


การศึกษาและเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจการก่อสร้างคูโมงค์
เพื่อจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล



นาย บารมินทร์ เจริญพานิช

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2178-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE STUDY AND COMPARISON OF THE ACCURATE POSITION IN TUNNEL SURVEYING
CONSTRUCTION FOR MAKING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN
M.R.T.CHALOEM RATCHAMONGKHON LINE PROJECT

Mr. Baramin Chareanpanich

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2178-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจ
การก่อสร้างอุโมงค์เพื่อจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในโครงการรถไฟฟ้า
มหานคร สายเฉลิมรัชมงคล
โดย นายบารมีนทร์ เจริญพานิช
สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บวรเจตน์ พลະการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บวรเจตน์ พลະการ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์)

บารมินทร์ เจริญพานิช : การศึกษาและเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งใน
 การทำงานสำรวจการก่อสร้างอุโมงค์เพื่อจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ใน
 โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล (The study and comparison of the
 accurate position in tunnel surveying construction for making geographic
 information system in project M.R.T Chaloe Ratchamongkhon Line Project)
 อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.บรรเจิด พละการ, 142หน้า. ISBN 974-17-2178-1

จากการที่กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงที่มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็น
 ศูนย์กลางในหลายด้าน เช่น ด้านการขนส่ง การศึกษา เศรษฐกิจ ฯลฯ ส่งผลให้มีการขยายตัวของ
 จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด ดังนั้น ภาครัฐจึงได้กำหนด
 แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวขึ้น โดยทำการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน ในโครงการรถไฟฟ้ามหา
 นครสายเฉลิมรัชมงคล ภายใต้การกำกับดูแลของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟ
 ม.) ซึ่งในการก่อสร้างของโครงการดังกล่าว โดยเฉพาะการก่อสร้างอุโมงค์เพื่อเป็นเส้นทางทาง
 วิ่งนั้นจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีทางการสำรวจที่ทันสมัยมาใช้ และใช้ความรู้ ความสามารถ
 ตลอดจนประสบการณ์ในการทำงาน ซึ่งนับว่าเป็นประสบการณ์ใหม่สำหรับวิศวกรสำรวจใน
 ประเทศไทย ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจที่จะทำการศึกษา รวบรวม
 ข้อมูลวิธีการทำงานสำรวจ รวมถึงการเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการควบคุมทิศทางใน
 การขุดเจาะอุโมงค์โดยใช้งานสำรวจ โดยในการศึกษาได้แบ่งวิธีการสำรวจออกเป็น 2 วิธี คือ วิธี
 Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System เพื่อเปรียบเทียบว่าวิธีใด
 ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เหมาะสมกว่ากัน

จากการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล (Compare Mean) และค่าเฉลี่ยของ
 กลุ่มประชากร (One Sample Test) พบว่าการทำงานสำรวจโดยวิธี Robotec Survey System เป็น
 วิธีที่มีความเหมาะสมกับการทำงานสำรวจเพื่อการขุดเจาะอุโมงค์สำหรับรถไฟฟ้าใต้ดิน นอกจากนี้
 งานวิจัยได้นำเสนอผลการทดสอบทางสถิติบนพื้นฐานโครงสร้างข้อมูล โดยมีลักษณะการนำเสนอใน
 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ซึ่งเป็นการแทนข้อมูลภูมิศาสตร์ด้วยข้อมูลสถิติที่ได้จากการวิจัย
 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่อไปในอนาคต

ภาควิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมสำรวจ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2545.....

4270396321: MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEY WORD: TUNNEL SURVEYING/ LASER THEODOLITE AND TARGET UNIT/
ROBOTEC SURVEY SYSTEM

BARAMIN CHAREANPANICH: THE STUDY AND COMPARISON OF
THE ACCURATE POSITION IN TUNNEL SURVEYING
CONSTRUCTION FOR MAKING GEOGRAPHIC INFORMATION
SYSTEM PROJECT IN MRT CHALEOM RATCHAMONGKON LINE
PROJECT

THESIS ADVISOR: ASSIST.PROF.DR.BANJERD PHALAKARN,142 pp.
ISBN 974-17-2178-1

Bangkok is one of the biggest cities that are centers for transportation, education, economy, etc. The growth of Bangkok brings expansion of the city intensity of population and consequentially traffic congestion. One of the governmental solutions is construction of MRT Chaleom Ratchamongkhon Line that is under Mass Rapid Transit Authority of Thailand (MRTA). New-technique survey method was adopted in the construction. Tunneling in the first underground line that was counted to be the newest technology in Thailand requires accurate techniques, knowledge, ability, resolution and experience. It is worth for Thai survey engineers.

Researcher has inspiration of studying the methods in tunneling survey by comparing the accuracy of each method. There are two methods Robotec Survey System and Laser Theodolite and Target Unit adopted in the project.

According the study, the statistics results show that Robotec Survey System is more appropriate than Laser Theodolite and Target Unit to be used in tunneling. The results will be reported through GIS application, ArcView by replacing geographic information with statistics results from the study.

Department.....Survey Engineering.....Student's signature.....

Field of study.....Survey Engineering.....Advisor's signature.....

Academic year...2002.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.บรรเจิด พละการ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ และได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ อ. ถาวร แก้วญาณะ ที่ได้ให้แนวคิดอันมีประโยชน์อย่างมากต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ได้สั่งสอนให้ความรู้รวมทั้งอาจารย์กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาใช้เวลาในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่เรียนในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน และขอขอบพระคุณ คุณวิทยา พันธุ์มงคล วิศวกร การรถไฟฯ ขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวเจริญพานิช ซึ่งเป็นครอบครัวของผู้วิจัยที่ได้ให้การสนับสนุน และคอยดูแลสุขภาพของผู้วิจัยตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้

บารมีนทร์ เจริญพานิช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 แนวเหตุผล ทฤษฎี หรือสมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	6
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย.....	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....	8
2.1 การถ่ายค่าพิกัดทางราบและค่าพิกัดทางตั้งลงสู่ใต้ดิน.....	9
2.2 ระบบนำทางของการสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....	15
2.3 อุปกรณ์นำทางของการสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน.....	18
2.4 ลักษณะและตำแหน่งของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์.....	22
2.5 การบังคับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในทิศทางโค้ง.....	27
2.6 การตรวจสอบตำแหน่งอุโมงค์ที่ประกอบไว้แล้ว.....	31
2.7 แบบของแนวอุโมงค์.....	33
2.8 การรายงานผลการทำงานสำรวจ.....	35

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	41
3.1 การเลือกตำแหน่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
3.2 จำนวนข้อมูลที่นำมาทำการวิจัย.....	42
3.3 ลักษณะข้อมูลที่นำมาวิจัย.....	47
3.4 ตำแหน่งข้อมูลที่นำมาวิจัย.....	50
3.5 การกำหนดตัวแปรข้อมูลที่นำมาวิจัย.....	55
3.6 ค่าความถูกต้องของเครื่องมือทำงานสำรวจ.....	56
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	58
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	59
4.1 ข้อมูลวิจัย.....	59
4.2 สถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	60
4.3 การทดสอบค่าทางสถิติพื้นฐานกลุ่มข้อมูล.....	62
4.4 การนำข้อมูลมาทำการทดสอบ.....	77
4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มข้อมูล (Compare Mean).....	79
4.6 การวิเคราะห์ความถูกต้องโดยวิธี Paired t-Test.....	85
4.7 การทดสอบค่า Independent Sample Test	86
4.8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One sample test).....	88
4.9 การนำเสนอผลการวิจัย.....	99
บทที่ 5 บทสรุป.....	107
5.1 สรุปงานวิจัย.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	110
รายการอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก.....	112
ภาคผนวก ก.....	113
ภาคผนวก ข.....	115
ภาคผนวก ค.....	139
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	142

