Paper Factory
27	zone2_082	Yaowarat Goldsmiths
28	zone2_016	Soi Sawatdikan 1 Soi 6
29	zone2_045	Soi Prem Pri 2
30	zone2_034	17/3 Soi Phet Kasem77 Soi 4-9
31	zone2_053	Silver Art Co. ,Ltd.
32	zone2_030	Am Ma Rin Apartment
33	zone2_065	Arun Thong Village
34	zone2_059	Hia Ho's House
35	zone2_039	Nam Saeng Co. ,Ltd.
36	zone2_019	Harvest moon Restaurant
37	zone2_025	Rangsan's House
38	zone2_081	SP Apartment
39	zone2_020	Asia Factory
40	zone2_046	77 Apartment
41	zone2_064	Lap Pet Nong Khai Restaurant
42	zone2_087	CIMB bank
43	zone2_069	Ngi Thai dormitory
44	zone2_036	Nam Saeng dormitory
45	zone2_024	Aphi Rue Di Co. ,Ltd.
46	zone2_018	Plate Factory
47	zone2_031	Soi Sawatdikan 2 Soi 18
48	zone2_043	Khwan Thip Mansion
49	zone2_044	Phong Sak Mansion
50	zone2_084	Thawi Chai 9 Goldsmiths

Table 4.30 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 2 (cont.)

No.	Checkpoint ID	Location
51	zone2_072	257 Soi Phet Kasem 73/1
52	zone2_021	PTR Phon Charoen Co. ,Ltd.
53	zone2_066	Thi Pha Wan Apartment
54	zone2_073	The House
55	zone2_063	Khiam Heng Pho Co. ,Ltd.
56	zone2_052	Phichai Yon Co. ,Ltd.
57	zone2_040	Yu Thong Co. ,Ltd.
58	zone2_057	Jpect Knitting Factory
59	zone2_075	Don Ya House
60	zone2_085	Krungthai Bank
61	zone2_028	ASK Co. ,Ltd.
62	zone2_058	Machine Shop
63	zone2_062	Sitthi Phon Co. ,Ltd.
64	zone2_078	Suppha Wan 4 Village
65	zone2_026	Chom Chao's House
66	zone2_033	Soi Sawatdikan 2 Soi 20 (2)
67	zone2_077	Charoen Minimart
68	zone2_047	S & R Footware Factory
69	zone2_029	Charoen Apartment
70	zone2_013	Premier Co. ,Ltd.
71	zone2_023	ALK Co. ,Ltd.
72	zone2_027	Soi Phet Kasem 77 Soi 3-10
73	zone2_050	Phitsa Man1-2 Row House
74	zone2_061	Rung Sawang Place
75	zone2_072	257 Soi Phet Kasem 73/1
76	zone2_079	Salini House

Table 4.31 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 3

No.	Checkpoint ID	Location
1	zone3_017	Nitta Ya Factory
2	zone3_070	Opposite Phet Samut Co. ,Ltd.
3	zone3_062	Paichue 2 House
4	zone3_066	Sunthon 5 Village
5	zone3_060	Sombun Phon Rented Room
6	zone3_016	Kaeo Restaurant
7	zone3_028	Phai Lot Factory
8	zone3_026	Chai Charoen Co. ,Ltd.
9	zone3_036	Soi Kuan Im
10	zone3_050	Soi Thong Niam 1
11	zone3_072	Kim Sek Heng Goldsmiths
12	zone3_024	Soi Phet Monthon 11
13	zone3_069	Air produce Co. ,Ltd.
14	zone3_037	Soi Chuea Suan
15	zone3_032	Soi Phun Suk 1
16	zone3_059	Hutsa Chemical Factory
17	zone3_064	Sock Factory
18	zone3_068	Furniture
19	zone3_033	Soi Kanda 7
20	zone3_048	Soi Wan Samroeng
21	zone3_055	Soi Prasoet
22	zone3_042	Yaem Phaka Nai
23	zone3_071	Rim Nam Condominium
24	zone3_074	Krungthai Bank
25	zone3_040	Satin Factory

Table 4.31 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 3 (cont.)

No.	Checkpoint ID	Location
26	zone3_021	Soi Thana Suk 1
27	zone3_030	Phaisan Co. ,Ltd.
28	zone3_018	Khaep Mu Factory
29	zone3_067	Bi Sian Co. ,Ltd.
30	zone3_054	Bench Phon Village
31	zone3_034	Soi Sathit
32	zone3_058	Rakhang Thong Rented Room
33	zone3_029	Soi Suwan Khon
34	zone3_051	Soi Chawalit
35	zone3_039	Chan Charan Co. ,Ltd.
36	zone3_046	Pa Chuk's House
37	zone3_027	Kaona Co. ,Ltd.
38	zone3_023	Kitti Ya Village
39	zone3_015	Green Act Factory
40	zone3_073	Chai Mongkhon 2 Goldsmiths
41	zone3_057	Sombun Phon's House
42	zone3_061	Paichue 1 House
43	zone3_047	Thai Phet Factory
44	zone3_056	Suea Dek Factory
45	zone3_014	Powder Factory
46	zone3_020	Soi Phra Pin4 Soi 6
47	zone3_043	Lat Da Rom Village
48	zone3_065	Thian Saeng Thip Co. ,Ltd.
49	zone3_022	Thana Suk Village
50	zone3_038	C B S Co. ,Ltd.

Table 4.31 Sequence of the Increased Checkpoints in Police Patrol Zone 3 (cont.)

No.	Checkpoint ID	Location
51	zone3_019	Soi Phra Pin4 Soi 11
52	zone3_052	Sawa Kon Kodang
53	zone3_025	Phet Monthon Village
54	zone3_049	Sai Thip Village
55	zone3_035	Hia Chua House
56	zone3_013	Phon Phen Apartment
57	zone3_044	Soi Prasit 4/4
58	zone3_031	Tawan Chai Village
59	zone3_041	Yaem Phaka Nok
60	zone3_045	Ratchaphruek Village
61	zone3_063	Thai Nam Thip Co. ,Ltd.
62	zone3_053	17/110 Bencha Phon Village

4.8.2 Computational Results

The checkpoints have been added into the mathematical model to find the optimal solutions based on processes and sequence described in Section 4.8.1. LINDO was used to solve the model. Table 4.32 shows the achieved results for police patrol zone 1 in which the number of checkpoints is increased from 12 to 18.

1) Police Patrol Zone 1

Table 4.32 Results Based on Increased Number of Checkpoints in Police Patrol Zone 1

Number of check-points	Number of node	Number of constraints	Number of integer variables	Number of constraints	Objective function (km.)	Processing time (Hour:Minute:Second)	File size (KB)
12	18	308	273	321	23,672	0:01:33	15,276
13	19	344	307	357	24,236	0:04:11	28,996
14	20	382	343	395	24,501	0:31:46	393,384
15	21	422	381	435	24,707	0:42:49	365,021
16	22	464	421	477	25,786	1:00:43	704,764
17	23	508	463	521	26,001	4:27:49	2,701,546
18	24	554	507	567	26,001	7:25:24	4,150,340

Results for police patrol zone 1 are shown in Table 4.32 LINDO could solve this problem up to 18 checkpoints with the computing time lasting 7 hours 25 minutes. Then, the program ceases functioning due to either full memory or other errors interrupting its processing procedure. The size of output file is 4.1 GB. The graph in Figure 4.52 shows the relation between the computing time and problem size - representing by the number of checkpoints. Exponential increase of computing time can be observed, particularly when there are more than 16 checkpoints. This meets the expectation since it is very difficult to achieve the optimal solution for this kind of mathematical problem.

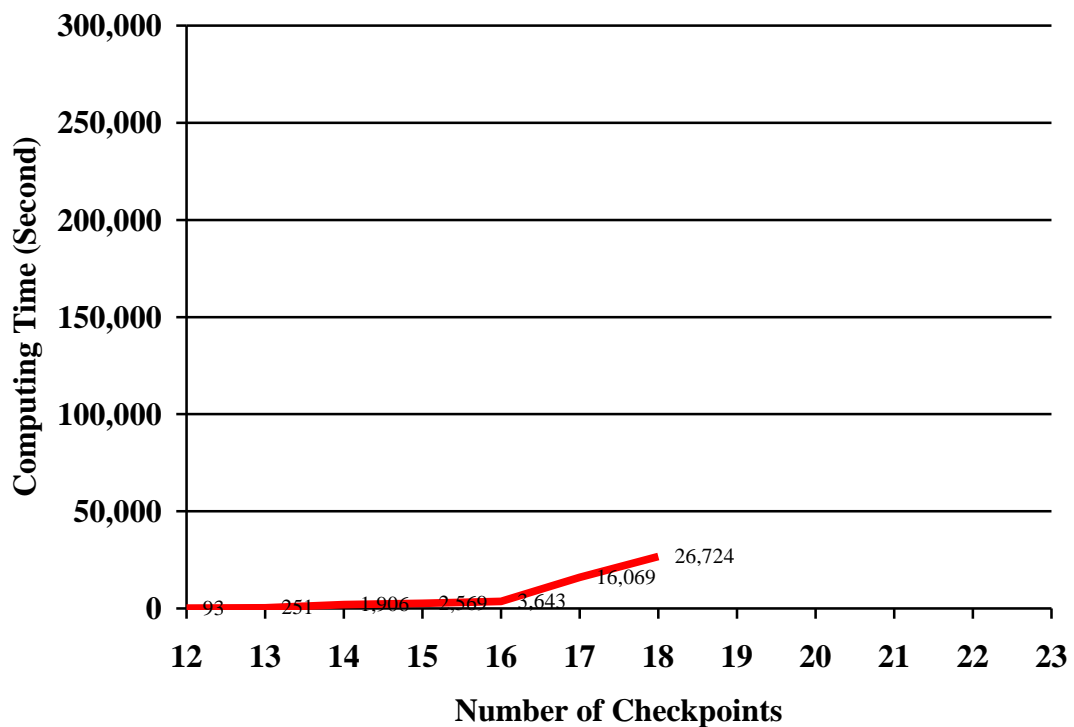


Figure 4.52 Relationship between Number of Checkpoints and Computing Time for Police Patrol Zone 1

2) Police Patrol Zone 2

Table 4.33 shows results for police patrol zone 2. LINDO can solve the problem to optimality up to 23 checkpoints. It took 57 hours to complete. The size of output size is 2.4 GB. Again, the exponential increase of computing time can also be noticed, particularly when there are more than 22 checkpoints as exhibited in Figure 4.53. This perhaps suggests the limitation of the chosen analytical tools, i.e., LINDO and necessitates the development of approximation solution approach such as special purposed heuristics or meta-heuristics.

Table 4.33 Results Based on Increased Number of Checkpoints in Police Patrol Zone 2

Number of check-points	Number of node	Number of constraints	Number of integer variables	Number of constraints	Objective function (km.)	Processing time (Hour:Minute:Second)	File size (KB)
12	18	308	273	321	18,283	0:00:05	147
13	19	344	307	357	18,404	0:00:06	366
14	20	382	343	395	18,800	0:00:11	351
15	21	422	381	435	19,637	0:01:23	10,105
16	22	464	421	477	19,816	0:02:21	15,922
17	23	508	463	521	20,121	0:04:35	30,423
18	24	554	507	567	20,164	0:10:08	40,480
19	25	602	553	615	20,164	0:20:25	92,296
20	26	652	601	665	20,186	0:21:46	107,907
21	27	704	651	717	20,198	2:38:28	152,245
22	28	758	703	771	20,254	2:37:47	647,340
23	29	814	757	827	20,739	57:32:41	2,484,518

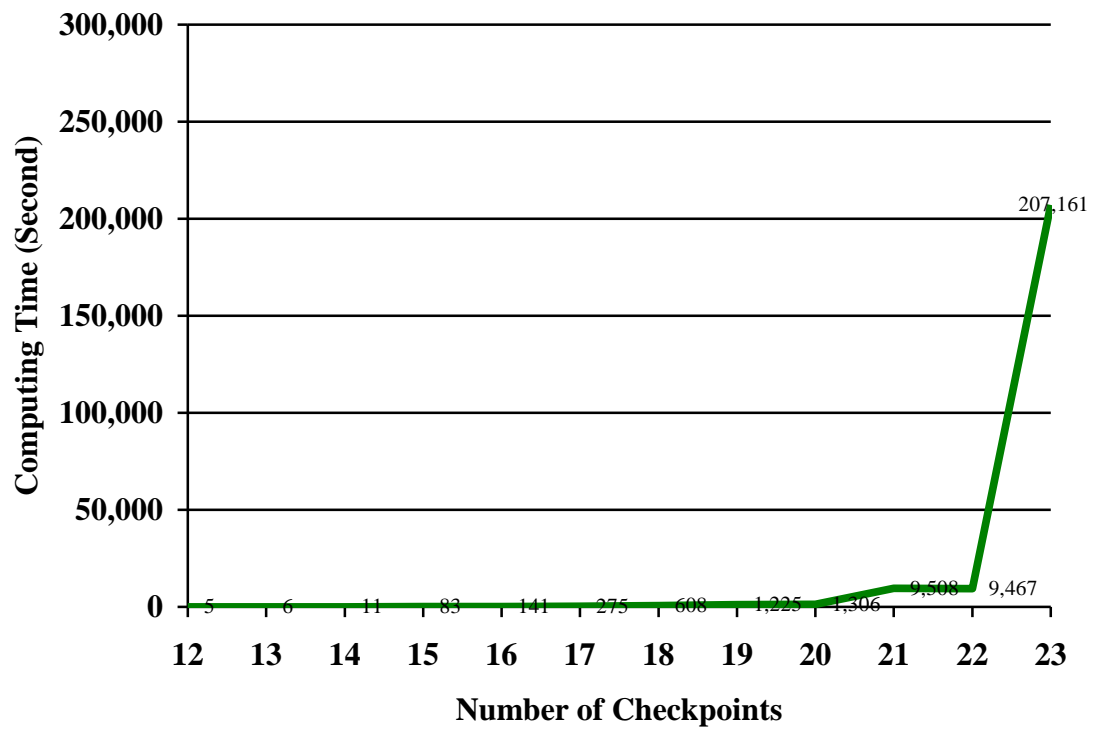


Figure 4.53 Relationship between Number of Checkpoints and Computing Time for Police Patrol Zone 2

Police Patrol Zone 3

Table 4.34 displays the solutions of solving mathematical models for police patrol zone 3. LINDO achieves optimal solution only up to 18 checkpoints (the same number as police patrol zone 1). However, it took over 74 hours to complete. The output file size is 2.3 G.B. The graph in Figure 4.54 shows the relationship between the computing time and problem size - represented by the number of checkpoints. Similarly, exponential increase of computing time can also be observed when there are more than 17 checkpoints.

Table 4.34 Results Based on Increased Number of Checkpoints in Police Patrol Zone 3

Number of check-points	Number of node	Number of constraints	Number of integer variables	Number of constraints	Objective function (km.)	Processing time (Hour:Minute:Second)	File size (KB)
12	16	242	211	255	23,831	0:01:18	13,551
13	17	274	241	287	23,914	0:01:05	10,600
14	18	308	273	321	24,245	0:02:47	30,182
15	19	344	307	357	24,245	0:18:04	84,656
16	20	382	343	395	24,602	0:32:07	313,541
17	21	422	381	435	24,603	1:40:38	790,401
18	22	464	421	477	30,149	74:39:31	2,318,246

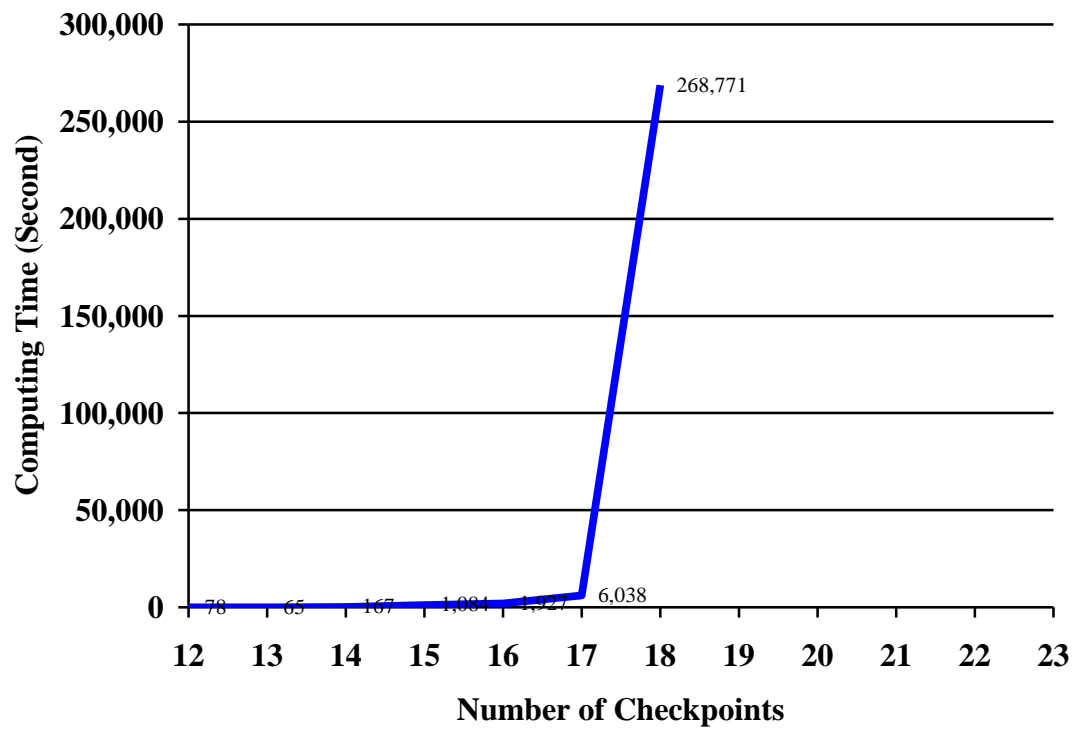


Figure 4.54 Relationship between Number of Checkpoints and Computing Time for Police Patrol Zone 3

Notice that the waiting time (W_i) decreases as the number of checkpoints increases. This is logical because there are more work loads for patrol officers to pursue beyond the 12 main checkpoints. In this regard, the results in Table 4.35 display gradually-reduced waiting time.