สารบัญตาราง

ณ

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการคำนวณค่าพิกัดและระดับที่ออกแบบเปรียบเทียบกับวงแหวนที่ติดตั้งไปแล้ว.	39
3.1 แสดงจำนวนข้อมูลจากวิธีการทำงานสำรวจวิธี Laser Theodolite and Target Unit ..	45
3.2 แสดงจำนวนข้อมูลจากวิธีการทำงานสำรวจวิธี Robotec Survey System.....	46
3.3 แสดงการกำหนดตัวแปรข้อมูลวิจัยด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit	55
3.4 แสดงการกำหนดตัวแปรข้อมูลวิจัยด้วยวิธี Robotec Survey System.....	55
4.1 แสดงจำนวนข้อมูลที่เก็บด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit	59
4.2 แสดงจำนวนข้อมูลที่เก็บด้วย วิธี Robotec Survey System	59
4.3 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 1 of Method 1.....	65
4.4 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 2 of Method 1.....	66
4.5 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 3 of Method 1.....	67
4.6 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 4 of Method 1.....	68
4.7 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 5 of Method 1.....	69
4.8 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 6 of Method 1.....	70
4.9 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 1 of Method 2.....	71
4.10 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 2 of Method 2.....	72
4.11 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 3 of Method 2.....	73
4.12 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 4 of Method 2.....	74
4.13 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 5 of Method 2.....	75
4.14 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 6 of Method 2.....	76
4.15 แสดงค่าทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธีการ Laser Theodolite and Target.....	79
4.16 แสดงค่าทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธีการ Robotec Survey System.....	81
4.17 แสดงค่าสถิติขั้นพื้นฐานทั่วไป.....	84
4.18 แสดงการทดสอบ ค่า Independent Sample T-test	86
4.19 แสดงการทดสอบ One-Sample Statistics บนแกน X	89
4.20 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%.....	89
4.21 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ที่ช่วงความเชื่อมั่น 90%.....	90
4.22 แสดงการทดสอบ One-Sample Statistics บนแกน Y	92
4.23 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%.....	92
4.24 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ที่ช่วงความเชื่อมั่น 90%.....	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตารางที่	หน้า
4.25 แสดงการทดสอบ One-Sample Statistics บนแกน Z	95
4.26 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%.....	95
4.27 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ที่ช่วงความเชื่อมั่น 90%.....	96



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ฎ

รูปที่	หน้า
1.1	แสดงวิธีการทำงานสำรวจแบบ Robotec Survey System..... 4
1.2	แสดงวิธีการทำงานสำรวจแบบ Laser Theodolite and Target Unit..... 5
2.1	แสดงลักษณะทั่วไปของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 8
2.2	แสดงลักษณะหมุดบังคับทางราบและหมุดบังคับทางตั้ง..... 9
2.3	แสดงลักษณะของกล้องสำรวจสำหรับการถ่ายภาพักัดฉาก..... 10
2.4	แสดงการถ่ายภาพักัดฉากในภาคสนาม..... 11
2.5	แสดงการกำหนดตำแหน่งจากการถ่ายภาพักัดฉากบริเวณใต้ดิน..... 11
2.6	แสดงการถ่ายภาพักัดทางราบ..... 12
2.7	แสดงการถ่ายภาพักัดทางตั้ง..... 13
2.8	แสดงการทำงานวงรอบและระดับในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน..... 14
2.9	แสดงตำแหน่งติดตั้งหมุดวงรอบภายในอุโมงค์..... 15
2.10	แสดงวิธีการทำงานสำรวจ Robotec Survey System 16
2.11	แสดงวิธีการทำงานสำรวจ Laser Theodolite and Target Unit 17
2.12	แสดงตำแหน่งเป้ารับแสงด้านท้ายของหัวเจาะและขนานกับแกนหัวเจาะ..... 18
2.13	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของกล้องสำรวจแสงเลเซอร์..... 18
2.14	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์รับแสงเลเซอร์..... 19
2.15	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์วัดตำแหน่งของหัวชุดเจาะอุโมงค์..... 20
2.16	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล และอุปกรณ์ควบคุมการ..... 21
2.17	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องชุดเจาะอุโมงค์..... 22
2.18	แสดงลักษณะ และตำแหน่งของเครื่องชุดเจาะอุโมงค์..... 23
2.19	แสดงจุดสำรวจในเครื่องชุดเจาะอุโมงค์..... 23
2.20	แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดเลเซอร์..... 25
2.21	แสดงการตรวจสอบเครื่องชุดเจาะอุโมงค์กัมหรือเงย..... 26
2.22	แสดงการตรวจสอบเครื่องชุดเจาะอุโมงค์หมุนรอบตัวเอง..... 27
2.23	แสดงการบังคับหัวชุดเจาะอุโมงค์ในโค้งวงกลม..... 28
2.24	แสดงการบังคับหัวชุดเจาะอุโมงค์ในโค้งสไปรัล..... 29
2.25	แสดงการหาระยะออฟเซตหัวชุดเจาะอุโมงค์..... 30
2.26	การตรวจสอบทิศทางการหมุนของชิ้นส่วนอุโมงค์ (Rolling)..... 31
2.27	การตรวจสอบทิศทางการเอียงของชิ้นส่วนอุโมงค์ (Pitching)..... 31

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 แสดงการการตรวจสอบทิศทางการเอียงในภาคสนาม.....	32
2.29 แสดงการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจุดศูนย์กลางจากค่าออกแบบ.....	32
2.30 แสดงลักษณะแบบของแนวอุโมงค์.....	33
2.31 การรายงานตำแหน่งของเครื่องเจาะ.....	36
2.32 การรายงานตำแหน่งของเครื่องเจาะ.....	37
2.33 แสดงผลของการคำนวณตำแหน่งของจุดสำรวจ และตำแหน่งของวงแหวน.....	38
2.34 แสดงตัวเลขจากการวัดความยาวของแฉ็คและค่าออกแบบ ค่าต่างความยาวของแฉ็ค	40
3.1 แสดงลักษณะอุโมงค์คู่วงเดี่ยว.....	42
3.2 แสดงการวัดค่าพิกัดภายในอุโมงค์ 8 ตำแหน่ง.....	43
3.3 แสดงตำแหน่งที่วัดค่าพิกัดภายในอุโมงค์ 8 ตำแหน่ง.....	43
3.4 แสดงการสมมติระยะออกไปจากแนวอุโมงค์(Offset-Line).....	44
3.5 แสดงคำนวณค่าพิกัดที่ตำแหน่งศูนย์กลางอุโมงค์.....	44
3.6 แสดงตัวอย่างข้อมูลวิธี Laser Theodolite and Target Unit	45
3.7 แสดงตัวอย่างข้อมูลจากวิธี Robotec Survey System.....	46
3.8 แสดงข้อมูลตำแหน่งของอุโมงค์.....	48
3.9 แสดงข้อมูลค่าพิกัดออกแบบ และข้อมูลค่าพิกัดภาคสนาม.....	49
3.10 แผนผังแสดงตำแหน่งช่วงข้อมูลที่น่าสนใจ.....	50
3.11 แสดงช่วงข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์กับสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่.....	52
3.12 แสดงช่วงข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่ กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินลุมพินี..	52
3.13 แสดงช่วงระหว่างระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสามย่านกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน หัวลำโพง.....	53
3.14 แสดงช่วงข้อมูลระหว่างระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินพระราม9กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ ดินเพชรบุรี.....	53
3.15 แสดงช่วงเก็บข้อมูลระหว่างระหว่างระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเพชรบุรีกับสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท.....	54
3.16 แสดงตำแหน่งเก็บข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์.....	54
3.17 แสดงกล้องสำรวจ Laser Theodolite	56

สารบัญญภาพ(ต่อ)

๗

รูปที่	หน้า
3.18 แสดงกล่องสำรวจ Automatic Survey System.....	57
3.19 แสดงลักษณะทั่วไปของโปรแกรม Spss for Windows.....	58
4.1 แสดงวิธี Laser Theodolite and Target Unitบนโปรแกรม Spss for Windows	78
4.2 แสดงวิธี Robotec Survey Systemบนโปรแกรม Spss for Windows	78
4.3 ฮิสโตแกรมแสดงค่าความคลาดเคลื่อนบนแกนXวิธี Laser Theodolite	80
4.4 ฮิสโตแกรมแสดงค่าความคลาดเคลื่อนบนแกนYวิธี Laser Theodolite	80
4.5 ฮิสโตแกรมแสดงค่าความคลาดเคลื่อนบนแกนZวิธี Laser Theodolite	81
4.6 ฮิสโตแกรมแสดงค่าความคลาดเคลื่อนบนแกนX วิธี Robotec.....	82
4.7 ฮิสโตแกรมแสดงค่าความคลาดเคลื่อนบนแกนY วิธี Robotec.....	82
4.8 ฮิสโตแกรมแสดงค่าความคลาดเคลื่อนบนแกนZวิธี Robotec.....	83
4.9 ตัวอย่างการคำนวณข้อมูลบนโปรแกรม Spss for Windows.....	83
4.10 แสดงลักษณะการแจกแจงแบบที (t-Distribution)	85
4.11 ตัวอย่างข้อมูลในรูปแบบของ CAD Drawing.....	99
4.12 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุม แห่งชาติสิริกิติ์กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่ 2 ตำแหน่ง (Laser Theodolite and Target Unit).....	101
4.13 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่ กับสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท 2 ตำแหน่ง (Laser Theodolite and Target Unit).....	102
4.14 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสามย่านกับสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินหัวลำโพง 2 ตำแหน่ง (Laser Theodolite and Target Unit).....	103
4.15 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินพระราม9 กับสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินเพชรบุรี 2 ตำแหน่ง (Robotec Survey System).....	104
4.16 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเพชรบุรี กับสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท 2 ตำแหน่ง (Robotec Survey System).....	105
4.17 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กับสถานี รถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ 2 ตำแหน่ง (Robotec Survey System).....	106

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำงานสำรวจเพื่อก่อสร้างอุโมงค์ของประเทศไทย เริ่มต้นตั้งแต่ปี พ.ศ.2519 โดยการประสานครหลวงได้มีแผนงานที่จะทำโครงการอุโมงค์ส่งน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3.50 เมตร ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งกลุ่มบริษัทก่อสร้างไทยและญี่ปุ่นเป็นผู้รับเหมาก่อสร้างกลุ่มแรกที่เข้ามาดำเนินการ หลังจากนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนางานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์มาเป็นลำดับทั้งจากการศึกษารูปแบบการทำงานสำรวจ วิธีการทำงานสำรวจ การวางแผนงานสำรวจและเทคโนโลยีในการทำงานสำรวจต่างๆ ตลอดจนการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้สำหรับการควบคุมทิศทางในการทำงานสำรวจมาจนถึงปัจจุบัน

โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล เป็นโครงการแรกที่น่าเทคโนโลยีทันสมัยมาใช้ในการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ถึงแม้ว่าในประเทศไทยจะมีการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์ชนิดอื่นๆ เช่น อุโมงค์ส่งน้ำของการประปานครหลวงมานานแล้วก็ตาม แต่สำหรับเทคโนโลยีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินนั้นถือว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่สำหรับประเทศไทย ดังนั้นเมื่อเราพิจารณาวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินในต่างประเทศซึ่งมีมานานกว่า 100 ปี จึงสามารถสรุปได้ว่าการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์สำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินนั้นเป็นวิธีการทำงานสำรวจที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงและเป็นการทำงานในโครงการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งยังเป็นงานที่ต้องใช้ความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ในการทำงานตลอดจนการแก้ไขปัญหาในการทำงานที่เกิดขึ้นจากการทำงานสำรวจซึ่งนับว่าเป็นประสบการณ์ใหม่สำหรับวิศวกรสำรวจในประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทยการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินได้มีการวางแผนการทำงานสำรวจศึกษาถึงวิธีการทำงานสำรวจ และศึกษาข้อบกพร่องของวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของโครงการต่างๆ ทั่วโลก แล้วจึงนำมาพัฒนาและปรับปรุงเพื่อให้ได้วิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์ที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพมากที่สุดในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ซึ่งในการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินนั้น สามารถแบ่งจากลักษณะของการทำงานได้เป็น 2 ส่วน คือ การทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน และการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาลักษณะของข้อมูล การรวบรวมวิธีการทำงานสำรวจ รวมถึง ทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในโครงการ รถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล โดยนำมาเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการทำงานเพื่อ การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่แตกต่าง โดยเน้นที่การควบคุมทิศทางของการขุดเจาะอุโมงค์ โดยวิธี Robotec Survey System และวิธีการ Laser Theodolite and Target Unit และนำข้อมูล ทางตำแหน่งที่ได้จากการทำงานสำรวจภาคสนามมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ทางตำแหน่งจากการออกแบบ เพื่อหาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของวิธีการทำงานสำรวจ ซึ่งได้ มีการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) มาใช้ในการ นำเสนอผลของการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและจะเป็นประโยชน์ในการสร้างฐานข้อมูลโครงการ ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- 1.2.1 เพื่อรวบรวมวิธีการทำงานสำรวจของก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยการนำ ข้อมูลทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์หาความถูกต้องทางตำแหน่งและ เปรียบเทียบความเหมาะสมของแต่ละวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่จะนำไปใช้ในแนวทางสำหรับการสร้าง ฐานข้อมูลของโครงการในอนาคตต่อไป
- 1.2.4 เพื่อเผยแพร่ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการทำงานสำรวจ ขั้นตอนการ ทำงานสำรวจ และการวางแผนการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟฟ้าในโครงการ รถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ซึ่งเป็นโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายแรกของประเทศไทยเพื่อ เป็นข้อมูลทางวิชาการต่อไป

1.3 แนวเหตุผล ทฤษฎี หรือสมมติฐาน

ความสำคัญของการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินนั้นเป็นเทคโนโลยี ที่วิศวกรสำรวจจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการศึกษา ตลอดจนการปรับวิธีการทำงานเพื่อใช้ให้ เกิดประโยชน์ในการทำงานสำรวจมากที่สุด รวมถึงการรวบรวมข้อมูลทางตำแหน่งในการทำงาน

สำรวจและเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินเพื่อที่จะได้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความรู้ในแขนงวิชาวิศวกรรมสำรวจต่อไป

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน คือ การขาดความรู้และความเข้าใจในการทำงานสำรวจ เนื่องจากไม่มีการรวบรวมวิธีการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ชัดเจน รวมถึงไม่มีการเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีความสำคัญมากในการชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างกันทั้งในลักษณะของวิธีการทำงานสำรวจและรายละเอียดต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น

โดยในการศึกษาวิจัยจะพิจารณาถึงวิธีการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน ซึ่งได้จากการทำงานสำรวจด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดสูง มีความถูกต้องแม่นยำ และต้องพิจารณาถึงวิธีการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์อื่นๆ ประกอบกันด้วย เช่น การยอมรับจุดอ้างอิงทางด้านงานสำรวจ การรายงานการสำรวจ การวางตำแหน่งงานก่อสร้างไม่ว่างงานชั่วคราวหรืองานถาวร การควบคุมการขับเคลื่อนของหัวขุดเจาะอุโมงค์ การสำรวจการบิดเบี้ยวของตัวอุโมงค์ (Tunnel Wriggle Survey) การทำแบบก่อสร้างของงานสำรวจ ซึ่งในการทำงานสำรวจอุโมงค์ (Tunnel Survey) จะต้องมีวิศวกรสำรวจคอยควบคุมดูแลและตรวจสอบคุณภาพงาน โดยทีมสำรวจจะแยกเป็นอิสระกับทีมระบบควบคุมหัวเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการควบคุมทิศทาง ซึ่งในการทำงานสำรวจเพื่อควบคุมทิศทางของหัวเจาะ (Alignment Control) นั้นจะสามารถกระทำด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และ Robotec Survey System โดยการศึกษวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1.3.1 การรวบรวมวิธีการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์

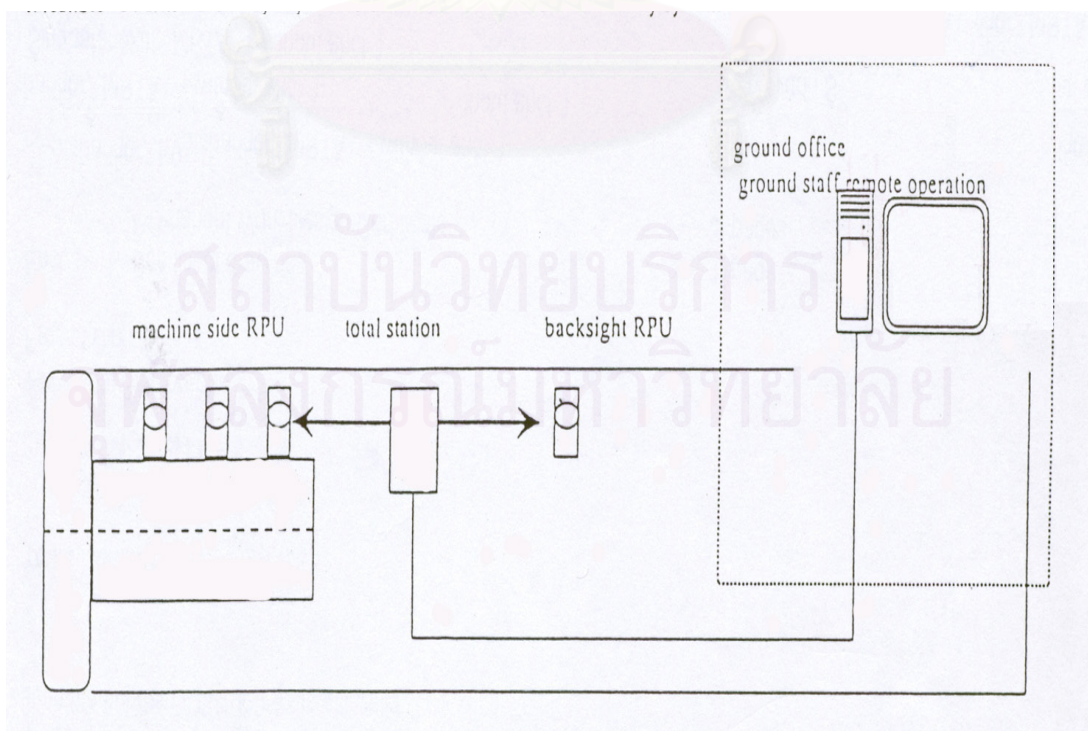
การรวบรวมวิธีการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์ จะทำให้ทราบถึงวิธีการทำงานลำดับขั้นตอนการทำงาน นิยามและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำงาน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลวิธีการต่างๆ และนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานสำรวจ การวางแผนการทำงานสำรวจ การตรวจสอบค่าระดับต่างๆ การควบคุมทิศทางของงานขุดเจาะอุโมงค์และรูปแบบของข้อมูลสำรวจที่จะนำไปใช้ในการออกแบบก่อสร้าง