Table 4.35 Waiting Time Prior to Performing Duties (Minutes) due to the Increase of Checkpoints in each Police Patrol Checkpoints

Number of Checkpoints	Waiting Time prior to Performing Duties (Minutes)		
	Police Patrol Zone 1	Police Patrol Zone 2	Police Patrol Zone 3
12	302.44	303.58	350.56
13	280.99	300.1	347.22
14	293.11	300.82	343.44
15	292.31	289.26	340.44
16	278.62	285.55	335.86
17	270.75	281.33	332.87
18	268.1	278.23	329.87
19		275.23	
20		272.13	
21		269.07	
22		268.85	

The largest solvable problem size of 22 checkpoints in zone 2 showed minimum waiting time of 268.85 minutes or about over four hours. This is about half of 8-hour shift. Although the larger problem cannot be solved by LINDO to optimality, at least it can be inferred from this results that more checkpoints can be assigned to patrol officers due to remaining plenty of time during the 8-hour shift. However, it is not known how many more checkpoints the officers can visit. One almost certain thing is that it is impossible to visit all checkpoints (80 plus) in any zone within an 8-hour shift. To be optimistic, given that 22 checkpoint already took about four hours (total shift 480 minutes – waiting time of 264.85 minutes) to visit, perhaps the officers, at more or less the same rate, may be able to visit another 22 checkpoints. This implies that the work load should be around 40 – 50 checkpoints per shift on a regular day. The current number of checkpoints is probably too much to complete within an 8-hour shift.

In this chapter the data regarding the performance of duty of police officers of Nongkhaem Police Station have been used as the case study for the arrangement of police patrol plan and route. It begins with the use of GPS device for the collection of all checkpoint locations within Nongkhaem Police Station's area. The estimation of distance and time between checkpoints has been done by Network Analyst Extension of ArcGIS 9.3 program. These data are put into mathematical models that have been developed by imitating patrol officers' actual operation in patrolling the important checkpoints and in establishing the vehicle checkpoints as designated by the commander. LINDO 6.1 has then been applied to solve the mathematical models to find the optimal solutions for the arrangement of police patrol plan and scheduling. The results are satisfactory because police patrol plan is suitable and covers all main checkpoints. Likewise, the establishment of vehicle checkpoints can also be pursued within the specified time required by the commander. The route is logical with considerable difference from the actual operation pursued by patrol officers. This means that the mathematical models are capable of reducing the patrolling costs. This research also put a great effort to examine the behavior of police patrol plan arrangement problem in light of the coverage of all checkpoints. In this regard, the checkpoint has been added into the mathematical models one by one so the solution conforms to the continual increase of checkpoints. The use of LINDO to find

the optimal solution reflects the fact that the police patrol plan arrangement is a very difficult mathematical problem. In spite of a relatively small size, a general computer program may be unable to find the optimal solution. Moreover, the computing time is unpredictable too because with the same number of checkpoints, it may take longer time in one police patrol zone but shorter in another. As a result, other more efficient algorithm or approximation solution techniques may be needed in order to solve the larger problem size within a reasonable amount of time.

In the next chapter, the conclusions and the author's recommendations based on personal experience in this particular research will be provided. Indeed, it is also expected that this study will be useful for those who are interested in public service research, especially the one that may share some common grounds with the nature of this present research.

CHAPTER V

CONCLUSIONS

This thesis explored the application of logistics optimization modeling in the arrangement of police patrol plan and route. Chapter I (Introduction) concerned the statement of problem with respect to typical performance of patrol officers' duty. It was found that no police patrol routes have been arranged for patrol officers. They are merely required to visit their designated responsible checkpoints and to inspect vehicles at designated place and time period. It is possible that the routes they choose may not be a sufficiently good choice which results in a waste of fuel. In this regard, the arrangement of the optimal route (or tour in this context) that enables the patrol officers to visit all checkpoints, arrive at vehicle checkpoints punctually and come back to the police station by the end of the duty shift should be beneficial to their overall performance as well as leading to the effectiveness of crime prevention and suppression. In other words, such arrangement may then shorten patrol route and reduce fuel costs without any impact on the quality of crime prevention and suppression. Thus logistics mathematical models that well resembled the actual operations of patrolling have been developed and applied in order to maximize the efficiency of patrol route arrangement.

In Chapter II (Literature Review), the characteristics of police patrol in Thailand that aims to prevent and suppress crime have been discussed. Generally, patrol officers have been designated to their responsible checkpoints and to vehicle checkpoints at the specific places and time periods. Most oversea researches and studies were focused on the assignment of patrol officers for crime control purpose. However, the performance of Thai patrol officers' duty put an emphasis on patrolling the areas; hence, its nature may be similar to the Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) in logistics mathematics.

In Chapter III (Methodology), seven stages of research process have been outlined and discussed, namely, 1) problem identification, 2) study scope definition, 3)

hypotheses creation, 4) work flow diagram preparation, 5) data collection, 6) data processing, and 7) mathematical modeling development and solutions. Furthermore, the explanations relating to such mathematical modeling adapted from TSPTW by the researcher have also been provided. Certain constraints are added into it in order to generate the most similarity to the actual operation of police patrols' duty. Also, research tools, i.e., GPS device (Garmin GPSMAP 60) for collecting locations, ArcMap 9.3 for time and road network distance estimation, and LINDO 6.1 for solving mathematical modeling developed by the researcher have been introduced in this Chapter.

Chapter IV (Results and Discussion) involved the implementation of methodology in Chapter 3 with a case study of Nongkhaem Police Station. It began with the collection of all checkpoint locations in Nongkhaem Police Station by GPS device following by the use of ArcMap 9.3 for time and road network distance estimation. The data were put into developed mathematical modeling; then, LINDO 6.1 was run in order to solve those problems for an optimal patrol route and schedule arrangement. The result revealed that the patrol of all important checkpoints and the establishment of vehicle checkpoints within timeframe required by the commander can be achieved. In fact, those arranged routes are rather different from the actual ones pursued by patrol officers. Then, the characteristics of the problem have been studied in order to arrange the police patrol plan that covers all checkpoints in each zone. Checkpoints have been added into mathematical modeling on one-by-one basis, and then solve for an optimal solution. It has been unveiled that police patrol plan arrangement for lot of checkpoints is a very difficult mathematical problem. General computer programs cannot yield an optimal solution; thus, other algorithms and estimation techniques may be necessary to obtain a good solution within a reasonable amount of computing time. This will allow for routing and scheduling of police patrol service for larger problems.

In this Chapter, besides the summary of previous four chapters as described above, it concludes the achievement of two research objectives. The researcher also provides suggestions that were learned during the course of the thesis. Lastly, the reflections on recommended future research are also given.

5.1 The Use of Information Technology in Police Patrol Plan Arrangement

At present, there is no use of information technology in the arrangement of police patrol plan and route. Therefore, this research was aimed to study Global Positioning System (GPS) and Geographic Information System and applied them in the collection and analysis of data for police patrol route arrangement and relevant problems. In this research, the researcher has visited the checkpoints and used the GPS device - Garmin GPSMAP 60 to collect geo-locations in responsible areas of Nongkhaem Police Station. Furthermore, GPSMAP 60 has also been equipped with patrol motorcycles for estimating the actual speed pursued by the patrol officers. This is to represent the velocity in each road network route.

With respect to Geographic Information System (GIS), ArcMap 9.3 was used for the estimation of route and drive time across the road network or 'Origin-Destination Cost Matrix' between all checkpoints. Such estimation is based on the checkpoint locations and the velocity collected by the GPS device.

Data from the application of GPS and GIS include the distance and drive time across the road network between all checkpoints and the police station. These data are then put into mathematical modeling for police patrol plan arrangement. Thus, one can argue that information technology can indeed be implemented for the improvement of the efficiency of the performance of patrol officers' duty.

5.2 Police Patrol Plan Arrangement by Means of Mathematical Modeling

One objective of this research is to develop logistics mathematical models that most resembles to the actual performance of patrol officers' duty and to apply it with the arrangement of police patrol plan and route. Therefore, in this research, Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) has become the model for further development for the application with the arrangement of police patrol plan and route. In this regard, certain constraints have then been added into mathematical models in order to generate the most similarity to the actual performance of police

patrols' duty. The result revealed that the patrol of all important checkpoints and the establishment of vehicle checkpoints within timeframe required by the commander can be achieved. In fact, those arranged routes are rational in spite of the difference from the actual ones pursued by patrol officers. This confirmed the potential of logistic mathematical modeling in considerably reducing the costs of police patrol without compromising the effectiveness of crime prevention and suppression. However, the attempt to use it in the arrangement of police patrol plan that covers all checkpoints is not yet successful because this mathematical problem is too difficult for a general optimization program to solve for the optimal solution.

5.3 Suggestions

While carrying out this thesis, several lessons have been learned. Here, the notable ones are shared.

- 1) The application of research results

- The mathematical model should be perceived as a decision support tool.

As such, the results should therefore be viewed as the information for making the final decision by human. For example, the long waiting time at particular checkpoints does not necessarily mean that patrol officers have to be there that long. The commander may designate the patrol officers to utilize such long waiting time for other useful activities such as information gathering and community relations.

- With respect to Section 4.8.2 regarding the computational results, it is revealed that the checkpoints are so many that the patrol officers cannot visit them all during a shift. As a result, this particular research may help the commander to review and adjust the performance of duty of patrol officers. For example, the police patrol Zone may be redesigned to be smaller in order to reduce patrol officers' workloads. On the other hand, the number of patrol officers in each police patrol zone may be increased to enhance the coverage.

- As the waiting time is relatively long, the commander may then specify more principal checkpoints in addition to those 12 checkpoints. This is to permit patrol

officers to appropriately spend more time for patrolling as compared to the current practice.

2) Selection of the suitable analytical tools

- To solve problems with several variables and constraints (e.g., to route and schedule patrol service through all checkpoints), one should use the analytical tool, which is more powerful than the one in this particular research. This may increase the number of achieved results. However, the researcher believes that it may be impossible to achieve the results of all checkpoints. This is due to the fact that the travel time for 22 checkpoints already exceeds half of the specified time. As a result, visiting almost 100 checkpoints may likely require more travel time than a shift allows.

3) Cautions when running the solver, most modern computers are loaded with many residing program which consume valuable memory. More importantly, they ameliorate the capability of the solver unintentionally. Therefore, before running a solver, keep in mind the following cautions:

- Do not interrupt the computer while processing data.
- Close all automatic programs such as Anti Virus and Defragmentation.
- Avoid using any other programs while processing data.
- Switch off the internet connection.
- Run the defragmentation and disk scan before processing the data to ensure the readiness of computer.
- Use the same computer for every data processing to ensure the similarity of working environment; hence, allowing for the correct comparison between runs.

5.4 Recommended Future Research

The arrangement of police patrol plan and route is similar to typical problems in logistics and supply chain discipline. In this research, mathematical models have been developed on the basis of the data from Geographic Information System database. Its applicability is perfect for the arrangement of patrol service through main checkpoints (14 main checkpoints at most). However, the idea to arrange

the police patrol plan that covers approximately 100 checkpoints is an interesting research due to its usefulness for determining the work loads, the suitable number of checkpoints, and the appropriate size of police patrol zone or even for manpower planning. Indeed, the time spent by LINDO in identifying the solutions may reflect the fact that police patrol plan arrangement is a very difficult mathematical problem. The desktop computer and/or general optimization package may not yield the optimal solution; even though, the problem was not very large. Moreover, the computing time is unpredictable. The police patrol zone with certain number of checkpoints may take shorter computing time than another zone with fewer checkpoints. Consequently, other efficient algorithms and approximation techniques may be necessary for solving this difficult problem to obtain a sufficiently good solution within a reasonable amount of time. This can be one challenging research question for the future study.

REFERENCES

- Chaidi, K. (18 february 2010). Transfer GIS-GPS-GoogleEarth-DNRGarmin Globe. from http://www.weloveourworld.com/goodjai/thai/Transfer_GIS-GPS-GoogleEarth_DNRGarmin_Globe.zip
- Chawathe, S. S. (2007, 23-24 May 2007). *Organizing Hot-Spot Police Patrol Routes*. Paper presented at the Intelligence and Security Informatics, 2007 IEEE.
- Chelst, K. (1978). An Algorithm for Deploying a Crime Directed (Tactical) Patrol Force. *Management Science*, 24(12), 1314-1327.
- Cheng, C.-B., and Mao, C.-P. (2007). A modified ant colony system for solving the travelling salesman problem with time windows. [doi: DOI: 10.1016/j.mcm.2006.11.035]. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(9-10), 1225-1235.
- Da Silva, R. F., and Urrutia, S. (2010). A General VNS heuristic for the traveling salesman problem with time windows. [doi: DOI: 10.1016/j.disopt.2010.04.002]. *Discrete Optimization*, 7(4), 203-211.
- Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M., and Soumis, F. (1995). Chapter 2 Time constrained routing and scheduling. In T. L. M. C. L. M. M.O. Ball & G. L. Nemhauser (Eds.), *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. Volume 8, pp. 35-139): Elsevier.
- Green, L., and Kolesar, P. (1984). A Comparison of the Multiple Dispatch and M/M/c Priority Queueing Models of Police Patrol. *Management Science*, 30(6), 665-670.
- Green, L. V., and Kolesar, P. J. (2004). Improving Emergency Responsiveness with Management Science. *Management Science*, 50(8), 1001-1014.
- Jünger, M., Reinelt, G., and Rinaldi, G. (1995). Chapter 4 The traveling salesman problem. In T. L. M. C. L. M. M.O. Ball & G. L. Nemhauser (Eds.), *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. Volume 7, pp. 225-330): Elsevier.

- KhliPhan, K. (2002). *The Model to Increase the Efficiency of Patrol Polices : the Case Study of Metropolitan Police Division 8*. Rajabhat Institute Dhonburi, Bangkok, Thailand.
- KhotchaRat, W. (2000). *Guidelines for Management and Development of Suppression*. Bangkok: Metropolitan Police Bureau. (In Thai)
- Lee, S. M., Franz, L. S., and Wynne, A. J. (1979). Optimizing State Patrol Manpower Allocation. *The Journal of the Operational Research Society*, 30(10), 885-896.
- Olson, D. G., and Gordon, P. W. (1975). Models for Allocating Police Preventive Patrol Effort. *Operational Research Quarterly (1970-1977)*, 26(4), 703-715.
- Piamsombun, P. (2002). *Crime Control Through Environmental Design Theory and Practice*. Bangkok. Thailand: Bannakit. (In Thai)
- Royal Thai Police. (2000). *Practical Guide to Organize and Control Police Patrol*. Bangkok, Thailand: Police Printing Bureau. (In Thai)
- Reis, D., Melo, A., Coelho, A., and Furtado, V. (2006). Towards Optimal Police Patrol Routes with Genetic Algorithms. In S. Mehrotra, D. Zeng, H. Chen, B. Thuraisingham & F.-Y. Wang (Eds.), *Intelligence and Security Informatics* (Vol. 3975, pp. 485-491): Springer Berlin / Heidelberg.
- Sarker, R. A., and Newton, C. S. (2008). *Optimization modelling : a practical approach*. Boca Raton: CRC Press.
- Taylor, B. W., III, Moore, L. J., Clayton, E. R., Davis, K. R., and Rakes, T. R. (1985). An Integer Nonlinear Goal Programming Model for the Deployment of State Highway Patrol Units. *Management Science*, 31(11), 1335-1347.
- Taylor, P. E., and Huxley, S. J. (1989). A Break from Tradition for the San Francisco Police: Patrol Officer Scheduling Using an Optimization-Based Decision Support System. *Interfaces*, 19(1), 4-24.
- Tongo, C. I. (2010). Dynamic Programming and the Deployment of a Crime Preventive Patrol Force. *European Journal of Social Sciences*, 15(3), 354-364.

- Wan-Lung, N. (2007). *Routing a Patrolling Unit in Distributed Service Networks*.
Paper presented at the Service Systems and Service Management, 2007
International Conference on.

APPENDICES

APPENDIX A

PUBLICATION IN

THE 14th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERING



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 13-15 พฤษภาคม 2552

การประยุกต์แนวคิดด้านโลจิสติกส์กับปัญหาการจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจ

AN APPLICATION OF A LOGISTICS MODEL FOR ROUTING AND SCHEDULING OF

POLICE PATROL SERVICE

สมชาย ปฐมศิริ (Somchai Pathomsiri)¹

ร.ต.ท. ชานนท์ คำนวนสัคดิ์ (Police Lieutenant Chanon Kamnuansak)²

¹อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา egspt@mahidol.ac.th

²รองสารวัตร งานเทคโนโลยีสารสนเทศ กองบังคับการตำรวจนครบาล 9 และ

นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขา เทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ syankik@hotmail.com

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ : ทฤษฎีการบังคับใช้กฎหมาย (Law Enforcement Approach) ตั้งสมมุติฐานไว้ว่าที่ได้มีตำรวจ ที่นั่นจะไม่มีอาชญากรรม จึงแนะนำให้ทุ่มเทกำลังตำรวจออกตรวจตราให้ครอบคลุมพื้นที่รับผิดชอบเพื่อเป็นการป้องกันอาชญากรรม และถ้าเราสามารถจัดแผนการตรวจในลักษณะที่ส่งเจ้าหน้าที่ตำรวจสายตรวจไปตรวจตามสถานที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดอาชญากรรมและจุดตรวจผู้แจ้ง ในเวลาที่มีอาชญากรรมมักจะเกิดขึ้น ก็จะช่วยลดปัญหาอาชญากรรมลงได้ บทความนี้ได้วิเคราะห์ลักษณะการทำงานของตำรวจสายตรวจ และเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกับปัญหาโลจิสติกส์ของการขนส่งสินค้าอย่างมาก กล่าวคือ สถานีตำรวจนั้นอาจเปรียบเสมือนศูนย์กลางกระจายสินค้า ในขณะที่จุดตรวจหลัก-จุดตรวจรองและจุดตรวจพิเศษที่ผู้บังคับบัญชาสั่งการเปรียบได้กับร้านค้าย่อยที่รถขนส่งจะต้องไปส่งสินค้า (แม้ว่าตำรวจต้องไปตรวจตามจุดเหล่านั้น) จึงได้นำตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ในธุรกิจโลจิสติกส์มาประยุกต์ช่วยในการวางแผนจัดเส้นทางตรวจของตำรวจสายตรวจและทดลองใช้กับกรณีศึกษาการจัดทำแผนการตรวจของสถานีตำรวจนครบาลแห่งหนึ่ง ผลลัพธ์ที่ได้มีความเหมาะสมสามารถนำไปปฏิบัติได้ ช่วยให้การวางแผนการตรวจทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ABSTRACT : Law enforcement approach hypothesizes that the presence of police forces deters the crime. Therefore, it suggests devoting resources to patrol service all over the area. This paper studies the planning of police patrol service and asserts that it has several similar characteristics to the routing and scheduling of delivery vehicles in the business world. To be more specific, the patrolling police are just like salespersons that leave the police station (equivalent to the depot in the business) and make a tour to visit different checkpoints (customers, in the business) at the right time (time windows for delivery service) and then come back to the station. In most cases, one would prefer the shortest tour for the sake of resource saving. We proposed to model the police patrol service as a traveling salesman problem (TSP) and applied to a city police case study. The results report logical routing plans and show potential for further improvement.