1.3.2 การวิเคราะห์ความเหมาะสมโดยการเปรียบเทียบวิธีการทำงานสำรวจ

การวิเคราะห์ความเหมาะสมโดยการเปรียบเทียบวิธีการทำงานสำรวจ จะเป็นการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมจากการรวบรวมข้อมูล และจากการตรวจสอบภาคสนาม (Manual Survey) โดยนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของออกแบบ (Design Data Survey) ในวิธีการทำงานที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ

1.3.2.1 วิธีการทำงานสำรวจแบบ Robotec Survey System

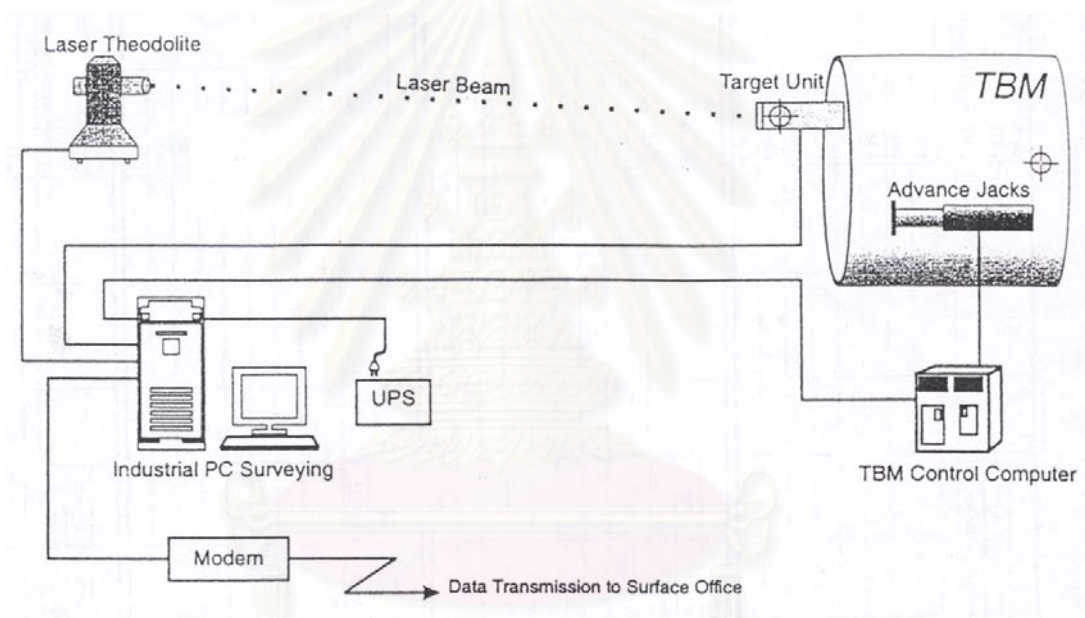
วิธีการทำงานสำรวจแบบ Robotec Survey System เป็นวิธีการทำงานสำรวจที่ใช้หลักการในการทำงานโดยอาศัยการคำนวณหาค่าพิกัดโดยใช้เข็มทิศใจโรที่ติดตั้งอยู่ในหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine Built in gyro compass) ร่วมกับกล้องรังวัด (Motorized Theodolite) โดยระบบนี้จะดำเนินการด้วยกล้องสำรวจอัตโนมัติ (fully robotic total station telescope) ที่มีเป้าหมายอยู่ที่เป้ารับสัญญาณ (Remote-Target Reflector) ซึ่งเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่ใช้กับเป้ารับสัญญาณ (Remote-Target Reflector) คือ ปริซึม (Spectra Precision RMT Prism) ซึ่งกล้องอัตโนมัตินี้จะทำการค้นหาเป้าหมายโดยอัตโนมัติทำให้มีความถูกต้องในการทำงานสูง และระบบจะเริ่มดำเนินการทันทีที่หัวขุดเจาะอุโมงค์เริ่มทำงาน ทั้งนี้ ระบบอัตโนมัติจะเชื่อมต่อกับระบบควบคุมคำนวณหาตำแหน่งทั้งแนวราบและแนวตั้งที่ตำแหน่งศูนย์กลางของอุโมงค์และปรับเปลี่ยนแนวการขุดให้อยู่ในค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนด (ดังรูปที่ 1.1)



รูปที่ 1.1 แสดงวิธีการทำงานสำรวจแบบ Robotec Survey System

1.3.2.2 วิธีการทำงานสำรวจแบบ Laser Theodolite and Target Unit

วิธีการทำงานสำรวจแบบ Laser Theodolite and Target Unit เป็นวิธีการทำงานสำรวจที่ใช้หลักการการทำงานที่อาศัยการคำนวณหาค่าพิกัดโดยระบบเลเซอร์ มีการติดตั้งหิ้งถาวรพร้อมเป้าเลเซอร์ (Permanent Bracket with Laser Target) ทุกระยะ 100 เมตร สลับเป็นพื้นปลาและติดตั้งหิ้งชั่วคราว (Temporary Bracket) เพื่อตั้งกล้องรังวัดเลเซอร์ (Laser Theodolite) ส่วนเป้าเลเซอร์อันสุดท้ายจะถูกติดตั้งภายในหัวชุดเจาะอุโมงค์ โดยลำแสงเลเซอร์จะสะท้อนแสงมาที่กล้องเพื่อแสดงทิศทางทั้งในแนวราบและแนวตั้งที่ตำแหน่งศูนย์กลางของอุโมงค์ และข้อมูลจะถูกนำเข้าสู่ระบบนำร่องของหัวเจาะ (TBM Guidance System) เพื่อปรับเปลี่ยนแนวการขุดให้อยู่ในค่าคลาดเคลื่อนที่กำหนดตามที่ระบบประมวลผลความถูกต้องข้อมูล (ดังรูปที่ 1.2)



รูปที่ 1.2 แสดงวิธีการทำงานสำรวจแบบ Laser Theodolite and Target Unit

ในการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลที่ใช้ในการทำงานสำรวจทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มข้อมูลจากการตรวจสอบภาคสนาม (Manual Survey) กับกลุ่มข้อมูลการออกแบบ (Design Data Survey) ซึ่งต้องใช้ทั้งสองวิธีเพื่อหาค่าความถูกต้องทางสถิติ โดยค่าที่วิเคราะห์ออกมาได้นั้นจะเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลในการวิเคราะห์เปรียบเทียบหาความเหมาะสมของวิธีการในการทำงานสำรวจและในการควบคุมทิศทางของหัวชุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเปรียบเทียบจะต้องอ้างอิงถึงค่าต่างๆ ทางสถิติเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์แล้วจึงนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (SPSS) ต่อไป

1.3.3 การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ในการนำเสนอข้อมูลผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะสามารถนำเสนอข้อมูลในเชิงแผนที่และเชิงบรรยาย ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้สามารถนำเสนอข้อมูลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงต่อการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางตำแหน่งมาก การนำเสนอนี้จะใช้โปรแกรม Arc View ที่สามารถแสดงภาพแผนที่ในการเสนอข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางตำแหน่งโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น ข้อมูลเชิงแผนที่และข้อมูลเชิงบรรยาย แสดงตำแหน่งของแนวอุโมงค์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในโครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล รวมถึงการนำเสนอผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยการสร้างฐานข้อมูลเชิงบรรยายแล้วนำมาผนวกกับแผนที่แสดงตำแหน่งของแนวอุโมงค์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะแสดงรายละเอียดข้อมูลเชิงบรรยายของค่าทางสถิติในรูปของตารางแสดงผลการทดสอบในแต่ละช่วงที่ทำการทดสอบค่าทางสถิติ