KEYWORDS : Police, Patrol Service, Logistics, Traveling Salesman Problem, TSP

1. บทนำ

งานสายตรวจเป็นหน้าที่หลักของตำรวจ ในการดำเนินการเพื่อให้ เกิดความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ดังคำกล่าวที่ว่า “งานสายตรวจเป็นกระดูกสันหลังของตำรวจ” เพราะ เป็นที่ยอมรับกันว่างานสายตรวจเป็นหัวใจสำคัญ ในการป้องกัน อาชญากรรม นอกจากนั้นตำรวจสายตรวจยังสร้างความอบอุ่น และให้บริการแก่ประชาชนอีกด้วย [1] ด้วยความสำคัญดังกล่าว ของสายตรวจนั้นจึงต้องมีการพัฒนาการทำงานของสายตรวจ เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

งานสายตรวจคือการป้องกันปราบปรามอาชญากรรม ซึ่งเน้น การป้องกันไม่ให้เกิดเหตุอาชญากรรมด้วยการให้เจ้าพนักงาน ตำรวจปรากฏตัวตามสถานที่ต่างๆ เพื่อให้ผู้ที่คิดจะก่อเกิด ความเกรงกลัวไม่กล้าที่จะลงมือ โดยมีแนวคิดมาจากทฤษฎีการ บังคับใช้กฎหมาย (Law Enforcement Approach) ที่ตั้งสมมุติฐาน ว่า มีตำรวจที่ไหนจะไม่มียาอาชญากรรมที่นั่น จึงเป็นที่มาของเจ้า พนักงานตำรวจที่สวมใส่เครื่องแบบออกตรวจในพื้นที่ รับผิดชอบด้วยยานพาหนะหรือ “สายตรวจ” นั่นเอง

บทความนี้รายงานผลการวิจัยการประยุกต์ใช้แนวคิดด้านโลจิสติกส์ซึ่งใช้กันมากในทางธุรกิจกับการจัดการแผนการตรวจของ ตำรวจสายตรวจ ทั้งนี้เนื่องจากเห็นว่าลักษณะการทำงานของ ตำรวจสายตรวจหลายประการคล้ายคลึงกับปัญหาทางที่เกิดขึ้น ในทางธุรกิจ

2. การปฏิบัติงานของตำรวจสายตรวจ

เนื่องจากการปฏิบัติงานของสายตรวจเป็นเรื่องกิจการภายในของ ตำรวจ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจการทำงานของสายตรวจ จึงได้ สรุปลักษณะการทำงานโดยย่อไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้ [2]

2.1 โครงสร้าง

โครงสร้างของตำรวจสายตรวจระดับสถานีตำรวจมีดังนี้

- (1) หัวหน้างานป้องกันและปราบปราม คือ “รองผู้กำกับการ ป้องกันปราบปราม” มีหน้าที่วางแผนการปฏิบัติงาน, ควบคุม ตรวจสอบ, ติดตามประเมินผลการปฏิบัติงานของสายตรวจ และ จัดทำแผนที่ของพื้นที่รับผิดชอบ ตลอดจนใช้แผนที่ให้เป็น ประโยชน์ในการวางแผนป้องกันปราบปราม, วางแผนป้องกัน ปราบปรามโดยนำสถิติข้อมูลและผลการศึกษาวิเคราะห์ที่ได้มา ใช้ในการวางแผนป้องกันปราบปรามอาชญากรรม

(2) ผู้ปฏิบัติงานป้องกันปราบปราม ประกอบด้วย

- “สารวัตรปกครองป้องกัน” ปฏิบัติงานใน ฐานะรองหัวหน้างานป้องกันปราบปราม เป็น ผู้ปฏิบัติและผู้บริหารที่รองรับนโยบายหรือ คำสั่งต่างๆของหัวหน้างาน ไปถ่ายทอดสู่ผู้ ปฏิบัติในลำดับต่อไปคือ รองสารวัตรปกครอง ป้องกัน ตลอดจนผู้บังคับหมู่และลูกแถวซึ่งทำ หน้าที่สายตรวจ, ควบคุม ตรวจสอบ ให้ คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไข ปรับปรุงการปฏิบัติงานของผู้บังคับบัญชา
- “รองสารวัตรปกครองป้องกัน” จะต้อง ปฏิบัติงาน ตามที่ หัวหน้างาน ป้องกัน ปราบปราม หรือสารวัตรปกครองป้องกันจัด และมอบหมาย, ปฏิบัติหน้าที่หัวหน้าสายตรวจ และทำหน้าที่สายตรวจไปพร้อมกัน, ตรวจสอบควบคุมการการปฏิบัติงานของ เจ้าหน้าที่สายตรวจให้เป็นไปตามระเบียบและ วิธีการที่กำหนด รวมทั้งให้คำปรึกษาแนะนำ แก้ไขปัญหาข้อขัดข้องในการปฏิบัติงานของ สายตรวจ
- “ผู้บังคับหมู่หรือลูกแถว” คือ สายตรวจที่ ปฏิบัติตามคำสั่งของหัวหน้าสายตรวจ หรือ สารวัตรปกครองป้องกัน หรือหัวหน้างาน ป้องกันปราบปราม

2.2 ภารกิจของสายตรวจ

การภารกิจหน้าที่ของสายตรวจมีดังนี้

- (1) การลาดตระเวนตรวจตราท้องที่ตามแนวทฤษฎีบังคับใช้ กฎหมาย
- (2) ตรวจสมุดประจำจุดตรวจผู้แดง เป็นการคัดกรองโอกาส ของคนร้าย และเน้นการตรวจให้ทั่วทุกพื้นที่ในเขตรับผิดชอบ นอกจากนี้ยังเป็นการประชาสัมพันธ์หาข่าวไปด้วย
- (3) การตรวจสมุดประจำจุดตรวจธนาคาร-ร้านทอง เป็นการ คัดกรองโอกาสคนร้ายและสร้างความอบอุ่นใจให้กับประชาชน
- (4) การตั้งจุดตรวจค้นยานพาหนะ เป็นการรวมกำลังเพื่อ ตรวจค้นยานพาหนะต้องสงสัยที่ผ่านไปมา โดยมีหัวหน้าสาย ตรวจเป็นผู้ควบคุมบริเวณจุดที่เหมาะสมและเวลาที่กำหนดไว้

(5) ตรวจสอบรถต้องสงสัย เป็นการตรวจสอบยานพาหนะประเภทต่างๆ ที่พบว่ามีลักษณะที่น่าสงสัย เช่น ไม่ติดแผ่นป้ายทะเบียน หรือตรวจสอบผู้ขับขี่ที่มีลักษณะอันน่าสงสัย ที่เรียกว่าหน้าโจร-วัยโจร-รถโจร เป็นต้น

(6) การปิดล้อมตรวจค้นนวงสุรา เป็นการคัดโอกาสที่จะเกิดเหตุร้ายต่างๆ อันเนื่องมาจากการดื่มสุรา เพื่อตรวจหาอาวุธและสิ่งผิดกฎหมาย

(7) การปิดล้อมตรวจค้นสถานที่ซึ่งได้มีการสืบสวนหาข่าวไว้ก่อนแล้ว

(8) การตรวจค้นบุคคลต้องสงสัยในที่สาธารณะ เพื่อพบสิ่งของที่มีไว้เป็นความผิดหรือที่ได้มาจากการกระทำความผิด

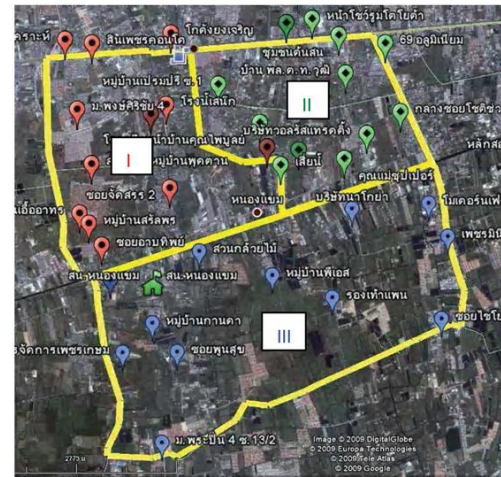
2.3 การแบ่งพื้นที่การทำงาน

ตารางที่ 1 รายชื่อสถานที่ตั้งจุดตรวจผู้แต่งในแต่ละเขตตรวจของสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม

จุดตรวจ	เขตตรวจที่ 1	เขตตรวจที่ 2	เขตตรวจที่ 3
1	หมู่บ้านเอื้ออาทร	เสี่ยน้ำ	ร.มัยยิทธิหนองแขม
2	หมู่บ้านศรีพร	หมู่บ้านทวีทอง	ร.วิทยาการจัดการ
3	ซอยอาบทิพย์	ถนนแม่จูปอไร	หมู่บ้านพระปิ่น 4
4	ซอยจัสสร 2	บริษัทอริสเทรดดิ้ง	ซอยขุนสุข
5	ซอยกำนันเจดีย์	ซอยโชติช่วง	หมู่บ้านกานดา
6	หมู่บ้านพุทธวน	บ้าน พอ.ค.ท.วุฒิ	สวนกล้วยไม้
7	โรงเรียนสี	69 ออมิเนียม	หมู่บ้านพิเอส
8	หมู่บ้านพริ้ว 4	ชุมชนคันสน	โรงงานรองเท้าแพน
9	กลุ่มหอพักสติก	ไร่ร่วมโคโยตี้	บริษัทนาโกย่า
10	สินทรัพย์คอนโด	นครเพชรเกษม	โมเดอร์นเฟรม
11	ร.อาคารสงเคราะห์	โรงสีสุกโพธิ์	เพชรนิมิตร์
12	โกดังของเจริญ	หมู่บ้านแปรมปรี	ซอยไร่ไธ

การป้องกันปราบปรามอาชญากรรมของสายตรวจระดับสถานีตำรวจนั้น จะแบ่งพื้นที่รับผิดชอบออกเป็นเขตตรวจย่อย เพื่อจะได้จัดกำลังสายตรวจให้เพียงพอต่อการปฏิบัติหน้าที่ครอบคลุมทุกพื้นที่อย่างทั่วถึง สายตรวจสามารถออกตรวจป้องกันเหตุ และบริการประชาชน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1] โดยจำนวนเขตตรวจจะขึ้นอยู่กับ ระดับการให้บริการซึ่งคำนวณจากระยะเวลาที่สายตรวจเดินทางไปถึงที่เกิดเหตุ, ความหนาแน่นของประชากร, เส้นทางคมนาคม, สภาพอาชญากรรม, สภาพพื้นที่รับผิดชอบ และความเหมาะสมระหว่างกำลังพลกับเขตตรวจ เป็นต้น

ยกตัวอย่าง เช่น พื้นที่ความรับผิดชอบของสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม จะแบ่งออกเป็น 3 เขตตรวจ แต่ละเขตตรวจมีจุดตรวจผู้แต่งจำนวน 12 แห่ง ตามตารางที่ 1 สำหรับพื้นที่เขตตรวจและตำแหน่งของจุดตรวจแสดงไว้ในภาพที่ 1



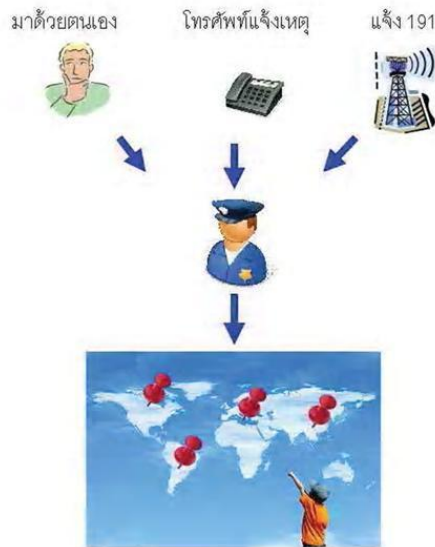
ภาพที่ 1 ตำแหน่งของจุดตรวจผู้แต่งในแต่ละเขตตรวจของสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม

2.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

รองผู้กำกับการป้องกันปราบปราม เป็นผู้วางแผนป้องกันปราบปรามอาชญากรรม ด้วยการกำหนดแผนให้สายตรวจตั้งจุดตรวจค้นยานพาหนะในบริเวณและช่วงเวลาที่เกิดเหตุ โดยใช้ข้อมูลสถิติอาชญากรรมที่รวบรวมมาจากการที่ประชาชนประสบเหตุหรือทราบถึงเหตุอาชญากรรมแล้วมาแจ้งเหตุด้วยตนเอง หรือโทรศัพท์แจ้งเหตุมายังสถานีตำรวจ หรือโทรศัพท์แจ้งเหตุไปยังหมายเลข 191 ขั้นตอนการได้มาของข้อมูลอาชญากรรมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2

ข้อมูลเหตุอาชญากรรมทั้งหมดที่สถานีตำรวจได้รับแจ้งจะถูกรวบรวมเก็บไว้เป็นสถิติ เมื่อได้ข้อมูลแล้วรองผู้กำกับการจะทำการวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุครั้งต่อไป หรือพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดเหตุ หรือคาดหมายได้ว่าเส้นทางใดเป็นเส้นทางที่คนร้ายจะใช้เป็นทางผ่านเพื่อที่จะไปก่อเหตุ เมื่อทราบว่าบริเวณใดและช่วงเวลาใดเป็นมีความเป็นไปได้ดังที่กล่าวไว้ก็จะกำหนดเป็น “แผนการตรวจของสายตรวจ” ให้สายตรวจไปลาดตระเวน, ตั้งจุดตรวจค้นยานพาหนะและตรวจสอบรถต้องสงสัย การกิจ

การเดินทางออกตรวจพื้นที่ในเขตรับผิดชอบในแต่ละครั้งของสายตรวจ นอกจากจะต้องออกตรวจสมุดประจำจุดตรวจผู้แดงในแต่ละจุดแล้วยังต้องปฏิบัติตามแผนการตรวจที่รองผู้กำกับการป้องกันปราบปรามกำหนด ดังนั้นสายตรวจจึงต้องวางแผนการเดินทางออกตรวจว่าจะไปตรวจผู้แดงใดก่อนและหลัง และยังคงแทรกด้วยแผนการตรวจเพื่อไปปรากฏกาย ณ บริเวณและเวลาตามแผนที่รองผู้กำกับฯ สั่งการไว้ด้วย



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการนำข้อมูลสถิติอาชญากรรมมากำหนด “แผนการตรวจของสายตรวจ”

ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าปัญหาการจัดแผนการเดินทางของเจ้าหน้าที่สายตรวจที่จะต้องเดินทางไปยังผู้แดงและการออกตรวจไปตามแผนการตรวจมีความคล้ายคลึงกับปัญหาโลจิสติกส์ของธุรกิจอย่างมาก กล่าวคือ ต่างก็มีจุดเริ่มต้นของการเดินทางและต้องเดินทางไปยังจุดต่างๆ ให้ครบถ้วนก่อนที่จะกลับมายังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง การวิจัยนี้จึงได้นำเอาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในทางธุรกิจมาประยุกต์ใช้กับการจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจ เพื่อให้การออกตรวจแต่ละครั้งมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เวลาและงบประมาณ

3. กรณีศึกษา

การวิจัยนี้ใช้สถานีตำรวจนครบาลหนองแขมเป็นกรณีศึกษาโดยมีพื้นที่รับผิดชอบครอบคลุมแขวงหนองแขมและบางส่วนของ

แขวงหนองค้างพลู แบ่งออกเป็น 3 เขตตรวจ แต่ละเขตตรวจมีการติดตั้งจุดตรวจผู้แดงจำนวน 12 จุด (ตามตารางที่ 1) ใช้เจ้าหน้าที่งานตำรวจตำแหน่งผู้บังคับหมู่ หรือลูกแถวจำนวน 2 นายทำหน้าที่เป็นสายตรวจทำงานกันเป็นคู่ โดยใช้รถจักรยานยนต์จำนวน 1 คันในการออกตรวจสมุดประจำจุดตรวจผู้แดง, ตรวจสมุดประจำจุดตรวจธนาคาร-ร้านทอง, การตั้งจุดตรวจค้นยานพาหนะตามแผนการตรวจที่รองผู้กำกับการป้องกันปราบปรามวางไว้ สภาพการทำงานที่เป็นอยู่ปัจจุบัน สายตรวจนั้นจะใช้ประสบการณ์และความสามารถส่วนตัวในการออกตรวจโดยใช้เส้นทางใดให้ครอบคลุมจุดตรวจและประหยัดน้ำมันที่สุด ในภาพรวมนั้น จะมีร่องรอยการปกครองป้องกันหรือที่เรียกกันว่ารอยเวรปราบปรามทำหน้าที่เป็นหัวหน้าสายตรวจใช้รถยนต์กระบะในการออกตรวจและควบคุมสั่งการสายตรวจทั้ง 3 เขตตรวจให้ทำงานตามแผนการตรวจที่วางไว้

4. ผลการวิเคราะห์

4.1 ตัวแบบคณิตศาสตร์

เราอาจพิจารณาได้ว่าการที่เจ้าหน้าที่สายตรวจต้องไปเยี่ยมจุดตรวจในพื้นที่ให้ครบถ้วนก่อนกลับมายังสถานีด้านวางเทียบได้กับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายสินค้า หรือ Traveling Salesman Problem (TSP) ที่มุ่งหาเส้นทางการเดินทางที่ครอบคลุมจุดตรวจครบถ้วนและประหยัดที่สุด ตัวแบบคณิตศาสตร์ TSP เป็น Integer Program ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ [3]

$$\text{Min} \quad \sum \sum c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum x_{ij} = 1 \text{ for } j = 1 \text{ to } N \quad (2)$$

$$\sum x_{ij} = 1 \text{ for } i = 1 \text{ to } N \quad (3)$$

$$u_i - u_j + N x_{ij} \leq N - 1 \text{ for } i \neq j; i, j = 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

ทั้งนี้ N คือ จำนวนของจุดตรวจ; i และ j คือ ดัชนีแทนจุดตรวจต่างๆ; x_{ij} คือ ตัวแปรประเภท Binary (0,1) มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทางจากจุดตรวจ i ไปจุดตรวจ j มิเช่นนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0; ในทำนองเดียวกัน c_{ij} คือ ต้นทุนการเดินทางระหว่างจุดตรวจ i กับจุดตรวจ j ; u_i และ u_j เป็นตัวแปรต่อเนื่อง

ตัวแบบ TSP ประกอบด้วยสมการวัตถุประสงค์ (Objective function) ที่ (1) มุ่งหาค่าผลรวมของต้นทุนการ

เดินทางที่ต่ำที่สุด โดยที่ด้อยไม่ละเลยเงื่อนไขสมการที่ (2) ที่กำหนดให้แต่ละจุดตรวจถูกเยี่ยมชมเพียง 1 ครั้งเท่านั้น และสมการที่ (3) ซึ่งกำหนดว่าเจ้าหน้าที่ผ่านจุดตรวจแต่ละแห่งได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น สำหรับเงื่อนไขที่ (4) นั้นมีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวแบบคณิตศาสตร์เฉลยคำตอบซึ่งมี “Subtour” หรือคำตอบที่ได้เส้นทางการตรวจหลายวงแทนที่จะมีเพียงหนึ่งเดียว

ตัวแบบ TSP นั้นเป็นปัญหาคลาสสิกที่หาคำตอบยากมาก [4] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปัญหามีหลายจุดตรวจ ในที่นี้เราจะลองแก้ปัญหา TSP สำหรับแต่ละเขตตรวจซึ่งประกอบด้วย 12 จุดตรวจสีแดง

4.2 การเก็บข้อมูล

ตัวแบบ TSP ข้างต้นจะต้องทราบข้อมูล c_{ij} ซึ่งในที่นี้แทนด้วยระยะทางระหว่างจุดตรวจ i และ j จึงจำเป็นต้องคำนวณระยะทางดังกล่าวระหว่างจุดตรวจทั้งหมดในรูปของเมทริกซ์ ในเบื้องต้นเราสนใจเพียงว่าจะออกตรวจอย่างไรในแต่ละเขตตรวจให้ครบถ้วนทั้ง 12 จุดตรวจสีแดงและประหยักระยะทางที่สุด โดยจะยังไม่คำนึงถึงจุดตรวจธนาคาร-ร้านทองและการตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะตามแผนการตรวจ ในการเก็บข้อมูลนั้นเราได้สอบถามที่ตั้งจุดตรวจสีแดงที่อยู่ในเขตตรวจต่างๆ จากสายตรวจแล้วระบุพิกัดของการจุดตรวจสีแดงทั้งหมดพร้อมที่ตั้งของสถานีตำรวจลงในโปรแกรม Google Earth แล้วให้สายตรวจซึ่งปฏิบัติงานจริงระบุไว้เส้นทางใดในการเดินทางไปหาจุดตรวจสีแดงแต่ละจุด จากนั้นใช้เครื่องมือวัดระยะทางตามที่สายตรวจเดินทางจนครบแต่ละจุดแล้วนำมาสร้างเป็น Distance Matrix จนครบทั้งสามเขตตรวจ

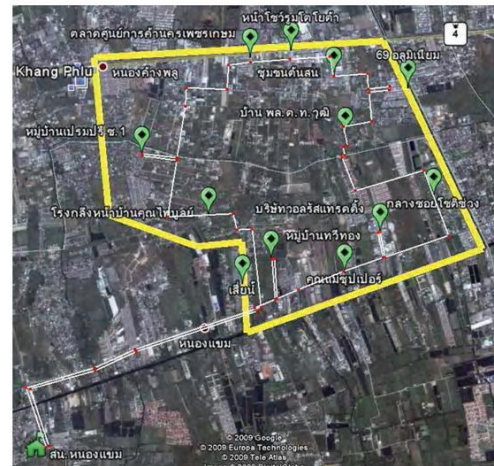
4.3 วิธีการแก้ปัญหา

ในการแก้ปัญหา TSP ของตำรวจสายตรวจ เราใช้โปรแกรม LINDO Release 6.01 ซึ่งรองรับตัวแปรได้ 100,000 ตัว จำนวนเงื่อนไข (Constraints) ไม่เกิน 32,000 ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ดell ประมวลผลโดยหน่วยความจำ Intel Core 2 Duo ความเร็ว 2.60 GHz ขนาดของหน่วยความจำ 1GB โปรแกรมสามารถแก้ปัญหา TSP ในแต่ละเขตตรวจได้ไม่ยากนัก โดยใช้เวลาเพียง 2 วินาที ทั้งนี้ควรใช้สเกลของสัมประสิทธิ์ตัวแปรที่มีค่าใกล้เคียงกัน มิเช่นนั้นอาจใช้เวลาจนถึง 40 วินาทีในการแก้ปัญหาเดียวกันนี้

5. ผลการวิเคราะห์

หลังจากที่ LINDO ประมวลผลแล้ว จะได้ผลลัพธ์เส้นทางการตรวจเป็นวงรอบที่สั้นที่สุด เราได้ตรวจสอบความมีเหตุผลของผลลัพธ์ที่ได้โดยนำไปพล็อตลงในโปรแกรม Google Earth เชื่อมต่อจุดตรวจต่างๆ เข้าด้วยกันจนกระทั่งเป็นวงรอบเริ่มจากสถานีตำรวจเวียนไปตามจุดตรวจสีแดงครบถ้วนทั้ง 12 จุดในแต่ละเขต ก่อนจะวกกลับมาที่สถานีอีกครั้ง

ภาพที่ 2 เป็นตัวอย่างของแผนการตรวจที่ได้รับสำหรับเขตตรวจที่ 2 โดยมีเส้นทางการตรวจดังนี้ สน.หนองแขม - โรงกลิ้งคุณไพบูลย์ - หมู่บ้านเปรมปรี - ตลาดศูนย์การค้านครเพชรเกษม - โชว์รูมโตโยต้า - ชุมชนคันสน - 69 อลูมิเนียม - บ้านพล.ต.ท.วุฒิ - ซอยโชคชัย - บริษัทวอลรัสเทรดดิ้ง - คุณแม่ซุเปอร์ - หมู่บ้านทวีทอง - เลี้ยว - สน.หนองแขม รวมระยะทางทั้งสิ้น 17.9 กิโลเมตร



ภาพที่ 3 ผลลัพธ์แผนการเดินทางของสายตรวจในเขตตรวจที่ 2

สำหรับเขตตรวจที่ 1 และ 3 นั้นมีระยะทางการตรวจไม่แตกต่างกันมากนัก คือ 23 และ 25 กิโลเมตรตามลำดับ จากการตรวจสอบสภาพพื้นที่จริง พบว่าเส้นทางที่ได้จากตัวแบบคณิตศาสตร์มีความสมเหตุสมผลและเป็นไปได้อย่างยิ่งในทางปฏิบัติ จึงเป็นที่น่าสนใจศึกษาต่อไปว่าถ้าหากนำเอาจุดตรวจธนาคาร-ร้านทองและการตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะตามแผนการตรวจของหัวหน้างานป้องกันและปราบปรามมาพิจารณาไปพร้อมๆ กันจะเกิดอะไรขึ้น ทั้งในด้านระยะเวลาในการแก้ปัญหาและคุณภาพของผลลัพธ์ นอกเหนือจากนี้แล้ว ยัง

เป็นไปได้ว่าแผนการตรวจจำเป็นต้องพิจารณากรอบเวลา (Time windows) ของการตรวจสำหรับบางจุดตรวจด้วย ทั้งนี้เพราะว่า ในหลายกรณีผู้บังคับบัญชาจะสั่งการให้สายตรวจไปตรวจ ณ จุดใดจุดหนึ่งระหว่างช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อประสิทธิผลในการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมในบริเวณดังกล่าว ซึ่งเป็นเรื่องน่าท้าทายอย่างยิ่งต่อการประยุกต์ใช้แนวคิดตัวแบบจำลองโลจิสติกส์ชนิดอื่นๆ ในการแก้ปัญหา อันเป็นทิศทางการวิจัยขั้นต่อไปของเรา

6. สรุปผลการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานของตำรวจสายตรวจในพื้นที่รับผิดชอบของกองบัญชาการตำรวจนครบาล และมีความเห็นว่าการจัดแผนการตรวจในแต่ละผลัดนั้นมีลักษณะของปัญหาคล้ายคลึงปัญหาทางธุรกิจโลจิสติกส์ จึงได้ทดลองนำตัวแบบคณิตศาสตร์โลจิสติกส์ประเภท Traveling Salesman Problem (TSP) มาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาของสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม ประสบการณ์จากการแก้ปัญหาไม่พบความยุ่งยากในการจัดแผนการตรวจ 12 จุดและผลลัพธ์ที่ได้สมเหตุสมผล ประหยัดและปฏิบัติได้จริง อย่างไรก็ตามเพื่อให้ตัวแบบคณิตศาสตร์จำลองสภาพการทำงานที่เป็นจริงมากยิ่งขึ้น จำเป็นต้องพัฒนาต่อไปให้สามารถรองรับจำนวนจุดตรวจที่มากขึ้นสำหรับจุดตรวจธนาคาร-ร้านทอง ซึ่งจะได้นำระบบระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (Global Positioning Systems, GPS) มาช่วยในการทำงาน นอกจากนี้ยังจะได้คำนึงถึงการตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะซึ่งเปลี่ยนสถานที่และเวลาตลอดตามแผนการตรวจที่ร้องผู้กำกับ การป้องกันปราบปรามกำหนด โดยจะมีการสร้างเงื่อนไขกรอบเวลา (Time windows) เพิ่มเติมเข้าไปเพื่อให้ตัวแบบคณิตศาสตร์จำลองลักษณะการทำงานจริงได้ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิสกว. ทุกท่านเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาปรับปรุงงานวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ พ.ต.อ. ดนัย วรรณไพโรจน์ ผู้กำกับการสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม และตำรวจสายตรวจทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอันเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของโครงการวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พลตำรวจโท วรรณรัตน์ ศุภรัตน์, 2543. แนวทางการบริหารและพัฒนากองบังคับการปราบปราม กองบัญชาการตำรวจนครบาล. กองบัญชาการตำรวจนครบาล.
- [2] กรมตำรวจ, 2540. คู่มือการปฏิบัติในการจัดและควบคุมสายตรวจ.
- [3] Winston, Wayne L., 2003. *Operations Research: Applications and Algorithms*, 4th edition, Duxbury Press, USA.
- [4] Lawler E.L., Lenstra J.K., Rinnooy Kan A.H.G., and Shmoys D.B. (editors), 1985. *The Traveling Salesman Problem*, John Wiley & Sons Ltd.

APPENDIX B

PUBLICATION IN

THE 15th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERING



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 12-14 พฤษภาคม 2553

การจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจด้วยตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์โลจิสติกส์

ROUTING AND SCHEDULING OF POLICE PATROL SERVICE USING A LOGISTICS

MODEL

ชานนท์ คำนวนศักดิ์ (Police Lieutenant Chanon Kamnuansak)¹

สมชาย ปฐมศิริ (Somchai Pathomsiri)²

¹รองสารวัตร ฝ่ายอำนวยการ กองบังคับการตำรวจนครบาล 9 และ

นักศึกษาปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ (syamkik@hotmail.com)

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และ

หัวหน้าศูนย์ Transportation, Traffic and Logistics EXpert Center (T-LEX Center) (egspt@mahidol.ac.th)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้นำตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในธุรกิจ โลจิสติกส์มาประยุกต์ใช้ในการจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจ โดยสมมุติว่าจุดตรวจต่างๆที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบที่เป็นเสมือนลูกค้าที่สายตรวจต้องเดินทางไปให้ครบ และสายตรวจต้องเดินทางไปยังจุดตรวจในช่วงเวลาที่กำหนดตามคำสั่งของผู้บังคับบัญชาเพื่อเป็นป้องกันอาชญากรรมในบริเวณนั้น ซึ่งเปรียบได้กับหน้าต่างเวลา (Time Windows) ของการส่งสินค้าในธุรกิจ โลจิสติกส์ ในการพัฒนาแบบจำลองได้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณเมตริกส์ระยะทางการเดินทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจทั้งหมดและสถานีตำรวจ จากนั้นสร้างแบบจำลองปัญหาการเดินทางของพนักงานขายประเภทที่มีเงื่อนไขเวลา (Traveling Salesman Problem with Time Windows) ให้สอดคล้องกับการจัดแผนการตรวจของตำรวจสถานีนครบาลหนองแขม ซึ่งผลการทดลองได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) พบว่าแผนการตรวจที่ได้จากการแก้ปัญหาลักษณะโลจิสติกส์มีความสมเหตุสมผล และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการออกตรวจได้มาก

ABSTRACT : The purpose of this research is to applied a business logistics model for planning police patrol service. By analogy, it was assumed that a police checked point is just like a customer node that needs to be serviced at the designated time (or time window in logistic terminology) according to the order of the supervisor. We then formulated the scheduling and routing of police patrol service as the Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW). We derived travel distance matrices from a Geographic Information System database. Our case study is for Nhong Kheam Police Station in Bangkok. The optimal patrolling plan shows practical routing and scheduling which saves significant amount of travel cost.

KEYWORDS : Police, Patrol Service, Logistics, Traveling Salesman Problem, Time Windows



1. บทนำ

ภารกิจหลักของตำรวจคือ งานป้องกันและปราบปรามอาชญากรรม งานของตำรวจที่เกี่ยวกับการป้องกันอาชญากรรมโดยตรงคือ งานสายตรวจ หากสายตรวจปฏิบัติหน้าที่ของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับการวางแผนป้องกันอาชญากรรมแล้ว ย่อมทำให้เป้าหมายในการป้องกันอาชญากรรมบรรลุผลสำเร็จ [1]

การตรวจท้องที่โดยตำรวจสายตรวจเป็นวิธีการอย่างหนึ่งของตำรวจที่จะป้องกันและปราบปรามอาชญากรรม ซึ่งตำรวจจะต้องปฏิบัติงานตลอดเวลาเพื่อตรวจตราลาดตระเวนสังเกตการณ์ ดูแลรักษาความสงบเรียบร้อย ระวังเหตุ ตลอดจนจับกุมผู้กระทำผิดกฎหมาย

การปฏิบัติงานของสายตรวจนั้นเป็นไปตามแผนการตรวจที่ผู้บังคับบัญชากำหนดไว้ ซึ่งกำหนดให้ในการเข้าเวรแต่ละผลัดจะต้องเดินทางออกตรวจจุดตรวจผู้แดง, ธนาครและร้านทอง ที่อยู่ภายในพื้นที่รับผิดชอบของคนที่ครบถ้วน โดยไม่ได้กำหนดเวลาที่ไปถึง นอกจากนี้ยังจะต้องตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะตามเวลาและสถานที่ที่ผู้บังคับบัญชากำหนดไว้

ในการเดินทางออกตรวจพื้นที่และเดินทางไปตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะนั้นเป็นไปตาม หลักของทฤษฎีการบังคับใช้กฎหมาย ก็คือ การตรวจท้องที่ และหลักของแนวคิดนี้เป็นเรื่องของปรากฏตัวของตำรวจย่อมมีผลในการยับยั้งผู้ที่มีแนวโน้มจะประกอบอาชญากรรมเพราะความเกรงกลัวการจับกุม [2]

ดังนั้นถ้าสายตรวจเดินทางไปปรากฏกายยังบริเวณต่างๆ ครอบคลุมตามแผนการตรวจที่วางไว้ย่อมจะช่วยป้องกันอาชญากรรมที่ซึ่งเป็นการลดช่องโอกาสสำหรับผู้ที่ตั้งใจจะละเมิดกฎหมาย

การเดินทางออกตรวจให้ครบนั้นสายตรวจจะเลือกเส้นทางที่ใช้ระยะทางสั้นที่สุดเพื่อประหยัดค่าน้ำมัน เนื่องจากสายตรวจแต่ละนายได้รับการจัดสรรค่าน้ำมันอย่างจำกัดจากสถานีตำรวจสวนทางกับราคาน้ำมันที่มีแต่จะสูงขึ้น ซึ่งในการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดนั้นเป็นการเลือกโดยอาศัยประสบการณ์และความคุ้นเคยกับพื้นที่เป็นหลัก เป็นไปได้ว่าเส้นทางที่เลือกบางครั้งอาจไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุดส่งผลให้การประหยัดน้ำมันไม่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นถ้าสามารถจัดเส้นทางให้สายตรวจเดินทางไปยังที่ตั้งของผู้แดง, ธนาคร-ร้านทอง ครบทุก

สถานที่โดยใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด และเดินทางไปยังจุดตรวจคันยานพาหนะตามเวลาที่กำหนดได้ ย่อมจะทำให้สายตรวจประหยัดค่าน้ำมันและสามารถปฏิบัติตามแผนการตรวจที่วางไว้ซึ่งส่งผลคือการป้องกันอาชญากรรม

เมื่อเปรียบเทียบการปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจแล้วมีความคล้ายคลึงกับปัญหาโลจิสติกส์ของการขนส่งสินค้าอย่างมาก กล่าวคือ สถานีตำรวจนั้นอาจเปรียบเสมือนศูนย์กลางกระจายสินค้า ในขณะที่จุดตรวจผู้แดง, การธนาคาร-ร้านทองที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบเป็นเสมือนลูกค้าที่ตำรวจต้องเดินทางไปตรวจให้ครบที่ และผู้บังคับบัญชาที่อาจมีคำสั่งให้ไปตรวจยังสถานที่และช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อเป็นการป้องกันและยับยั้งอาชญากรรมในบริเวณนั้น เปรียบได้กับหน้าต่างเวลา (Time Windows) ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างการส่งสินค้ากับการออกตรวจของตำรวจ คือ ในการออกตรวจนั้นไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องการบรรทุกสินค้าเหมือนกับการส่งสินค้าในธุรกิจโลจิสติกส์

งานวิจัยนี้จึงเสนอให้นำตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในธุรกิจโลจิสติกส์มาประยุกต์ใช้ในการจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจ โดยในขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองนี้เราใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณเมตริกส์ระยะทางการเดินทางระหว่างจุดตรวจและสถานีตำรวจ โดยเป็นระยะทางที่วัดไปตามโครงข่ายถนน (Network-based Distance Matrix) จากนั้นสร้างแบบจำลองปัญหาการเดินทางของพนักงานขายประเภทที่มีเงื่อนไขเวลา (Traveling Salesman Problem with Time Windows) ผลการทดลองกับการจัดแผนการตรวจของตำรวจสถานีนครบาลหนองแขมซึ่งใช้เป็นกรณีศึกษาได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) พบว่าแผนการตรวจที่ได้จากการแก้ปัญหาคือแบบโลจิสติกส์มีความเหมาะสมผล และช่วยประหยัดระยะทางในการเดินทางตรวจตามจุดลงได้มาก

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดแผนการตรวจของสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม โดยการใช้ปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจจะแบ่งเวลาออกเป็น 3 ผลัด ผลัดที่ 1 ตั้งแต่เวลา 00.01 น. ถึง 08.00 น., ผลัดที่ 2 ตั้งแต่เวลา 08.01 น. ถึง 16.00 น., และผลัดที่ 3 ตั้งแต่เวลา 16.01 น. ถึง 24.00 น. สน. หนองแขมแบ่งพื้นที่ความ



รับผิดชอบออกเป็น 3 เขตตรวจ แต่ละเขตตรวจมีจุดตรวจผู้แดง
จำนวน 12 แห่ง ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายชื่อสถานที่ตั้งจุดตรวจผู้แดงในแต่ละเขตตรวจของสถานี
ตำรวจนครบาลหนองแขม

จุดตรวจ (i)	เขตตรวจที่ 1	เขตตรวจที่ 2	เขตตรวจที่ 3
1	ม.เอื้ออาทร	เสี้ยว	มรรษัตถหนองแขม
2	ม.สวัสดิ์พร	เพชรเกษม 1	วิทยาการจัดการ
3	ช.อาบทิพย์	คูแม่จูปเปอร์	ม.พระปิ่น 4
4	ช.จัดสรร 2	บริษัทออส	ช.พูนสุข
5	สุต ช.ก้านเฉลิม	กลางซอยสี่ช่วง	ม.กานดา
6	สนง.ม.พุดตาน	บ้าน ผ.วุฒิ	45/6 ฟังได้
7	โรงน้ำสะเน็ก	69 ออโมเนียม	ทวีสุขฟาร์ม
8	ม.พงษ์ศิริชัย 4	37/54เพชรเกษม71	รองห้าแพน
9	กรุงเทพมหานคร	บริษัทโคโยต้า	นาโกย่า
10	สินเพชรคอนโด	นครเพชรเกษม	โมเดิร์นฟาร์ม
11	อาคารสงเคราะห์	โรงกลึงโพธิ์ชัย	เพชรนิมิตารักษ์
12	โกดังของเจริญ	ม.เกรมปริย ซอย 1	ช.ไชโย

นอกจากนี้ผู้บังคับบัญชาจะกำหนดให้สายตรวจเดินทาง
ไปตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะ ณ สถานที่และช่วงเวลาที่กำหนด
ไว้ในแผนการตรวจ เช่นตัวอย่างที่แสดงไว้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนการตรวจของสายตรวจ ตั้งแต่ 15 – 31 ธันวาคม 2552 ผลัด
ที่ 2 ช่วงเวลา 08.00 น. – 16.00 น.