1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขต ดังนี้

1.4.1 การรวบรวมข้อมูลสำรวจ วิธีการทำงานสำรวจ รวมถึงทฤษฎีต่างๆ ในการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

1.4.2 การศึกษาโดยรวบรวมข้อมูลการทำงานสำรวจจากภาคสนามนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความถูกต้องทางตำแหน่งของงานสำรวจการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โดยกำหนดขอบเขตของวิธีการที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ 2 วิธี คือ วิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System

1.4.3 การวิเคราะห์หาความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้โปรแกรมทางสถิติทดสอบเพื่อคำนวณหาค่าความถูกต้องในแต่ละวิธีการของการทำงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

1.4.4 การนำเสนอผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งทางสถิติด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการสร้างฐานข้อมูลเชิงตารางสถิติและนำมาผนวกกับแผนที่ที่แสดงตำแหน่งของแนวอุโมงค์แล้วจึงนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงรายละเอียดและข้อมูลเชิงบรรยายของค่าทางสถิติในรูปของตารางแสดงผลการทดสอบในแต่ละช่วงการทดสอบของค่าทางสถิติ

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษาวิจัยสรุปได้ดังนี้

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและวิธีการทำงานสำรวจที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและมีความเหมาะสม ในการทำงานสำรวจก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
- 1.5.3 ศึกษารูปแบบของข้อมูลที่เกี่ยวข้องและมีความเหมาะสม ในการทำงานสำรวจก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
- 1.5.4 ทำการวิเคราะห์และเลือกวิธีการทดสอบในการหาความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้เพื่อใช้ในการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน
- 1.5.5 นำข้อมูลทางตำแหน่งเข้าสู่ระบบการทดสอบทางสถิติเพื่อหาค่าความถูกต้อง
- 1.5.6 จัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ
- 1.5.7 สรุปผลและเสนอแนะแนวทางการศึกษาวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ ดังต่อไปนี้

- 1.6.1 ทำให้ข้อมูลของงานสำรวจการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินได้ถูกรวบรวมไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยและค้นคว้าเชิงวิชาการต่อไป
- 1.6.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้ามาประยุกต์ใช้ในการทำงานสำรวจเพื่อก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินหรืองานขุดเจาะอุโมงค์ในลักษณะต่างๆ
- 1.6.3 สามารถนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งมาใช้ในการศึกษาถึงวิธีการทำงาน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการทำงานสำรวจการก่อสร้างอุโมงค์ และเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจในการออกแบบวิธีการทำงานต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

การสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล นับเป็นโครงการแรกที่น่าเครื่องจักรกลขนาดใหญ่มาใช้ในการทำงานสำรวจ รวมถึงระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมการคำนวณตำแหน่งของเครื่องเจาะ ซึ่งแม้ว่าหัวขุดเจาะอุโมงค์จะออกนอกแนวการออกแบบที่กำหนดไว้แต่ก็สามารถปรับหัวขุดเจาะอุโมงค์ให้ได้ตามแบบอย่างทันท่วงที อย่างไรก็ตาม สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ข้อมูลที่ได้จากการทำงานสำรวจภาคสนามที่นำไปเปรียบเทียบกับแนวออกแบบเพื่อให้เกิดความมั่นใจก่อนที่จะให้หัวขุดเจาะอุโมงค์ทำงานต่อไป

สำหรับการหาตำแหน่งของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญสองส่วน คือ อุปกรณ์เป่ารับแสงเลเซอร์ และอุปกรณ์วัดสภาวะของเครื่องเจาะ โดยในแต่ละอุปกรณ์จะอาศัยระบบเซ็นเซอร์ตรวจสอบและส่งข้อมูลต่อไปยังอุปกรณ์รวบรวมข้อมูลรวมถึงอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน อุปกรณ์เป่ารับแสงเลเซอร์มีหน้าที่วัดค่าพิคัดและมุมตกกระทบของลำแสงเลเซอร์ ส่วนอุปกรณ์วัดสภาวะของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์มีหน้าที่วัดทิศทางการหมุนรอบตัวเองรวมถึงการก้มหรือเงยของแกนเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งในการขุดเจาะอุโมงค์นั้นจะประกอบขึ้นส่วนอุโมงค์ไปพร้อมๆ กัน โดยอุโมงค์จะมีลักษณะเป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในอุโมงค์ 5.7 เมตร และความหนาวงแหวนคอนกรีต 0.30 เมตร (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะทั่วไปของอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

2.1 การถ่ายค่าพิกัดทางราบและค่าพิกัดทางดิ่งลงสู่ใต้ดิน

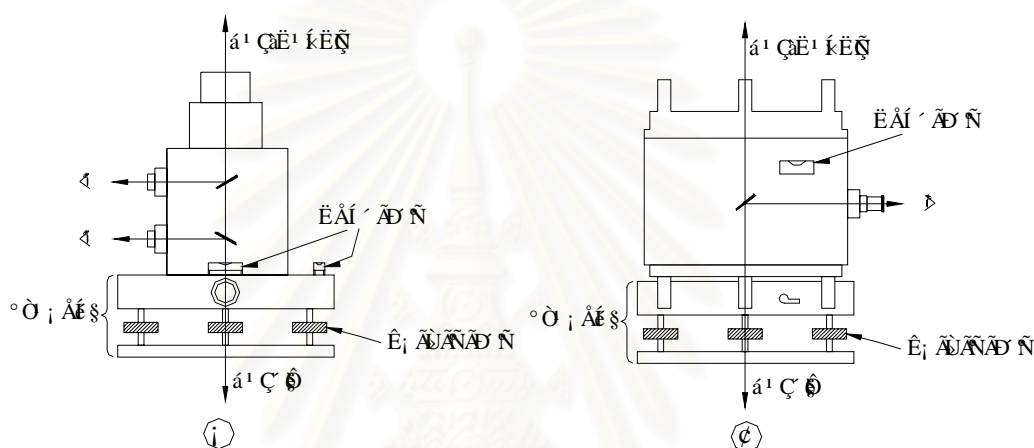
วัตถุประสงค์ของการถ่ายค่าพิกัดทางราบและค่าพิกัดทางดิ่งลงสู่ใต้ดินเพื่อนำค่าพิกัดไป บังคับหัวชุดเจาะให้ทำการชุดเจาะอุโมงค์ตามทิศทางออกแบบ โดยเริ่มทำงานสำรวจจากหมุดบังคับ ทางราบและหมุดบังคับทางดิ่งบนพื้นดิน (ดังรูปที่ 2.2) โดยอาศัยเครื่องมือสำรวจและการดำเนินงาน ดังนี้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะหมุดบังคับทางราบและหมุดบังคับทางดิ่ง

2.1.1 กล้องสำรวจสำหรับการถ่ายค่าพิกัดฉาก

กล้องสำรวจสำหรับการถ่ายค่าพิกัดฉาก (ZNL, Zenith and Nadir Plummet) เป็นกล้องสำรวจโดยแสงเลเซอร์ ที่ใช้สำหรับการถ่ายค่าพิกัดฉากระดับบนดินลงสู่ระดับใต้ดิน (หรือสลับกัน) มีความเหมาะสมกับงานชุดเจาะอุโมงค์ที่มีความลึกมาก สำหรับในการถ่ายค่าพิกัดฉากจะเป็นลักษณะของจุดเลเซอร์มีขนาดขึ้นอยู่กัระยะทาง เช่น ระยะทาง 100 เมตร. จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจุดเลเซอร์ประมาณ 1 เซนติเมตร เป็นต้น โดยมีค่าความถูกต้องของเครื่องมือในแนวตั้ง 1/30,000 หรือระยะตั้ง 30 เมตร. มีค่าความคลาดเคลื่อน 1 มิลลิเมตร. (ดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของกล้องสำรวจสำหรับการถ่ายค่าพิกัดฉาก

การดำเนินงานภาคสนาม (ดังรูปที่ 2.4) เมื่อชุดปล่องลงไปในดินจนถึงระดับที่กำหนดให้หรือสถานีเสร็จแล้ว ทำการถ่ายค่าพิกัดฉากระดับบนดินลงสู่ระดับใต้ดินโดยวิธีดำเนินการหนึ่งปล่องต่อสองจุดมีรายละเอียดดังนี้

- 2.1.1.1 เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร 2 จุดทะลุฝาปิดปล่อง
- 2.1.1.2 ตั้งกล้องสำรวจสำหรับถ่ายค่าพิกัดฉากบนจุดทั้งสองประกอบชุดอุปกรณ์เลเซอร์
- 2.1.1.3 กำหนดจุดเลเซอร์เพื่อหาค่าพิกัดที่ตำแหน่งใต้ดินวัดระยะราบระหว่างจุดเลเซอร์ทั้งสองกำหนดเป็นเส้นฐาน
- 2.1.1.4 จุดพิกัดใต้ดินจะมีพิกัดฉากเท่ากับจุดบนพื้นดิน