สายตรวจ	ช่วงเวลา	การปฏิบัติ
2-0	11.00 - 11.30 น. 14.15 - 15.00 น.	ว.43 เคลื่อนที่หน้าโรงไม้ ว.43 เคลื่อนที่หน้าวัดอุดม
จยย. เขตตรวจที่ 1	11.00 - 11.30 น. 14.15 - 15.00 น.	ร่วม 2-0 ว.43 เคลื่อนที่โรงไม้ ร่วม 2-0 ว.43 เคลื่อนที่หน้าวัดอุดม
จยย. เขตตรวจที่ 2	11.00 - 12.00 น. 14.00 - 15.00 น.	ว.10 กลางซอยนาคนาสพร 2 ³ ว.10 ตรงข้ามคาร์ฟูร์ ⁴
จยย. เขตตรวจที่ 3	15.00 - 15.30 น.	ว.10 หน้าวัดหลักสาม ⁵

หมายเหตุ

¹ ให้สายตรวจจราจรยานยนต์เขตที่ 1 ในช่วงเวลา 11.00 น. - 11.30 น.
ร่วมกับร้อยเวรปราบปรามตั้งจุดตรวจคันพาหนะ บริเวณโรงไม้

² ให้สายตรวจจราจรยานยนต์เขตที่ 1 ในช่วงเวลา 14.15 น. - 15.00 น.
ร่วมกับร้อยเวรปราบปรามตั้งจุดตรวจคันพาหนะ บริเวณหน้าวัดอุดม
รังสี

³ ให้สายตรวจจราจรยานยนต์เขตที่ 2 ในช่วงเวลา 11.00 น. - 12.00 น.หยุด
รถปฏิบัติหน้าที่บริเวณกลางซอยนาคนาสพร 2

⁴ ให้สายตรวจจราจรยานยนต์เขตที่ 2 ในช่วงเวลา 14.00 น. - 15.00 น.หยุด
รถปฏิบัติหน้าที่บริเวณตรงข้ามคาร์ฟูร์

⁵ ให้สายตรวจจราจรยานยนต์เขตที่ 3 ในช่วงเวลา 15.00 น. - 15.30 น.หยุด
รถปฏิบัติหน้าที่บริเวณหน้าวัดหลักสาม

จากตารางที่ 2 เป็นการกำหนดให้สายตรวจต้องใช้เวลา
ปฏิบัติหน้าที่ ณ จุดตรวจคันยานพาหนะนั้นๆ นอกจากนี้ในการ
ตรวจจุดตรวจผู้แดง ผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้เวลาปฏิบัติหน้าที่จุด
ตรวจละ 3 นาที เนื่องจากต้องมีการเซ็นชื่อและเดินตรวจตรา
บริเวณรอบๆ กล่าวคือเมื่อสายตรวจมาถึง ณ จุดตรวจนั้นๆ ต้อง
ใช้เวลาที่จุดตรวจนั้น 3 นาที แล้วจึงเดินทางไปยังจุดตรวจต่อไป
ส่วนการใช้เวลาตรวจธนาคาร-ร้านทอง กำหนดให้ใช้เวลา 10
นาทีซึ่งสายตรวจใช้ไปกับการเดินเข้าไปภายใน, เซ็นต์ชื่อ และ
หยุดพูดคุยกับประชาชน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเวลาที่สายตรวจ
ต้องไปตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะโดยได้กำหนดเวลาที่มาถึงและ
ออกจากการตั้งจุดตรวจคัน ซึ่งแสดงการใช้เวลาในการปฏิบัติ
หน้าที่ของเขตตรวจที่ 1, 2 และ 3 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3, 4 และ
5 ตามลำดับ ซึ่งตารางทั้ง 3 นี้จะมีจุดตั้งด่านตรวจคันอยู่ 1 หรือ 2
จุดตามที่ผู้บังคับบัญชากำหนด

ตารางที่ 3 ตารางการใช้เวลาปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจแต่ละจุดตรวจ ของ
เขตตรวจที่ 1

จุดตรวจ (i)	เขตตรวจที่ 1	เวลาที่ใช้ ปฏิบัติหน้าที่ (Si) นาที	การตั้งจุดตรวจคัน	
			เวลามาถึง a	เวลาออก b
1	ม.เอื้ออาทร	3	-	-
2	ม.สวัสดิ์พร	3	-	-
3	ช.อาบทิพย์	3	-	-
4	ช.จัดสรร 2	3	-	-
5	สุต ช.ก้านเฉลิม	3	-	-
6	สนง.ม.พุดตาน	3	-	-
7	โรงน้ำสะเน็ก	3	-	-
8	พงษ์ศิริชัย 4	3	-	-
9	กรุงเทพมหานคร	3	-	-
10	สินเพชรคอนโด	3	-	-
11	อาคารสงเคราะห์	3	-	-
12	โกดังของเจริญ	3	-	-
13	โรงไม้	30	180	210
14	หน้าวัดอุดม	45	375	420



ตารางที่ 4 ตารางการใช้เวลาปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจแต่ละจุดตรวจ ของเขตตรวจที่ 2

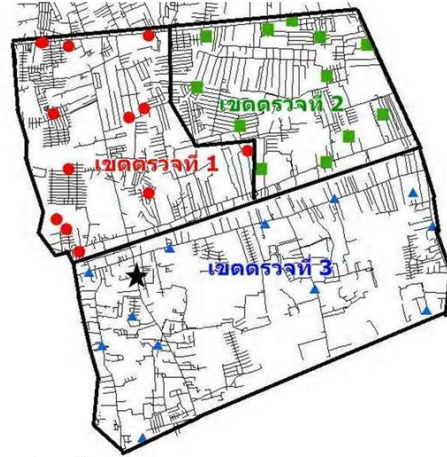
จุดตรวจ (i)	เขตตรวจที่ 1	เวลาที่ใช้ ปฏิบัติหน้าที่ (Si) นาที	การตั้งจุดตรวจคืน	
			เวลามาถึง a	เวลาออก b
1	เสียน้ำ	3	-	-
2	เพชรเกษม 1	3	-	-
3	คุนแม่จูปเปอร์	3	-	-
4	บริษัททอรัส	3	-	-
5	ซอยโซติช่วง	3	-	-
6	บ้าน ศ.สุดิ	3	-	-
7	69 ออมิเนียม	3	-	-
8	ซอยเพชรเกษม 71	3	-	-
9	บริษัท ไทโยต้า	3	-	-
10	นครเพชรเกษม	3	-	-
11	โรงกลึง	3	-	-
12	ม.เปรมปรีช	3	-	-
13	นาศตาร 2	60	180	240
14	ตรงข้ามคาร์ฟูร์	60	360	420

ตารางที่ 5 ตารางการใช้เวลาปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจแต่ละจุดตรวจ ของเขตตรวจที่ 3

จุดตรวจ (i)	เขตตรวจที่ 1	เวลาที่ใช้ ปฏิบัติหน้าที่ (Si) นาที	การตั้งจุดตรวจคืน	
			เวลามาถึง a	เวลาออก b
1	มัธยมหนองแขม	3	-	-
2	วิทยาลัยการจักร	3	-	-
3	ม.พระปิ่น 4	3	-	-
4	ช.ขุนสุข	3	-	-
5	ม.กานดา	3	-	-
6	45/6 ฟังไผ่	3	-	-
7	ทวีสุขฟาร์ม	3	-	-
8	รองเท้านา	3	-	-
9	นาโกษา	3	-	-
10	โมเดิร์นเฟรม	3	-	-
11	เพชรนิมิตร์	3	-	-
12	ช.โซโฮ	3	-	-
13	หน้าวัดหลักสาม	30	420	450

ผู้วิจัยทำการจัดเก็บข้อมูลที่ตั้งของผู้แดง, ธนาคาร-ร้านทอง และจุดตรวจคืนยานพาหนะตามตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ด้วยการเดินทางไปยังสถานที่ดังกล่าวแล้วใช้เครื่อง Global

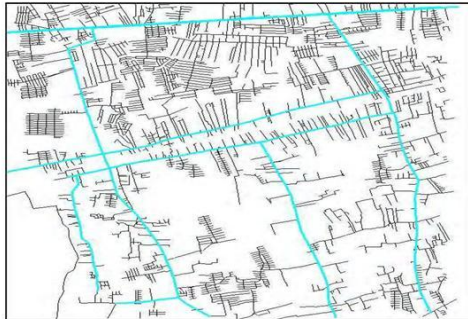
Positioning System (GPS) บันทึกค่าพิกัดจุดตรวจนั้นๆ แล้วนำพิกัดทั้งหมดมาระบุในแผนที่เส้นทาง ซึ่งแสดงดังไว้ตามภาพที่ 1



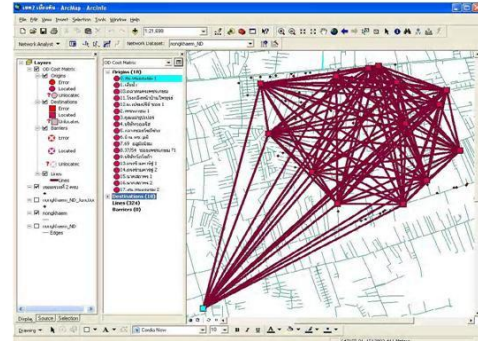
ภาพที่ 1 ที่ตั้งของผู้แดง, ธนาคาร-ร้านทอง และจุดตรวจคืนยานพาหนะในพื้นที่ความรับผิดชอบของสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม

เมื่อได้ข้อมูลพิกัดทั้งหมดแล้วขั้นตอนต่อไปคือการหาระยะทางและ หาเวลาน้อยที่สุดที่ใช้ในการเดินทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจทั้งหมด โดยใช้คุณสมบัติ OD Cost Matrix ของโปรแกรม ArcMap 9.2 ในการคำนวณซึ่งได้กำหนดให้

- รถจักรยานยนต์ของตำรวจสายตรวจสามารถเลี้ยวรถหรือกลับรถบริเวณใดของถนนก็ได้ เนื่องจากรถจักรยานยนต์มีความคล่องตัวในการเดินทาง
- เนื่องจากการเดินทางจริงไม่ได้ใช้ความเร็วเท่ากันตลอดเวลา ดังนั้นในการออกตรวจในถนนแต่ละสายสายตรวจจะใช้เวลาในการเดินทางต่างกันดังแสดงไว้ตามภาพที่ 2 โดยกำหนดในถนนสายหลัก (สีฟ้า) ใช้ความเร็ว 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ส่วนในถนนสายรองหรือซอย (สีน้ำตาล) ใช้ความเร็ว 25 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2



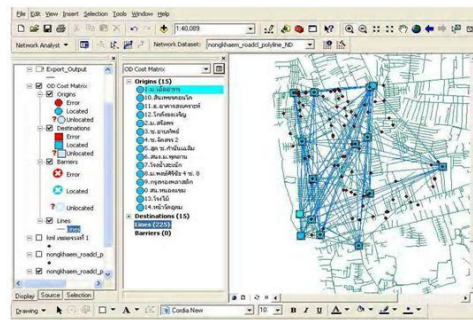
ภาพที่ 2 แสดงการใช้ความเร็วของสายตรวจในถนนสายหลัก (สีฟ้า) และถนนสายรอง (สีดำ)



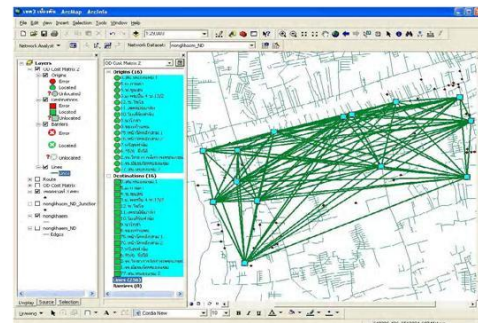
ภาพที่ 4 การใช้โปรแกรม ArcMap 9.2 คำนวณระยะทางและเวลาเดินทางระหว่างจุดตรวจในเขตตรวจที่ 2

2.2 การคำนวณ Travel Distance Matrix

ในการคำนวณหาระยะทางและระยะเวลาเดินทางระหว่างจุดตรวจโดยโปรแกรม ArcMap 9.2 ของเขตตรวจที่ 1, 2 และ 3 แสดงไว้ตามภาพที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 การใช้โปรแกรม ArcMap 9.2 คำนวณระยะทางและเวลาเดินทางระหว่างจุดตรวจในเขตตรวจที่ 1



ภาพที่ 5 การใช้โปรแกรม ArcMap 9.2 คำนวณระยะทางและเวลาเดินทางระหว่างจุดตรวจในเขตตรวจที่ 3

ตารางที่ 6 ตารางระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ โดยใช้เวลาน้อยที่สุดในพื้นที่เขตตรวจที่ 1 (หน่วยเป็นเมตร)

Cij	จุดปลายทาง	0	1	2	3	.	.	13	14
จุดต้น	จุดตรวจ	ศูนย์	ม.หนอง	ม.อ้อ	ม.สวรินทร์	ม.สงเคราะห์	.	โรงน้ำ	หน้าวัดจตุร
0	ม.หนองเขม	0	1694	1568	1103	.	.	1534	4010
1	ม.อ้อ	1694	0	129	605	.	.	424	4697
2	ม.สวรินทร์	1568	129	0	479	.	.	491	4571
3	ม.สงเคราะห์	1103	605	479	0	.	.	446	4257
.
.
13	โรงน้ำ	1534	424	491	446	.	.	0	4537
14	หน้าวัดจตุร	4010	4697	4571	4257	.	.	4537	0

ผลลัพธ์จากการคำนวณจะได้ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ โดยใช้เวลาน้อยที่สุด ของเขตตรวจที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งตารางที่ 6, 7 และ 8 แสดงลักษณะตัวอย่างของผลลัพธ์ตามลำดับ



ตารางที่ 7 ตารางระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ โดยใช้เวลาน้อยที่สุดในพื้นที่เขตตรวจที่ 2 (หน่วยเป็นเมตร)

Cij	จุดปลายทาง	0	1	2	3	-	-	13	14
จุดเริ่มต้น	จุดตรวจ	สน.หนองแขม	ม.เสี้ยว	พชรเกษม	อุดมปุรุ	-	-	นทสพพร2	ตร.จันทร์บุรี
0	สน.หนองแขม	0	2850	4598	3412	-	-	5975	6047
1	เสี้ยว	2850	0	3327	1269	-	-	3832	3696
2	พชรเกษม 1	4598	3327	0	5620	-	-	3470	1857
3	อุดมปุรุ	3412	1269	5620	0	-	-	2563	3763
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	นทสพพร2	5975	3832	3470	2563	-	-	0	1613
14	ตร.จันทร์บุรี	6047	3696	1857	3763	-	-	1613	0

ตารางที่ 8 ตารางระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ โดยใช้เวลาน้อยที่สุดในพื้นที่เขตตรวจที่ 3 (หน่วยเป็นเมตร)

Cij	จุดปลายทาง	0	1	2	3	-	-	12	13
จุดเริ่มต้น	จุดตรวจ	สน.หนองแขม	ม.หนองแขม	การจัดการ	ม.พระปิ่น	-	-	ช.ไขไย	วัดถ้ำกลัน
0	สน.หนองแขม	0	808	1782	2894	-	-	6620	2273
1	ม.หนองแขม	808	0	1231	3702	-	-	7055	2707
2	วิทยาลัยการจัดการ	1782	1231	0	4191	-	-	8028	3681
3	ม.พระปิ่น 4	2894	3702	4191	0	-	-	6707	5167
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	ช.ไขไย	6620	7055	8028	6707	-	-	0	4347
13	หน้าวัดหลักสาม	2273	2707	3681	5167	-	-	4347	0

นอกจากนี้จากการคำนวณยังได้ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเดินทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจทั้งหมดในพื้นที่เขตตรวจที่ 1 ของเขตตรวจที่ 1, 2 และ 3 แสดงได้ตามตารางที่ 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ตารางเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเดินทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ ในพื้นที่เขตตรวจที่ 1 (หน่วยเป็นนาที)

ij	จุดปลายทาง	0	1	2	3	-	-	13	14
จุดเริ่มต้น	จุดตรวจ	สน.หนองแขม	ม.เสี้ยว	ม.เสี้ยว	ส.ระหว	-	-	ไร่ไผ่	หน้าวัดจตุรม
0	สน.หนองแขม	0	4.06	3.76	2.65	-	-	3.68	9.63
1	ม.เสี้ยว	4.06	0	0.31	1.45	-	-	1.02	11.27
2	ม.เสี้ยว	3.76	0.31	0	4.17	-	-	1.17	10.97
3	ช.อานนท์	2.65	1.45	4.17	0	-	-	1.07	10.22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

13	ไร่ไผ่	3.68	1.02	1.17	1.07	-	-	0	10.89
14	หน้าวัดจตุรม	9.63	11.27	10.97	10.22	-	-	10.89	0

ตารางที่ 10 ตารางเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเดินทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ ในพื้นที่เขตตรวจที่ 2 (หน่วยเป็นนาที)

ij	จุดปลายทาง	0	1	2	3	-	-	13	14
จุดเริ่มต้น	จุดตรวจ	สน.หนองแขม	ม.เสี้ยว	พชรเกษม	อุดมปุรุ	-	-	นทสพพร2	ตร.จันทร์บุรี
0	สน.หนองแขม	0	4.59	7.08	5.11	-	-	9.14	9.06
1	เสี้ยว	4.59	0	7.50	2.22	-	-	6.25	7.86
2	พชรเกษม 1	7.08	7.50	0	8.61	-	-	5.57	2.96
3	อุดมปุรุ	5.11	2.22	8.61	0	-	-	4.03	5.64
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	นทสพพร2	9.14	6.25	5.57	4.03	-	-	0	2.60
14	ตร.จันทร์บุรี	9.06	7.86	2.96	5.64	-	-	2.60	0

ตารางที่ 11 ตารางเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเดินทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ ในพื้นที่เขตตรวจที่ 3 (หน่วยเป็นนาที)

ij	จุดปลายทาง	0	1	2	3	-	-	12	13
จุดเริ่มต้น	จุดตรวจ	สน.หนองแขม	ม.หนองแขม	การจัดการ	ม.พระปิ่น	-	-	ช.ไขไย	วัดถ้ำกลัน
0	สน.หนองแขม	0	1.21	2.67	4.98	-	-	10.44	3.41
1	ม.หนองแขม	1.21	0	1.85	6.20	-	-	11.10	4.07
2	วิทยาลัยการจัดการ	2.67	1.85	0	7.42	-	-	12.55	5.52
3	ม.พระปิ่น 4	4.98	6.20	7.42	0	-	-	14.80	8.39
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	ช.ไขไย	10.44	11.10	12.55	14.80	-	-	0	7.03
13	หน้าวัดหลักสาม	3.41	4.07	5.52	8.39	-	-	7.03	0

3. ตัวแบบคณิตศาสตร์

ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ประยุกต์กับแผนการตรวจนั้นพัฒนาให้จำลองปัญหาการเดินทางของสายตรวจให้มากที่สุด โดยสร้างเป็นแบบจำลองปัญหาการเดินทางของพนักงานขายประเภทที่มีเงื่อนไขเวลา (Traveling Salesman Problem with Time Windows) โดยกำหนดค่าดังนี้

X_{ij} = คือตัวแปรในการตัดสินใจเดินทางจากจุดตรวจ i ไปจุดตรวจ j ซึ่งมีค่าเป็นไบนารีโดยที่

$X_{ij} = 1$ ถ้าเลือกเดินทางจากจุดตรวจ i ไปจุดตรวจ j

$X_{ij} = 0$ ถ้าไม่เลือกเดินทางจากจุดตรวจ i ไปจุดตรวจ j

C_{ij} = คือ ต้นทุน (Cost) หรือ ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจ i ไปยังจุดตรวจ j โดยใช้เวลาน้อยที่สุด



t_{ij} = ระยะเวลาที่น้อยที่สุด ในการเดินทางตามโครงข่ายถนน
ระหว่างจุดตรวจ i ไปยังจุดตรวจ j

N = จุดตรวจที่สายตรวจต้องเดินทางออกตรวจ โดยไม่รวม
จุดเริ่มต้น และไม่รวมจุดปลายทาง

N' = จุดตรวจคันยานพาหนะจำลอง สำหรับเดินทางออกจากจุด
ตรวจคันยานพาหนะ

o = จุดเริ่มต้น คือสถานีตำรวจ

d = จุดปลายทาง คือสถานีตำรวจ

a = เวลาที่มาถึงจุดตรวจคันยานพาหนะ

b = เวลาที่ออกจากจุดตรวจคันยานพาหนะ

T_i = เวลาที่ไปถึงจุดตรวจ i

S_i = Service time ระยะเวลาที่สายตรวจต้องปฏิบัติหน้าที่ ณ จุด
ตรวจ i

W_i = Waiting time ระยะเวลาในการรอปฏิบัติงาน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in N \cup \{o\}} \sum_{j \in N \cup \{d\} - \{i\}} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N \cup \{d\} - \{i\}} X_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i \in N \cup \{o\} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N \cup \{o\} - \{j\}} X_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall j \in N \cup \{d\} \quad (3)$$

$$T_i + W_i + S_i + t_{ij} \leq T_j + M(1 - X_{ij}) \quad ; \quad \forall i \in N \cup \{o\}, \quad \forall j \in N \cup \{d\}, i \neq j \quad (4)$$

$$T_i + W_i + S_i + t_{ij} \geq T_j + M(X_{ij} - 1) \quad ; \quad \forall i \in N \cup \{o\}, \quad \forall j \in N \cup \{d\}, i \neq j \quad (5)$$

$$X_{NN'} = 1 \quad (6)$$

$$X_{NN} = 0 \quad (7)$$

$$T_o = 0 \quad (8)$$

$$T_N \leq a \quad (9)$$

$$T_{N'} \geq b \quad (10)$$

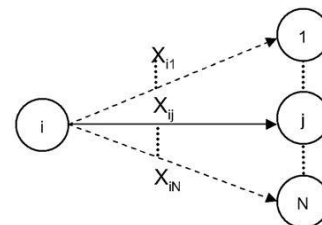
$$T_d \leq 480 \quad (11)$$

จากตัวแบบคณิตศาสตร์อธิบายแต่ละเงื่อนไขได้ดังนี้
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) มุ่งหาค่าผลรวมของต้นทุนการ
เดินทางที่ต่ำที่สุด โดยหาผลรวมระยะทางตามโครงข่ายถนนที่
สั้นที่สุดที่สายตรวจใช้ในการเดินทางไปยังทุกจุดตรวจ ซึ่งสายตรวจ

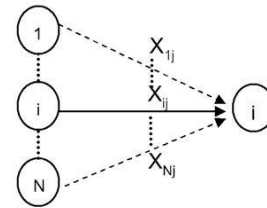
ต้องไม่เดินทางจากจุดเดิมไปจุดเดิม ($i \neq j$) และต้องอยู่ภายใต้
เงื่อนไขของสมการดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่ 2 เป็นการกำหนดให้สายตรวจเมื่อเดินทางออก
จากจุดตรวจ i ต้องเลือกเดินทางเข้าไปจุดตรวจ j เพียง 1 เส้นทาง
เท่านั้น ดังแสดงไว้ดังภาพที่ 6

เงื่อนไขที่ 3 เป็นการกำหนดให้สายตรวจเมื่อเดินทางเข้าไป
จุดตรวจ j ต้องเลือกเดินทางออกจากจุดตรวจ i เพียง 1 เส้นทาง
เท่านั้นดังแสดงไว้ดังภาพที่ 7

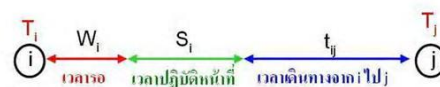


ภาพที่ 6 แสดงการเดินทางออกจากจุด i ไปจุด j เพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น



ภาพที่ 7 แสดงการเดินทางเข้าจุด j จากจุด i เพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น

เงื่อนไขที่ 4 และ 5 เป็นการกำหนดว่าเมื่อสายตรวจออก
เดินทางจากจุดตรวจ i ณ เวลา T_i ไปยังจุดตรวจ j ณ เวลา T_j นั้น
จะได้ว่าเวลา T_j เมื่อรวมระยะเวลาที่สายตรวจปฏิบัติหน้าที่ ณ จุด
ตรวจ i และรวมเวลาที่สายตรวจเดินทางจากจุดตรวจ i ไปยังจุด
ตรวจ j ต้องน้อยกว่าเวลา T_j ซึ่งขึ้นตอนการใช้เวลาในการ
เดินทางแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงขั้นตอนการใช้เวลาในการเดินทางแสดงจากจุดตรวจ i ไป
จุดตรวจ j



เงื่อนไขที่ 6 เป็นสมการที่ใช้ในการพิจารณาเข้าจุดตรวจคันยานพาหนะโดย N และ N' คือจุดตรวจคันยานพาหนะจุดเดียวกันแต่บังคับให้ N ต้องเดินทางไป N' เท่านั้น

เงื่อนไขที่ 7 เป็นสมการที่ใช้ในการพิจารณาออกจากจุดตรวจคันยานพาหนะโดย N และ N' คือจุดตรวจคันยานพาหนะจุดเดียวกันแต่บังคับให้ N' ต้องไม่เดินทางย้อนกลับไปยัง N

เงื่อนไขที่ 8 เป็นสมการที่บังคับให้เวลาที่ออกจากจุดเริ่มต้น (T_0) คือ สน.หนองแขมต้องเป็น 0 เท่านั้น

เงื่อนไขที่ 9 บังคับให้การมาตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะต้องมาก่อนหรือเท่ากับเวลาที่ผู้บังคับบัญชากำหนดไว้ ส่วน

เงื่อนไขที่ 10 บังคับให้การออกจากจุดตรวจคันยานพาหนะต้องออกหลังจากหรือเท่ากับเวลาที่ผู้บังคับบัญชากำหนดไว้

ในการกำหนดค่าเวลาการมาถึง (a) และเวลาออก (b) จากจุดตรวจคันยานพาหนะได้มาจากการคิดระยะเวลาดังแต่เริ่มปฏิบัติหน้าที่คือ 08.00 น. จนถึงเวลาที่กำหนดไว้ เช่นการตั้งจุดตรวจคันเวลา 11.00 น. ซึ่งห่างจากเวลาเริ่มปฏิบัติหน้าที่ 3 ชั่วโมง ดังนั้นสายตรวจต้องมาถึงจุดตรวจคันยานพาหนะก่อนหรือเท่ากับวันที่ 180 เป็นต้น

เงื่อนไขที่ 11 บังคับให้เวลาที่มาถึงจุดสุดท้าย (T_u) คือ สน.หนองแขมต้องมาก่อนหรือเท่ากับวันที่ 480 เนื่องจากการปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจในแต่ละผลัดใช้เวลา 8 ชั่วโมง หรือ 480 นาที

4. วิธีการแก้ปัญหา

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในตอนนี้เรามีข้อมูลดังนี้

1) เวลาปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจแต่ละจุดตรวจ (S_i) ตามตารางที่ 3, 4 และ 5

2) เวลาการเข้าและออกจุดตรวจคันยานพาหนะ (a,b) ตามตารางที่ 3, 4 และ 5

3) ระยะทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจโดยใช้เวลาน้อยที่สุด (C_{ij}) ตามตารางที่ 6, 7 และ 8

4) เวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการเดินทางตามโครงข่ายถนนระหว่างจุดตรวจทั้งหมด (t_{ij}) ตามตารางที่ 9, 10 และ 11

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดแทนค่าในแบบคณิตศาสตร์ข้างต้นและแก้ปัญหาจะทำให้ทราบค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

Z ผลรวมระยะทางตามโครงข่ายถนนที่สั้นที่สุด

X_{ij} เป็นการเลือกว่าสายตรวจควรเดินจากจุดตรวจใดไปจุดตรวจใดก่อนและหลัง

T_i เวลาที่สายตรวจเดินทางไปถึงจุดตรวจเวลาใด ๆ

W_i เวลาที่สายตรวจจะต้องรอการปฏิบัติหน้าที่ ณ จุดตรวจ i เป็นเวลาเท่าใด ซึ่งจะทำให้สายตรวจเดินทางไปยังจุดตรวจอื่นตรงตามที่กำหนดไว้

ในการแก้สมการตัวแบบคณิตศาสตร์นี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม LINDO Release 6.01 I สำหรับการแก้ปัญหา TSPTW ของตำรวจสายตรวจ ซึ่งโปรแกรม LINDO นี้สามารถรองรับตัวแปรได้ 100,000 ตัว จำนวนเงื่อนไข (Constraints) ไม่เกิน 32,000 ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ ประมวลผลโดยหน่วยความจำ Intel Core 2 Quad ความเร็ว 2.66 GHz ขนาดของหน่วยความจำ 4 GB

5. ผลการวิจัย

จากการคำนวณ โปรแกรมสามารถแก้ปัญหา TSPTW สามารถแก้สมการได้ไม่ยากนัก โดยในเขตตรวจที่ 1 ใช้เวลา 3 นาที 13 วินาที ผลรวมระยะทางตามโครงข่ายถนนที่สั้น (Z) คือ 23,685 เมตร โดยเลือกเส้นทาง (X_{ij}) ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ลำดับการเดินทาง, เวลาที่ไปถึงและเวลาปฏิบัติหน้าที่แต่ละจุดตรวจที่คำนวณได้ในพื้นที่เขตตรวจที่ 1

จุดตรวจ (i)	เขตตรวจที่ 1	เวลาที่ไปถึง (Ti) นาที	เวลารอปฏิบัติหน้าที่ (Wi) นาที
0	สน.หนองแขม	0	172.1
1	ม.เอื้ออาทร	175.5	
13	โรงไม้	180-210	
2	ม.ศรีพร	211	118.9
3	ช.อบกพิศ	334	
6	ม.พุดตาน	340.9	
8	ม.พรมศรีชัย 4	348.2	
9	ทุ่งทองพลาสิก	356.2	
11	ร.อ.ท้าวสงคราะห์	363.4	
10	สินพรพรกอนโด	367.1	
12	โกดังมจธ	371.8	
14	หน้าวัดอุดม	375 - 420	
7	โรงน้ำสะเม็ก	423.5	
5	ตูด ข.ก้านเฉลิม	435.9	
4	ข.จัดสรร 2	443.5	
0	สน.หนองแขม	449.1	



ในเขตตรวจที่ 2 ใช้เวลา 12 วินาที ผลรวมระยะทางตาม
โครงข่ายถนนที่สั้น (Z) คือ 18,120 เมตร โดยเลือกเส้นทาง (X_p)
ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ลำดับการเดินทาง, เวลาที่ไปถึงและเวลารอปฏิบัติหน้าที่แต่ละ
จุดตรวจที่คำนวณได้ ในพื้นที่เขตตรวจที่ 2

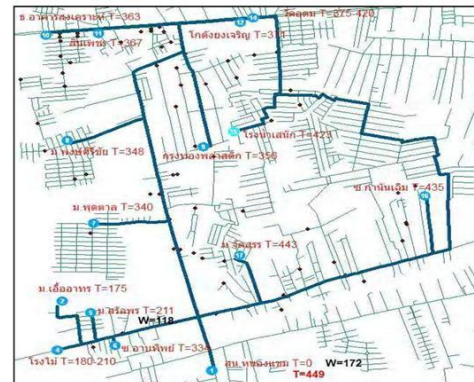
จุดตรวจ (i)	เขตตรวจที่ 2	เวลาที่ไปถึง (Ti) นาที	เวลารอปฏิบัติหน้าที่ (Wi) นาที
0	สน.หนองแขม	0	
3	กุ่มแก้วปุเปอร์	5.1	
4	บริษัทออลริส	9.2	
5	ซอยโชติช่วง	14.7	153.7
6	บ้าน สะหวัด	175.3	
13	นาคสภาร 2	180 - 240	110
7	69 อลูมิเนียม	350.9	
8	ซอยเพชรเกษม 71	356	
14	ตรงข้ามการ์ฟูร์	360 - 420	
9	บริษัทโตโยต้า	420.2	
10	ตลาดนครเพชรเกษม	424.1	
2	เพชรเกษม 1	429.5	
12	ม.เปรมปรีดิ์ ซอย 1	435.6	
11	โรงกลึง	441.5	
1	เสี้ยว	446.4	25.9
0	สน.หนองแขม	480	

ตารางที่ 14 ลำดับการเดินทาง, เวลาที่ไปถึงและเวลารอปฏิบัติหน้าที่แต่ละ
จุดตรวจที่คำนวณได้ ในพื้นที่เขตตรวจที่ 3

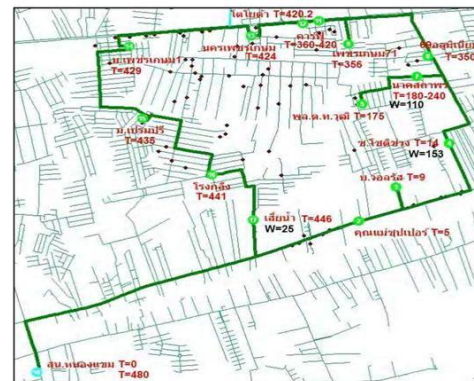
จุดตรวจ (i)	เขตตรวจที่ 3	เวลาที่ไปถึง (Ti) นาที	เวลารอปฏิบัติหน้าที่ (Wi) นาที
0	สน.หนองแขม	0	
5	ม.กานดา	1.4	
4	ช.ขุนสุข	6.5	
3	ม.พระปิ่น 4	13.3	
12	ช.ใจโฮ	31.3	
11	เพชรนิมิตร์	36.9	
10	โมเดิร์นฟาร์ม	41.1	
9	นาโกยา	46.5	362.7
8	รองพันเพน	415.1	
13	หน้าวัดหลักสาม	420 - 450	9.3
7	ทวีสุขฟาร์ม	459.6	
6	45/6 ฟังใต้	464.5	
2	วิทยาลัยการจัดการ	470.9	
1	มัยยฆาตหนองแขม	475.7	
0	สน.หนองแขม	480	

ในเขตตรวจที่ 3 ใช้เวลา 2 นาที 4 วินาที ผลรวมระยะทาง
ตามโครงข่ายถนนที่สั้น (Z) คือ 22,893 เมตร โดยเลือกเส้นทาง
(X_p) ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 14