ตำแหน่งที่ตั้งเครื่องมือต้องแข็งแรงและไม่สะเทือน โดยจุดที่กำหนดใต้ดินจะตั้งอยู่บนพื้นคอนกรีตที่แข็งแรง เช่น พื้นที่มีแผ่นโลหะลงในคอนกรีต (ดังรูปที่ 2.5) เป็นต้น และในการหาจุด

ระดับบนดินจะต้องใช้ฉากรองรับ เช่น การทำเครื่องหมายจุดบนกระจก ซึ่งความคลาดเคลื่อนทางมุมจะเป็นส่วนกลับกับระยะห่างระหว่างสองจุด และถ้าเป็นไปได้จุดทั้งสองควรอยู่ในแนวเส้นทางออกแบบ หากมีความจำเป็นก็ควรขยายเส้นฐานและทำสารบัญหมุดสำรวจเพื่อสะดวกในการค้นหา แต่สำหรับกรณีที่เป็นอุโมงค์คูให้ทำแยกกันแล้วตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในภายหลัง



รูปที่ 2.4 แสดงการถ่ายค่าพิกัดฉากในภาคสนาม



รูปที่ 2.5 แสดงการกำหนดตำแหน่งจากการถ่ายค่าพิกัดฉากบริเวณใต้ดิน

2.1.2 การถ่ายค่าพิกัดทางราบ

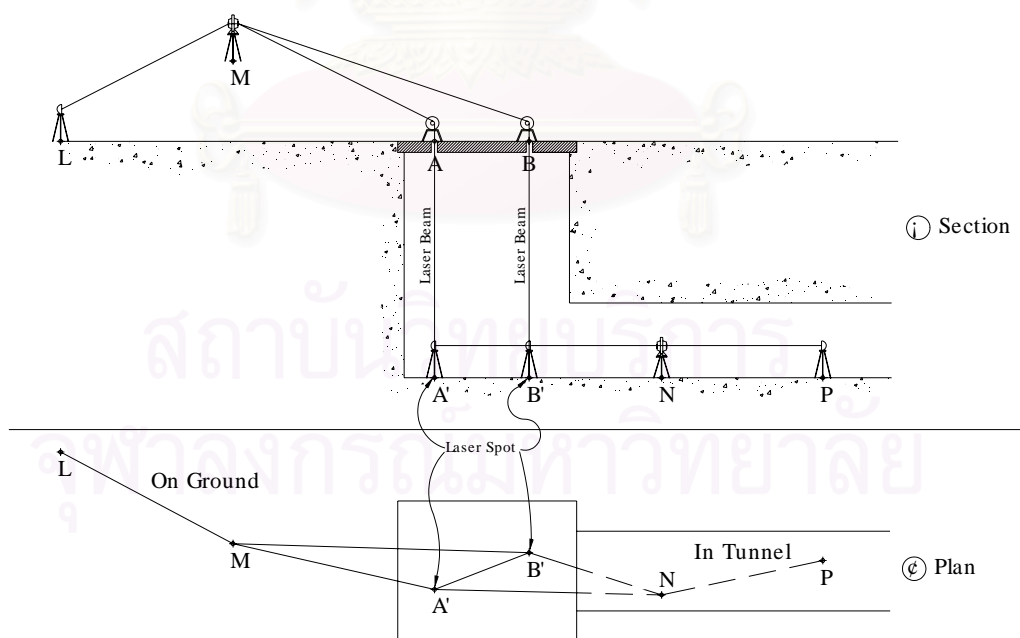
การถ่ายค่าพิกัดทางราบมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการค่าพิกัดฉากไปยังจุดเลเซอร์ทั้งสอง ทั้งบนดินและใต้ดิน โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้ (ดังรูปที่ 2.6)

2.1.2.1 สมมติจุด A, B และจุด A', B' เป็นจุดเลเซอร์, LM เป็นหมุดวงรอบบนดินที่ทราบค่าพิกัดฉาก, จุด N และจุด P เป็นจุดวงรอบใต้ดิน

2.1.2.2 ตั้งกล้องสำรวจที่จุด M ทำการวัดมุมราบ LMB และ BMA วัดระยะราบ MA และ MB

2.1.2.3 ตั้งกล้องสำรวจที่จุด N ทำการวัดมุมราบ A'NB' และ B'NP วัดระยะราบ NA', NB' และ NP

ในการวัดมุมราบและระยะราบในระนาบแต่ละครั้งทำการวัดด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดสูง โดยทำการวัดค่าแต่ละค่ามากกว่าหนึ่งครั้งจากนั้นจึงนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าที่มีความละเอียดถูกต้องมากที่สุด โดยจะทำการวัดในลักษณะวงรอบปิดระหว่างค่าพิกัดบนดินและใต้ดิน



รูปที่ 2.6 แสดงการถ่ายค่าพิกัดทางราบ

การคำนวณหาพิกัดจาก จุด N และ P มีรายละเอียดดังนี้

- สามเหลี่ยมบนดิน AMB ทราบด้านสามด้าน และมุม AMB คำนวณส่วนที่เหลือ
- สามเหลี่ยมใต้ดิน A'NB' ทราบด้านสามด้าน และมุม A'NB' คำนวณส่วนที่เหลือ
- ทำการตรวจสอบผลการคำนวณทางเรขาคณิต
- วงรอบเปิด LMA (A') B (B') NP คำนวณค่าชดเชยได้
- เมื่อได้ค่าพิกัดจาก N และ P จะสามารถกระจายหมุดวงรอบไปยังจุดอื่นที่ต้องการเช่น ผังในกำแพง หรือบนหิ้ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันหมุดสูญหาย และมีสิ่งกีดขวางในภายหลัง

2.1.3 การถ่ายค่าพิกัดทางตั้ง

การถ่ายค่าระดับบนดินลงสู่ระดับใต้ดินมีหลายวิธีด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องมือสำรวจ และขั้นตอนการถ่ายระดับโดยตรง มีรายละเอียดการดำเนินการ ดังนี้ (ดังรูปที่ 2.7)

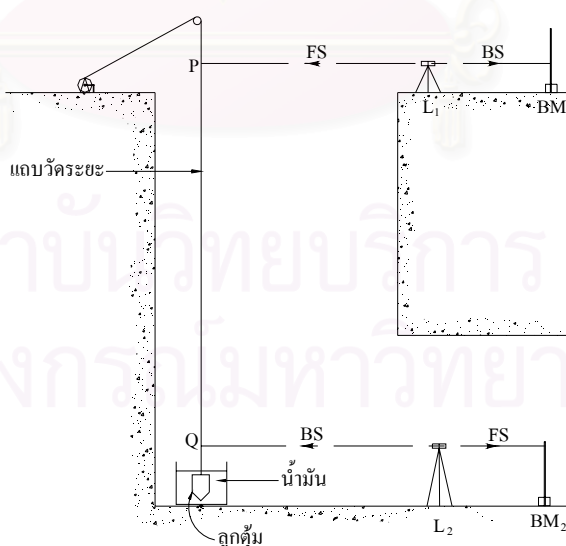
2.1.3.1 หย่อนแถบวัดระยะลงในแนวตั้งโดยผูกน้ำหนักที่ปลายข้างหนึ่ง

2.1.3.2 ตั้งกล้องระดับ L_1 ทำการอ่านไม้ระดับบน BM_1 และแถบวัดระยะ

2.1.3.3 ตั้งกล้องระดับ L_2 ทำการอ่านแถบวัดระยะ และไม้ระดับบน BM_2

2.1.3.4 คำนวณระยะตั้ง PQ คือ ผลต่างค่าที่อ่านได้

2.1.3.5 คำนวณระดับ $BM_2 =$ ระดับ $BM_1 + BS$ (บน BM_1) - PQ - FS (บน BM_2)