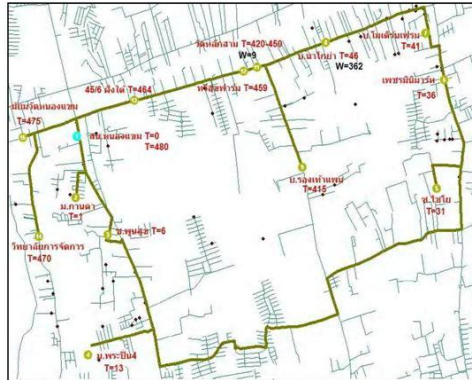
เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาแสดงเป็นเส้นทางการเดินทางในเขต
ตรวจที่ 1, 2 และ 3 จะได้ดังภาพที่ 9, 10 และ 11



ภาพที่ 9 เส้นทางการเดินทางที่คำนวณได้ ของเขตตรวจที่ 1



ภาพที่ 10 เส้นทางการเดินทางที่คำนวณได้ ของเขตตรวจที่ 2



ภาพที่ 11 เส้นทางการเดินทางที่คำนวณได้ ของเขตตรวจที่ 3

6. สรุป

จากการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการการแก้ปัญหาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์โลจิสติกส์ที่เสนอกับการเดินทางในเขตตรวจจริง พบว่ามีความสมเหตุสมผลสอดคล้องกับความเป็นจริง สามารถนำไปกำหนดให้สายตรวจเดินทางตามเส้นทางที่วางไว้ และไปถึงจุดตรวจตามเวลาที่กำหนด ทำให้การวางแผนการตรวจเป็นแบบแผนมากขึ้น จากเดิมที่ให้อิสระกับสายตรวจในการเลือกเดินทางซึ่งผู้บังคับบัญชาตรวจสอบได้ยาก ก็อาจจะเปลี่ยนเป็นสามารถกำหนดเส้นทาง, เวลาการปฏิบัติหน้าที่ และระยะเวลาเดินทาง

ข้อสังเกตผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณคือค่าการรอปฏิบัติหน้าที่ (W_i) มีค่ามาก ทำให้สายตรวจอยู่ที่นั่นเป็นเวลานาน สาเหตุเนื่องจากจำนวนจุดตรวจที่ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์นั้นเป็นจุดตรวจพื้นฐานที่มีความสำคัญสายตรวจต้องไปตรวจทุกครั้งเมื่อปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งมีจำนวนไม่มาก แต่ยังมีจุดตรวจอื่นๆ ที่ประชาชนขอความร่วมมืออีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งผู้วิจัยจะนำมารวมและคำนวณเพื่อให้การตรวจมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นไปอีก

นอกเหนือจากนี้แล้ว ในปัจจุบันสถานีตำรวจภูธรจังหวัดนนทบุรีมีระบบติดตามยานพาหนะ (GPRS Tracking) ของรถสายตรวจ ดังนั้น หากมีการนำการวิจัยนี้ประยุกต์เข้ากับระบบนี้ จะทำให้ผู้บังคับบัญชาสามารถตรวจสอบว่าสายตรวจเดินทางตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งจะเป็นผลดีในการป้องกันอาชญากรรมอย่างมาก

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ตำรวจสายตรวจ สถานีตำรวจนครบาลหนองแขม ที่เสียสละเวลาให้ข้อมูลในการทำวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ MLSC525011 ภายใต้โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ในหัวเรื่อง “การพัฒนาตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับการจัดการแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจ (Development of a Mathematical Model for Routing and Scheduling Police Patrol Service)” ความเห็นในรายงานผลกรวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

8. บรรณานุกรม

- [1] กิตติพัชร คลี่พันธุ์, 2545. การศึกษารูปแบบในการเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของตำรวจสายตรวจ สังกัดกองบังคับการตำรวจนครบาล 8. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.
- [2] เชมฐา โพนทอง, 2547. ปัญหาและอุปสรรคของเจ้าหน้าที่ตำรวจสายตรวจป้องกันและปราบปรามการป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมบนสะพานลอย วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

APPENDIX C

PUBLICATION IN

NATIONAL INDUSTRIAL ENGINEERING CONFERENCE 2010




การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมแห่งชาติ 2010
เพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เนื่องในวโรกาสทรงพระชนมายุ 84 พรรษา

การจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์
Routing and Scheduling of Police Patrol Service using Optimization Models

ชานนท์ คำนวนศักดิ์ (Chanon Kamnuansak)¹
สมชาย ปฐมศิริ (Somchai Pathomsiri)²

¹ฝ่ายอำนวยการ กองบังคับการตำรวจนครบาล 9 และสาขาเทคโนโลยีการจัดการระบบสารสนเทศ syamkik@hotmail.com
²ศูนย์ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบขนส่ง การจราจรและโลจิสติกส์ (T-LEX) และภาควิชาวิศวกรรมโยธา Somchai.Pat@mahidol.ac.th
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ : งานสายตรวจถือเป็นกระดูกสันหลังของภารกิจป้องกันและปราบปรามอาชญากรรม ในงานนี้ตำรวจสายตรวจมีภาระหน้าที่ความรับผิดชอบต้องออกตรวจตราพื้นที่เขตตรวจให้ทั่วถึงระหว่างเวลาที่เข้าเวรแต่ละผลัด โดยทฤษฎีแล้วตำรวจสายตรวจควรต้องไปเยือนจุดตรวจต่างๆ ตามที่ผู้บังคับบัญชากำหนดให้ครบถ้วน ทั้งที่เป็นจุดตรวจประจำชนิดตู้แดง ธนาคาร ร้านทอง จุดที่ประชาชนร้องขอความร่วมมือ และจุดตรวจในลักษณะของการตั้งด่านตรวจตามช่วงเวลาที่กำหนด บทความนี้รายงานผลการวิจัยและพัฒนาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับช่วยจัดแผนการตรวจเพื่อลดต้นทุนค่าเดินทางออกตรวจจุดตรวจหลัก อีกทั้งรายงานผลการศึกษาพฤติกรรมของปัญหานี้ เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นตามจำนวนจุดตรวจที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภท Optimization และระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ โดยใช้สถานีตำรวจนครบาลแห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษา ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วางแผนการตรวจจุดหลักได้อย่างเหมาะสม และจะประสบปัญหามากในการแก้ปัญหาเมื่อจำนวนจุดตรวจเพิ่มมากขึ้น และจำเป็นต้องอาศัยอัลกอริธึมหรือวิธีการประมาณค่าอื่นๆ เข้ามาช่วย

ABSTRACT : Police patrol service is very important for crime prevention and suppression. During the shift, patrol officers are responsible for visiting designated checkpoints in the zone. In theory, they should visit all checkpoints, including red-box, bank, goldsmith and additional vehicle checkpoints demanded by the commander. This paper discussed the research and development of a mathematical model for this purpose in order to minimize the travel cost of patrolling all main checkpoints. Also, it studied the behavior of the mathematical model as the number of checkpoints grows beyond the main checkpoints. This was done with the help of an optimization and geographic information system (GIS) software. The case study is from the police station in Bangkok Metropolitan Area. The analyses showed that the developed model could be used to plan the routing and scheduling of police patrol service through all main checkpoints. However, as the number of checkpoints grows larger, the optimization struggled to find an optimal solution even for a medium size problem. This implied the necessity of more efficient solution techniques or approximation methods such as heuristics that may obtain a sufficiently good solution in the reasonable amount of time.

KEYWORDS : Police, Patrol, Optimization, Mathematical Model, Optimization, Time Windows

1. บทนำ

การป้องกันและปราบปรามอาชญากรรมเป็นหน้าที่หลักของตำรวจ ในการดำเนินการเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ดังคำกล่าวที่ว่า งานสายตรวจเป็นกระดูกสันหลังของตำรวจ เพราะเป็นที่ยอมรับกันว่างานสายตรวจเป็นหัวใจสำคัญในการป้องกันอาชญากรรม นอกจากนั้นตำรวจสายตรวจยังสร้างความอบอุ่นและให้บริการแก่ประชาชนอีกด้วย [1] หากสายตรวจปฏิบัติหน้าที่ของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับการวางแผนป้องกันอาชญากรรมแล้ว ย่อมทำให้เป้าหมายในการป้องกันอาชญากรรมบรรลุผลสำเร็จ [2]

ทุกวันสถานีตำรวจแต่ละแห่งต้องจัดเวรสายตรวจออกตรวจพื้นที่รับผิดชอบ 3 ผลัดๆ ละ 8 ชั่วโมง ตำรวจสายตรวจใช้รถจักรยานยนต์เป็นพาหนะในการออกตรวจ โดยเริ่มปล่อยแถวออกตรวจจากสถานีตำรวจ กระจายไปตามจุดตรวจสถานที่สำคัญต่างๆ และจุดตรวจคันยานพาหนะที่ผู้บังคับบัญชาสั่งการไว้ให้ครบถ้วน จึงกลับมายังสถานีตำรวจเพื่อเปลี่ยนผลัด และสายตรวจผลัดต่อไปก็จะปฏิบัติภารกิจออกตรวจในลักษณะเดียวกันหมุนเวียนกันไป

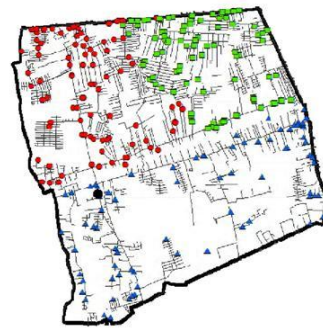
ปัจจุบันนี้สายตรวจตัดสินใจเลือกเส้นทางออกตรวจด้วยตนเอง ขอเพียงให้ตรวจครบถ้วนและตั้งด่านตรวจตรงเวลาที่ผู้บังคับบัญชาสั่งการ ซึ่งในมุมมองทางคณิตศาสตร์เส้นทางที่เลือกอาจจะไม่ใช่เส้นทางที่สั้นหรือประหยัดที่สุด ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญในการบริหารทรัพยากรของสถานีตำรวจ เพราะสถานีตำรวจแต่ละแห่งได้รับการจัดสรรน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างจำกัดมาก การประหยัดค่าใช้จ่ายของการออกตรวจในยามปกติและสงวนไว้ใช้ในการกิจป้องกันปราบปรามอาชญากรรมยามฉุกเฉินเป็นนโยบายการบริหารที่ดี ดังนั้นจึงเป็นปัญหามุ่งสนใจทำการวิจัยว่าจะทำให้แผนการตรวจของตำรวจสายตรวจมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้หรือไม่อย่างไร

จากการค้นคว้าพบว่าเริ่มมีการพัฒนาตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับงานวางแผนจัดกำลังสายตรวจในการป้องกันอาชญากรรมตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 1960 โดยงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการจัดสรรและการใช้งานตำรวจในการป้องกันอาชญากรรมปรากฏในวารสาร Management Science อย่างสม่ำเสมอ และปรากฏต่อเนื่องจนถึงทศวรรษที่ 1980 [3] งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการครอบคลุมเส้นทางมากที่สุดในการออกตรวจแต่ละ

ครั้ง [4] และการจัดสรรกำลังสายตรวจให้เหมาะสมกับพื้นที่ความรับผิดชอบ [5 - 9] ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากการทำงานของสายตรวจในประเทศไทยที่ออกตรวจตามที่ตั้งบังคับบัญชาที่กำหนดไว้ จึงอาจกล่าวได้ว่างานวิจัยนี้เป็นการบุกเบิกการใช้อนุคณิตศาสตร์ประยุกต์เพื่อช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทางและตารางการออกตรวจของตำรวจสายตรวจในประเทศไทย

2. กรณีศึกษา

การศึกษานี้เลือกใช้สถานีตำรวจนครบาลหนองแขมเป็นกรณีศึกษา ซึ่งแบ่งพื้นที่รับผิดชอบออกเป็น 3 เขตตรวจ แต่ละเขตตรวจมีจำนวนจุดตรวจผู้แดง, จุดตรวจธนาคาร, จุดตรวจร้านทอง และจุดตรวจคันยานพาหนะที่สายตรวจควรต้องเดินทางออกตรวจไม่เท่ากัน กล่าวคือ เขตตรวจที่ 1 (วงกลมในภาพที่ 1) มีจำนวน 95 จุดตรวจ, เขตตรวจที่ 2 (สี่เหลี่ยมในภาพที่ 1) มีจำนวน 92 จุดตรวจ และเขตตรวจที่ 3 (สามเหลี่ยมในภาพที่ 1) มีจำนวน 79 จุดตรวจ แสดงไว้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่สถานีตำรวจนครบาลหนองแขมและที่ตั้งจุดตรวจ

สายตรวจปฏิบัติงานด้วยการเดินทางไปยังจุดตรวจผู้แดง, จุดตรวจธนาคารและจุดตรวจร้านทอง ที่อยู่ภายในพื้นที่รับผิดชอบให้ครบถ้วน และตั้งจุดตรวจคันยานพาหนะตามเวลาที่กำหนดไว้ในแผนการตรวจของสายตรวจ ในการปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจในแต่ละจุดตรวจนั้นใช้เวลาในการปฏิบัติหน้าที่ (Service Time) แตกต่างกันตามชนิดของจุดตรวจ การปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจในแต่ละผลัด (ใช้เวลา 8 ชั่วโมง) ต้องเดินทางออกตรวจไปยังจุดตรวจหลักที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบ (เขตตรวจ) ให้ครบถ้วน

อาจเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจแล้วมีความคล้ายคลึงกับปัญหาโลจิสติกส์ของการขนส่งสินค้าอย่างมาก กล่าวคือ ในกรณีนี้สถานีตำรวจนั้นเปรียบดังศูนย์กลางกระจายสินค้า ในขณะที่จุดตรวจต่างๆ ที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบที่เป็นเสมือนลูกค้าที่สายตรวจต้องเดินทางไปให้ครบ นอกจากนี้สายตรวจต้องเดินทางไปยังจุดตรวจในช่วงเวลาที่กำหนดตามคำสั่งของผู้บังคับบัญชาเพื่อป้องกันอาชญากรรมในบริเวณนั้น ซึ่งเปรียบได้กับหน้าต่างเวลา (Time Windows) ของการขนส่งสินค้าในธุรกิจโลจิสติกส์นั่นเอง

งานวิจัยนี้จึงนำความรู้ด้านการใช้ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์มาใช้กับปัญหาการจัดแผนการตรวจของสายตรวจ โดยสร้างตัวแบบจำลองให้สอดคล้องกับลักษณะการปฏิบัติงานเดินทางออกตรวจของตำรวจสายตรวจให้มากที่สุด และใช้ข้อมูลจากการปฏิบัติงานจริงของสถานีตำรวจนครบาลหนองแขม อาศัยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณระยะทางการเดินทางตามโครงข่ายถนน ระหว่างจุดตรวจต่างๆ กับสถานีตำรวจ

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์จัดแผนการออกตรวจของสายตรวจให้ครอบคลุมจุดตรวจหลักและจุดตรวจคันยานพาหนะตามแผนการตรวจของสายตรวจที่ผู้บังคับบัญชาสั่งการไว้

3.1 ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์

ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับปัญหาการจัดแผนการตรวจของตำรวจสายตรวจแบบมีเงื่อนไขเรื่องเวลามีลักษณะเป็น Mixed Integer Linear Program (MILP) คำจำกัดความขององค์ประกอบต่างๆ ในตัวแบบประกอบด้วย

Set

N กลุ่มของจุดตรวจ

N' กลุ่มของจุดตรวจคันยานพาหนะจำลอง

ดัชนี (Indices)

i, j จุดตรวจ

i' จุดตรวจคันยานพาหนะจำลอง

o จุดเริ่มต้น คือสถานีตำรวจ

d จุดปลายทาง คือสถานีตำรวจ

Parameters

C_{ij}	ระยะทางระหว่างจุดตรวจ i ไป j
X_{od}	การเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง
$X_{ii'}$	การเดินทางจากจุดตรวจคันยานพาหนะไปยังจุดตรวจคันยานพาหนะจำลอง
X_{ji}	การเดินทางจากจุดตรวจคันยานพาหนะจำลองไปยังจุดตรวจคันยานพาหนะ
T_o	เวลาเริ่มเดินทาง ณ จุดเริ่มต้น
T_d	เวลามาถึง ณ จุดปลายทาง
S_i	ระยะเวลาที่สายตรวจต้องปฏิบัติหน้าที่ ณ จุดตรวจ i
t_{ij}	ระยะเวลาการเดินทางระหว่างจุดตรวจ i ไป j
a	เวลาที่มาถึงจุดตรวจคันยานพาหนะ
b	เวลาที่ออกจากจุดตรวจคันยานพาหนะ
M	ค่าคงที่ที่มากที่สุดเกี่ยวกับเงื่อนไขเวลา
Decision variables	
X_{ij}	$= 1$ เลือกเดินทางจากจุดตรวจ i ไป j $= 0$ ไม่เลือกเดินทางจากจุดตรวจ i ไป j
T_i	เวลาที่ไปถึงจุดตรวจ ณ จุดตรวจ i
T_j	เวลาที่ไปถึงจุดตรวจ ณ จุดตรวจ j
W_i	ระยะเวลาในการรอบปฏิบัติงาน ณ จุดตรวจ i

ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีรูปแบบดังนี้

Objective function

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in N \cup N' \cup \{o\}} \sum_{j \in N \cup N' \cup \{d\} - \{i\}} C_{ij} X_{ij}$$

Constraints

$$\sum_{j \in N \cup N' \cup \{d\} - \{i\}} X_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in N \cup N' \cup \{o\} \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N \cup N' \cup \{o\} - \{j\}} X_{ij} = 1 \quad ; \forall j \in N \cup N' \cup \{d\} \quad (2)$$

$$T_i + W_i + S_i + t_{ij} \leq T_j + M(1 - X_{ij}) \quad ; \forall i \in N \cup \{o\} ; \forall j \in N \cup \{d\} - \{i\} \quad (3)$$

$$X_{od} = 0 \quad (4)$$

$$X_{ii'} = 1 \quad ; i \in N, i' \in N' \quad (5)$$

$$X_{ji'} = 0 \quad ; i \in N, i' \in N' \quad (6)$$

$$T_o = 0 \quad (7)$$

$$T_i = a \quad ; i \in N \quad (8)$$

$$T_i = b \quad ; i \in N' \quad (9)$$

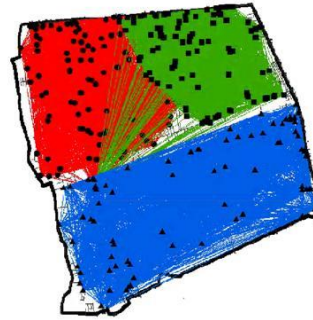
$$T_d = 480 \quad (10)$$

$$W_i = 0 \quad ; i \in N \quad (11)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นมุ่งหาเส้นทางการออกตรวจที่มีผลรวมของระยะทางรวมน้อยที่สุด เพื่อประหยัดพลังงาน เชื้อเพลิง เงื่อนไขที่ (1) และ (2) เป็นการบังคับให้ไปตรวจจุดตรวจแต่ละจุดเพียงครั้งเดียวเท่านั้น, เงื่อนไข (3) เป็นการกำหนดระยะเวลาของการปฏิบัติงาน เวลาไปถึงที่จุดตรวจ j จะต้องไม่เกิดขึ้นก่อนเวลาออกเดินทางจากจุดตรวจ i ใดๆ บวกด้วยเวลาปฏิบัติงานที่ i บวกด้วยเวลาปฏิบัติงานที่ j และเวลาเดินทางระหว่าง i ไป j , เงื่อนไข (4) ป้องกันไม่ให้เกิดการเดินทางระหว่าง o กับ d โดยตรงเนื่องจากทั้ง 2 จุดนี้คือสน. หนองแขม, เงื่อนไข (5) และ (6) เป็นการบังคับให้ทิศทางการออกตรวจเดินไปข้างหน้าหลังจากที่ดิ่งด้านตรวจคันยานพาหนะเสร็จสิ้นแล้ว, เงื่อนไข (7) ถึง (10) เป็นการกำหนดเวลา ณ จุดต่างๆ ระหว่างเส้นทางการตรวจ กล่าวคือ เงื่อนไข (7) เริ่มออกตรวจ ณ นาฬิกาที่ 0, เงื่อนไข (8) เริ่มดิ่งด้านตรวจคันยานพาหนะ ณ นาฬิกาที่ a และเสร็จสิ้นการดิ่งด้านด้วยเงื่อนไข (9) ณ นาฬิกาที่ b โดยที่เงื่อนไข (10) บอกเวลาเวลาสิ้นสุดแผนการตรวจคือ นาฬิกาที่ 480 หรือครบ 8 ชั่วโมงของการปฏิบัติงานที่ในผลการตรวจ ส่วนเงื่อนไข (11) นั้นบังคับว่าไม่ต้องให้สายตรวจรอบ ณ จุดตรวจคันยานพาหนะก่อนเข้าปฏิบัติงานที่

3.2 ต้นทุนในการเดินทาง

ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ข้างต้น จำเป็นต้องทราบต้นทุนการเดินทางระหว่างจุดตรวจต่างๆ รวมทั้งสถานีตำรวจ ซึ่งในที่นี้แทนด้วยระยะทางระหว่างกัน ซึ่งสะท้อนว่าถ้าห่างกันมากต้องเสียค่าใช้จ่าย (น้ำมันเชื้อเพลิง) มากตามไปด้วย การหาระยะทางระหว่างจุดตรวจใดๆ ทำได้โดยอาศัยฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ArcMap รุ่น 9.3 เป็นเครื่องมือ ซึ่งคำนวณได้ทั้งในรูปของระยะทางและระยะเวลาการเดินทางตามโครงข่ายถนนหรือที่เรียกว่า OD Cost Matrix ทั้งนี้ได้กำหนดความเร็วในการเดินทางของสายตรวจในถนนแต่ละเส้นเป็น 3 ระดับ คือ 30, 25 และ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากการวัดจริงในพื้นที่โดยการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ (Global Positioning System, GPS) ไปกับรถจักรยานยนต์สายตรวจที่ออกปฏิบัติงานที่จริง เมื่อสั่งให้โปรแกรม ArcMap คำนวณ OD Cost Matrix ระหว่างจุดตรวจทุกจุดของแต่ละเขตตรวจกับ สน. หนองแขม จะได้ดังภาพที่ 2

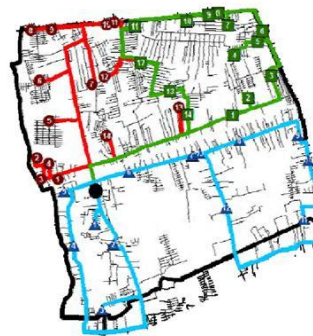


ภาพที่ 2 การหา OD Cost Matrix ระหว่างจุดตรวจต่างๆ กับสถานีตำรวจ

4. ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์

4.1 เส้นทางการตรวจจุดตรวจหลัก

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม LINDO 6.1 ในการแก้ปัญหาตัวแบบคณิตศาสตร์ซึ่งมีขีดความสามารถรองรับตัวแปรได้ 200,000 ตัวแปร จำนวนเงื่อนไขไม่เกิน 64,000 เงื่อนไข LINDO ใช้เวลาไม่นานนักก็สามารถแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ซึ่งแสดงภาพเส้นทางการตรวจสำหรับแต่ละเขตไว้ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลลัพธ์เส้นทางการตรวจจุดตรวจหลักจากตัวแบบคณิตศาสตร์

จากการตรวจสอบผลลัพธ์พบว่าแผนการตรวจที่ได้มีความเหมาะสม ตรวจจุดตรวจหลักได้ครบถ้วน ดิ่งด้านจุดตรวจคันยานพาหนะได้ตรงตามเวลาที่ผู้บังคับบัญชากำหนด เส้นทางการตรวจอยู่พอสมควร นั่นหมายถึงว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นั้นมีศักยภาพในการลดค่าใช้จ่ายการเดินทางออกตรวจลงได้มาก

4.2 การศึกษาภาระงานของสายตรวจ

ในทางทฤษฎี การปฏิบัติหน้าที่ของสายตรวจในแต่ละผลัด (ใช้เวลา 8 ชั่วโมง) ควรต้องเดินทางไปยังจุดตรวจที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบ (เขตตรวจ) ให้ครบทุกจุดตรวจ โดยที่แต่ละเขตมีจำนวนจุดตรวจที่มีรายชื่ออยู่มากถึงเกือบ 100 จุด (เฉลี่ยแล้วจุดตรวจละ $480/100 = 4.8$ นาที/จุดตรวจ โดยประมาณ) ในการที่จะเดินทางไปให้ครบทุกจุดตรวจ โดยที่ต้องไปตั้งด่านตรวจกันขนานพาดตามกำหนดช่วงเวลาที่กำหนดไว้ด้วย ทำให้เกิดข้อสงสัยว่าจำนวนจุดตรวจที่สายตรวจต้องรับผิดชอบอยู่นั้นเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งเป็นโจทย์ต่อเนื่องที่น่าสนใจศึกษาต่อไป

จากจุดตรวจหลักทั้งสิ้น 14 จุดในหัวข้อ 4.1 ผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มจุดตรวจเข้าไปในคิวแบบคณิตศาสตร์ครั้งละ 1 จุดตรวจและใช้โปรแกรม LINDO แก้ปัญหาการจัดแผนการตรวจที่มีจำนวนเพิ่มขึ้น ไปเรื่อย สาเหตุที่ไม่แก้ปัญหาทั้งหมดเสียทีเดียว แต่ใช้วิธีการเพิ่มเข้าไปคราวละจุดตรวจ เป็นเพราะตระหนักดีว่าปัญหาการจัดเส้นทางลักษณะนี้เป็นปัญหาที่ยากมาก (NP-Hard) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทั่วไปอาจจะไม่สามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ จึงน่าจะเป็นการดีกว่าที่จะค่อยๆ เพิ่มจำนวนจุดตรวจเข้าไปคราวละหนึ่งจุด ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถเรียนรู้พฤติกรรมของปัญหานี้ได้ด้วย

ในการแก้ปัญหาก็จะแบ่งเป็น 3 กรณีตามพื้นที่เขตตรวจของสายตรวจ โดยในเบื้องต้นจะแก้ปัญหาโดยใช้จุดตรวจจำนวน 12 จุดตรวจหลักที่ไม่กำหนดเงื่อนไขเวลา และอีก 2 จุดตรวจที่มีเงื่อนไขเวลา (จุดตรวจคั่นขนานพาด) แต่ในเขตตรวจที่ 3 มีเงื่อนไขเวลาเพียง 1 จุดตรวจ หากว่าโปรแกรม LINDO สามารถแก้ปัญหาได้ก็จะคำนวณเส้นทางใหม่โดยเพิ่มจุดตรวจเข้าไปครั้งละ 1 จุดตรวจ จนกว่าจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ผลลัพธ์การแก้ปัญหาแสดงไว้ในตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การแก้ปัญหาด้วยแบบสำหรับเขตตรวจที่ 1

จำนวนจุดตรวจ	จำนวน Node	จำนวนตัวแปร	ตัวแปรจำนวนเต็ม	จำนวนเงื่อนไข	Objective Function (km.)	เวลาประมวลผล (hr.)	ขนาดไฟล์ (KB)
12	18	308	273	321	23,672	0:1:33	15,276
13	19	344	307	357	24,236	0:4:11	28,996
14	20	382	343	395	24,501	0:31:46	393,384
15	21	422	381	435	24,707	0:42:49	365,021
16	22	464	421	477	25,786	1:00:43	704,764
17	23	508	463	521	26,001	4:27:49	2,701,546
18	24	554	507	567	26,001	7:25:24	4,150,340

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การแก้ปัญหาด้วยแบบสำหรับเขตตรวจที่ 2

จำนวนจุดตรวจ	จำนวน Node	จำนวนตัวแปร	ตัวแปรจำนวนเต็ม	จำนวนเงื่อนไข	Objective Function (km.)	เวลาประมวลผล (hr.)	ขนาดไฟล์ (KB)
12	18	308	273	321	18,283	0:0:5	147
13	19	344	307	357	18,404	0:0:6	366
14	20	382	343	395	18,800	0:0:11	351
15	21	422	381	435	19,637	0:1:23	10,105
16	22	464	421	477	19,816	0:2:21	15,922
17	23	508	463	521	20,121	0:4:35	30,423
18	24	554	507	567	20,164	0:10:08	40,480
19	25	602	553	615	20,164	0:20:25	92,296
20	26	652	601	665	20,186	0:21:46	107,907
21	27	704	651	717	20,198	2:38:28	152,245
22	28	758	703	771	20,254	2:37:47	647,340
23	29	814	757	827	20,739	57:32:41	2,484,518

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การแก้ปัญหาด้วยแบบสำหรับเขตตรวจที่ 3

จำนวนจุดตรวจ	จำนวน Node	จำนวนตัวแปร	ตัวแปรจำนวนเต็ม	จำนวนเงื่อนไข	Objective Function (km.)	เวลาประมวลผล (hr.)	ขนาดไฟล์ (KB)
12	16	242	211	255	23,831	0:1:18	13551
13	17	274	241	287	23,914	0:1:05	10600
14	18	308	273	321	24,245	0:2:47	30182
15	19	344	307	357	24,245	0:18:04	84,656
16	20	382	343	395	24,602	0:32:07	313,541
17	21	422	381	435	24,603	1:40:38	790,401
18	22	464	421	477	30,149	74:39:31	2,318,246

ในตารางที่ 1 นั้นเป็นผลลัพธ์สำหรับเขตตรวจที่ 1 จะเห็นว่าโปรแกรมเริ่มใช้เวลานานขึ้นมาก เมื่อเพิ่มจำนวนจุดตรวจเข้าไป ขนาดของปัญหาที่โปรแกรม LINDO สามารถแก้ปัญหาได้ คือ เพียง 18 จุดตรวจเท่านั้น ซึ่งใช้เวลานานถึง 7 ชั่วโมง 25 นาที หลังจากนั้น โปรแกรมจะหยุดทำงานเนื่องจากหน่วยความจำเต็ม หรือแสดงปัญหาอย่างอื่น

เขตตรวจที่ 2 เป็นเขตที่โปรแกรม LINDO แก้ปัญหาได้มากที่สุด คือ 23 จุดตรวจ โดยใช้เวลานานกว่า 57 ชั่วโมง

เขตตรวจที่ 3 สามารถแก้ปัญหาได้เพียง 18 จุดเช่นเดียวกับเขตตรวจที่ 1 แต่ใช้เวลานานกว่ามากถึง 74 ชั่วโมง ขนาดของไฟล์ผลลัพธ์ของแต่ละเขตตรวจมีขนาดใหญ่มากถึง 4.1GB, 2.4GB และ 2.3GB, สำหรับเขตตรวจที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ในส่วนเวลาปฏิบัติหน้าที่ (W_i) นั้นลดลงตามจำนวนจุดตรวจที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะที่ถูกต้อง เนื่องจากภาระงานมากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4 เวลาปฏิบัติหน้าที่ (นาที) ในแต่ละเขตตรวจ

จำนวนจุดตรวจ	เขตตรวจที่ 1	เขตตรวจที่ 2	เขตตรวจที่ 3
12	302.44	300.10	350.55
13	280.99	293.71	347.22
14	293.12	289.26	343.44
15	283.83	285.55	340.44
16	278.62	280.47	335.86
17	270.75	278.23	316.76
18	268.10	275.23	313.57
19		272.13	
20		269.07	
21		265.14	
22		252.36	

5. สรุป

การจัดแผนการตรวจของสายตรวจมีลักษณะของปัญหาคู่คล้ายคลึงกับปัญหาทางธุรกิจโลจิสติกส์เป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์และอาศัยข้อมูลจากฐานข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศมาช่วยจัดแผนการตรวจ ซึ่งสามารถใช้งานได้สำหรับการจัดแผนการตรวจจุดตรวจหลัก (จำนวน 14 จุดตรวจ) อย่างไรก็ตามความพยายามในการจัดแผนการตรวจให้ครอบคลุมจุดตรวจทั้งหมดรวม 100 จุดในแต่ละเขตเป็นงานวิจัยต่อเนื่องที่น่าสนใจทำต่อไป เพราะมี

ประโยชน์มากในการพิจารณาภาระงาน จำนวนจุดตรวจที่เหมาะสม หรือแม้กระทั่งขนาดของเขตตรวจที่เหมาะสม ผลลัพธ์จากเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาโดย LINDO แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าปัญหาการจัดเส้นทางแผนการตรวจของสายตรวจเป็นปัญหาคณิตศาสตร์ที่ยากมาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปอาจจะไม่สามารถแก้ปัญหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ (Optimal Solution) แม้แต่ปัญหาซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก นอกจากนี้ยังไม่อาจคาดเดาได้ว่าจะใช้เวลานานเพียงใด บางเขตตรวจใช้เวลานานมาก แต่แก้ปัญหาจุดตรวจได้น้อยกว่า เพื่อให้ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จำเป็นต้องอาศัยอัลกอริธึมอื่นๆ หรือใช้วิธีการประมาณการเพื่อให้ได้คำตอบที่ลู่พอและใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัญหาวางานวิจัยที่ท้าทายมาก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ตำรวจสายตรวจ สถานีตำรวจนครบาลหนองแขม ที่เสียสละเวลาให้ข้อมูลในการทำวิจัย, ขอขอบคุณ พ.ต.ท.ศราวุธ บวรกิจประเสริฐ สารวัตรฝ่ายอำนวยการ กองบังคับการตำรวจนครบาล 9 ที่ให้คำปรึกษา และงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต (สกว.) ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ประจำปี 2552 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้เขียน สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

7. บรรณานุกรม

- [1] วรรณรัตน์ ษรรัตน์ (2543). แนวทางการบริหารและพัฒนาระบบป้องกันปราบปราม. กรุงเทพฯ, กองบัญชาการตำรวจนครบาล.
- [2] กิตติพัชร คลีพันธุ์ (2545). การศึกษาแบบในการเพิ่มประสิทธิภาพปฏิบัติงานของตำรวจสายตรวจ สังกัดกองบังคับการตำรวจนครบาล 8. สาขาสังคมศาสตร์เพื่อการพัฒนา โครงการบัณฑิตศึกษา สถาบันราชภัฏธนบุรี.
- [3] Green, L. V. & Kolesar, P. J. (2004). "Improving Emergency Responsiveness with Management Science." *Management Science* 50(8): 1001-1014.
- [4] Olson, D. G. & Gordon, P. W. (1975). "Models for Allocating Police Preventive Patrol Effort." *Operational Research Quarterly* (1970-1977) 26(4): 703-715.
- [5] Chelst, K. (1978). "An Algorithm for Deploying a Crime Directed (Tactical) Patrol Force." *Management Science* 24(12): 1314-1327.

- [6] Lee, S. M., Franz, L., & Wynne, A. J., (1979). "Optimizing State Patrol Manpower Allocation." The Journal of the Operational Research Society 30(10): 885-896
- [7] Reis, D., Melo, A., Coelho, A. & Furtado, V (2006). Towards Optimal Police Patrol Routes with Genetic Algorithms. Intelligence and Security Informatics, 485-491.
- [8] Wan-Lung, N. (2007). Routing a Patrolling Unit in Distributed Service Networks. International Conference on Service Systems and Service Management, 2007.
- [9] Tongo, C. I. (2010). "Dynamic Programming and the Deployment of a Crime Preventive Patrol Force." European Journal of Social Sciences 15(3).

BIOGRAPHY

NAME	Pol. Capt. Chanon Kamnuansak
DATE OF BIRTH	18 February 1982
PLACE OF BIRTH	Phetchabun, Thailand
INSTITUTIONS ATTENDED	Royal Police Cadet Academy, 2002-2005 Bachelor of Public Administration Sukhothai Thammathirat Open University, 2002-2005 Bachelor of Laws Mahidol University, 2006-2011 Master of Science (Technology of Information System Management)
RESEARCH GRANTS	The Thailand Research Fund (TRF) under the scheme of Master Research Grants in Supply Chain Management and Logistics 2552 (B.E), contract number MLSC525011.
HOME ADDRESS	903/52, Soi 43, Rama II Rd. Bangmod, Chomtong, Bangkok 10150 Tel. 08-6366-4359 Email: syamkik@hotmail.com
EMPLOYMENT ADDRESS	Metropolitan Police Division 9 903, Soi 43, Rama II Rd. Bangmod, Chomtong, Bangkok 10150 Tel. 0-2451-8676
PUBLICATION / PRESENTATION	Pathomsiri, S., and Kamnuansak, C. (2009). <i>An Application of a Logistics Model for Routing and Scheduling of Police Patrol Service.</i> Paper presented at The 14 th National

Convention on Civil Engineering,
Nakhon Ratchasima, Thailand.

Kamnuansak, C., & Pathomsiri, S. (2010).

*Routing and Scheduling of Police
Patrol Service using a Logistics
Model.* Paper presented at The 15th
National Convention on Civil
Engineering, Ubon Ratchathani,
Thailand.

Kamnuansak, C., and Pathomsiri, S. (2010).

*Routing and Scheduling of Police
Patrol Service using Optimization
Models.* Paper presented at the
National Industrial Engineering
Conference 2010, Bangkok,
Thailand.