รูปที่ 2.7 แสดงการถ่ายค่าพิกัดทางตั้ง

การดำเนินการมีข้อควรระวัง ดังนี้

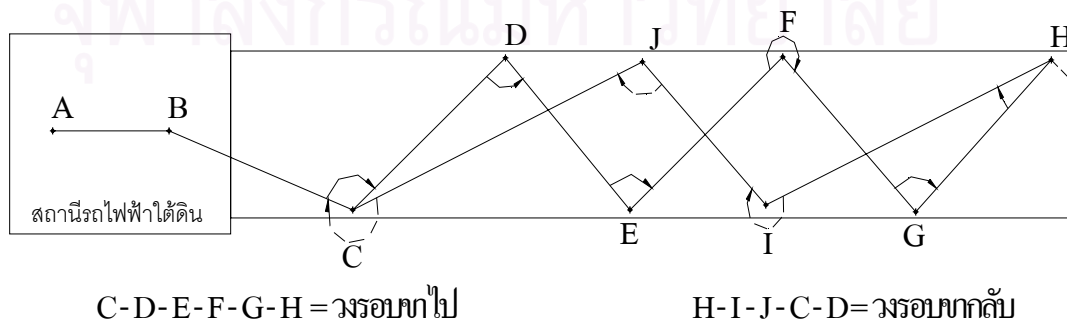
- ควรมีการปรับแก้แถบวัดระยะไม่ได้มาตรฐาน เช่น แรงดึง อุณหภูมิ ความยาว เป็นต้น
- ควรจะแช่ลูกตุ้มลงในน้ำมันเครื่องเพื่อชะลอการแกว่ง
- ขณะปฏิบัติงานควรหยุดการเป่าลมชั่วคราว หรือเลือกเวลาปฏิบัติงานที่เหมาะสม
- การวัดค่าต้องอ่านหลายๆ ครั้ง และหลายๆ ตำแหน่งของแถบวัดระยะและหาค่าเฉลี่ย

2.1.4 การทำงานวงรอบและงานระดับในอุโมงค์

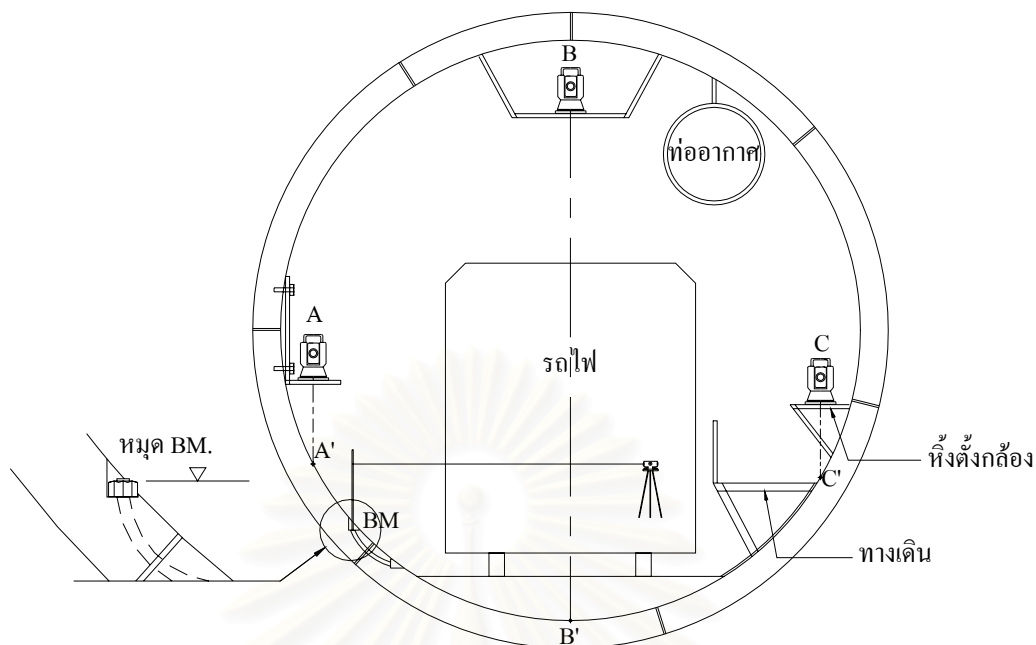
การวางโครงข่ายหมุดบังคับทิศทางราบในอุโมงค์โดยสร้างวงรอบเป็นรูปพื้นปลาทั้งขาไปและขากลับ (ดังรูปที่ 2.8) เพื่อขจัดการหักเหของแสง การวัดมุมและระยะทางที่วัดได้ทั้งขาไปและขากลับ แล้วนำมาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการเข้าบรรจบและค่าความถูกต้องของงาน

โดยตำแหน่งของหมุดวงรอบตั้งอยู่บนหนึ่ง (ดังรูปที่ 2.9) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กติดกับขาเหล็กยึดเข้ากับวงแหวน ตำแหน่งสูงประมาณ 1.50 เมตร เจาะรูตรงแผ่นเหล็กเพื่อสอดสกรูยึดกลิ้งแล้วกำหนดตำแหน่งจุดตั้งกล้องบนวงแหวนโดยมีจุดวงรอบห่างกันประมาณ 50 – 60 เมตร

การสร้างหมุดหลักฐานในอุโมงค์อาจจะใช้หมุดวงรอบแทนก็ได้ หรืออาจจะหาหมุดที่มีเหมาะสมกว่าและสามารถออกงานได้สะดวกกว่า เช่น อาจจะใช้หลักฐานไว้ตามจุดถาวรของวงแหวน ซึ่งทำระดับทั้งขาไปและขากลับโดยใช้วิธีการอ่านสามสายใยเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลงานและคาดหวังให้อยู่ในเกณฑ์กำหนด คือ 12 มิลลิเมตร. \sqrt{K} โดย K คือ ระยะวงรอบระดับขาไปหรือขากลับที่คิดหน่วยเป็นกิโลเมตร (ภาคผนวก ก.1-ก.2) เพื่อทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของสายใยก่อนหรือหลังปฏิบัติงาน การทำสารบัญหมุดทั้งหมุดวงรอบและหมุดหลักฐาน การตรวจสอบพิกัดฉากและระดับหมุดหลักฐานเป็นช่วงๆ เพื่อที่จะศึกษาดูความเปลี่ยนแปลงหรือการขยับของวงแหวนขึ้นส่วนอุโมงค์



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานวงรอบและระดับในอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่งติดตั้งหมุดวงรอบภายในอุโมงค์

2.2 ระบบนำทางของการสำรวจเพื่อก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

ในปัจจุบันเครื่องมือสำรวจได้พัฒนาขึ้นมากกว่าเดิมเพื่อมุ่งหวังให้การทำงานสำรวจเป็นไปด้วยความรวดเร็ว ถูกต้อง โดยมีค่าความละเอียดสูง สามารถประหยัดกำลังคน และย่นระยะเวลาในการทำงาน ระบบนำทางของการสำรวจเพื่อก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินจึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์หลายๆ ส่วน โดยแต่ละส่วนจะทำงานในหน้าที่ต่างกันไปและนำผลที่ได้ไปประมวลผ่านระบบคอมพิวเตอร์เพื่อให้การขุดเจาะอุโมงค์เป็นไปตามค่าการออกแบบ ส่วนการประมวลผลที่ได้ออกมาจะทำการตรวจสอบได้โดยการเก็บข้อมูลภาคสนาม ซึ่งระบบนำทางที่ใช้ในการทำงานสำรวจเพื่อก่อสร้างอุโมงค์มีหลายวิธี โดยมีรายละเอียดดังนี้

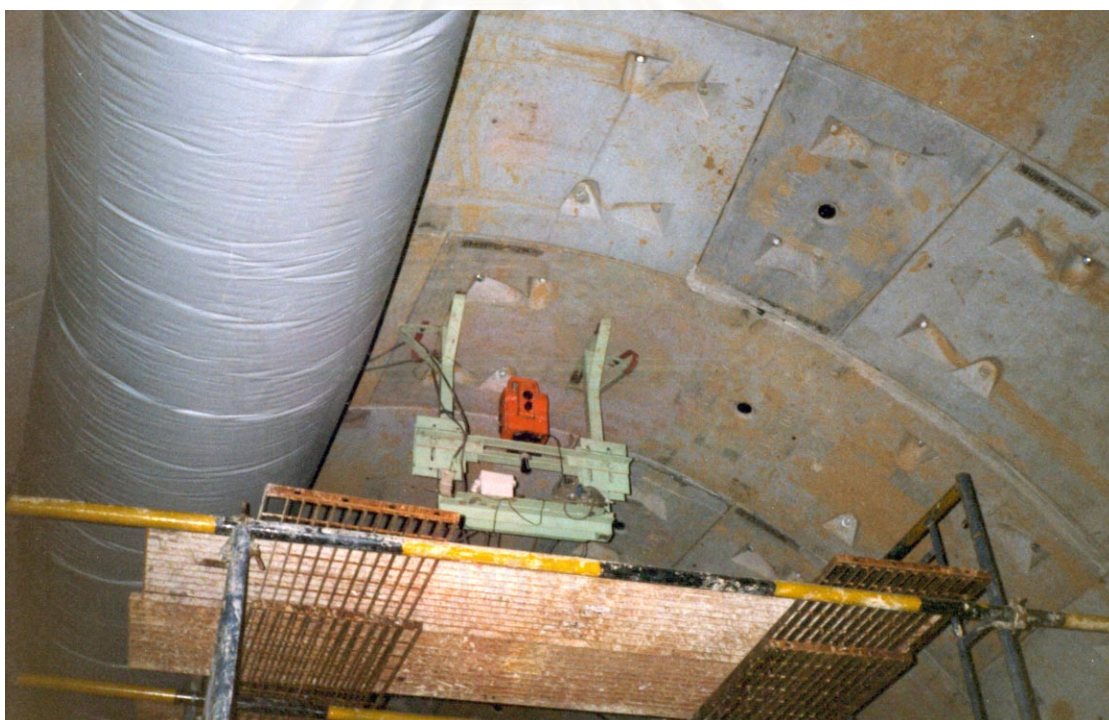
2.2.1 วิธีการทำงานสำรวจ Manual Surveys

วิธีการทำงานสำรวจ Manual Surveys เป็นวิธีการทำงานสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยการป้อนข้อมูลเข้าไปในระบบคอมพิวเตอร์และนำไปประเมินผล เพื่อตั้งกล้องจุดที่ทราบพิกัดฉาก แล้วส่งกล้องกลับไปยังจุดดังกล่าว โดยทำการตั้งมุมราบเท่ากับศูนย์หรือเท่ากับอิมิตแล้วหมุนกล้องไปยังตำแหน่งปริซึมที่อยู่ด้านท้ายของหัวขุดเจาะอุโมงค์ 2-3 ตำแหน่ง และทำการวัดมุมราบและระยะราบเพื่อหาค่าพิกัดฉากของเป้าและนำข้อมูลที่ได้ไปประเมินผลโดยผ่านระบบ

คอมพิวเตอร์ ซึ่งตำแหน่งแกนหัวเจาะมี 3 ตำแหน่ง คือ บริเวณส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนท้ายของหัวขุดเจาะอุโมงค์ แล้วจึงทำการหาค่าเบี่ยงเบนทั้งทางราบและทางดิ่งเปรียบเทียบกับแนวออกแบบ หากหัวขุดเจาะอุโมงค์ออกนอกแนวออกแบบก็สามารถบังคับโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ได้

2.2.2 วิธีการทำงานสำรวจ Robotec Survey System

วิธีการทำงานสำรวจ Robotec Survey System เป็นวิธีการทำงานสำรวจโดยอาศัยหลักการทำงานของกล้องสำรวจที่ติดตั้งเข้ากับจานองศาตั้งและจานองศาราบ ทั้งนี้กล้องจะทำการสำรวจและค้นหาเป้าอัตโนมัติเพื่อทำการวัดมุมราบ มุมตั้ง และระยะราบ แล้วจึงนำไปคำนวณหาพิกัดสามมิติ โดยข้อมูลเหล่านี้จะส่งต่อไปยังระบบคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประเมินผลการเบี่ยงเบนของหัวขุดเจาะอุโมงค์ และหลังจากค้นหาเป้าแรกเสร็จเรียบร้อยแล้ว กล้องนี้จะหมุนซ้ายขวา ขึ้นลงเพื่อค้นหาเป้าอื่นๆต่อไป (ดังรูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการทำงานสำรวจ Robotec Survey System

2.2.3 วิธีการทำงานสำรวจ Gyro and Level (Gyavel)

วิธีการทำงานสำรวจ Gyro and Level (Gyavel) เป็นการทำงานสำรวจโดยอาศัยหลักการทำงานของอุปกรณ์ “Gyro” ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาทิศทางแนวทิศเหนือและทิศใต้ โดย

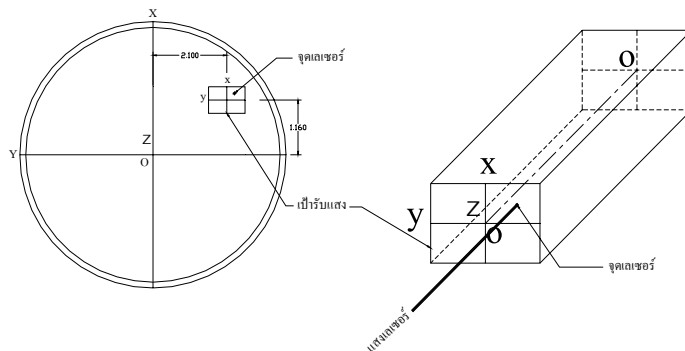
อาศัยการหมุนแท่งโลหะประมาณ 22,000 รอบต่อนาที ซึ่งแท่งโลหะนี้จะลอยในแนวเหนือ-ใต้ โดยการบังคับแถบกลางของเครื่องเจาะอุโมงค์จะอยู่แนวเหนือใต้ที่ต้องบังคับแนวหัวเจาะอุโมงค์ขนานหรือทับกับแท่งโลหะนั้น ในทำนองเดียวกันการบังคับแกนกลางของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ขนานกับหรือทับกับแนวออกแบบ จะใช้ประกอบกับอุปกรณ์ “Level” ซึ่งเป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการทำงานของหลอดในค่าระดับตามค่าออกแบบ โดยอาศัยตัวรับสัญญาณและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าต่างระดับออกแบบและเปรียบเทียบกับระดับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในขณะทำการขุดเจาะอุโมงค์จะได้ค่าเบี่ยงเบนจากค่าออกแบบนั่นเอง

2.2.4 วิธีการทำงานสำรวจ Laser Theodolite and Target Unit

วิธีการทำงานสำรวจ Laser Theodolite and Target Unit เป็นการทำงานสำรวจโดยอาศัยหลักการทำงานของอุปกรณ์กล้องสำรวจแสงเลเซอร์ (ดังรูปที่ 2.11) ที่ส่องแสงไปยังเป้ารับแสง เมื่อมีการตกกระทบเป้าจะได้ค่าพิกัด X Y และ Z โดยที่แสงบางส่วนจะทะลุเป้าจากด้านหน้าถึงด้านหลัง การหาค่ามุมตกกระทบเป้ารับแสงนั้นจะวางกล้องสำรวจไว้ด้านท้ายของหัวเจาะและวางขนานกับแกนของหัวเจาะ(ดังรูปที่ 2.12) ซึ่งการทำงานของเป้ารับแสงบางส่วนจะตกกระทบตัวรับสัญญาณที่ด้านหน้าเพื่อต้องการค่าพิกัด X Y และ Z และแสงที่เหลือจะผ่านเลนส์ไปกระทบยังตัวรับสัญญาณที่อยู่ด้านท้ายแล้วได้มุมตกกระทบเพื่อส่งข้อมูลจากตัวรับสัญญาณแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งต่อไปประเมินผล



รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการทำงานสำรวจ Laser Theodolite and Target Unit



รูปที่ 2.12 แสดงตำแหน่งเป้ารับแสงด้านท้ายของหัวเจาะและขนานกับแกนหัวเจาะ

2.3 อุปกรณ์นำทางของการสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน

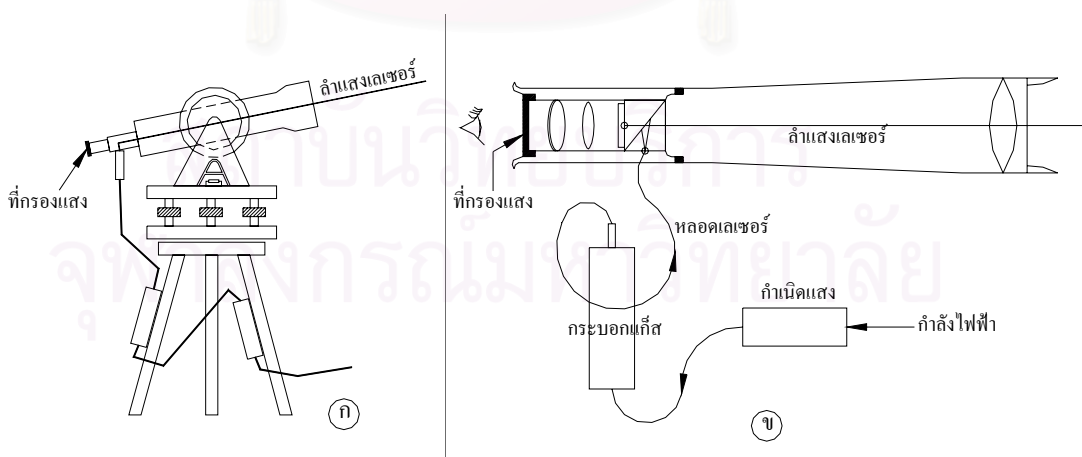
2.3.1 กล้องสำรวจแสงเลเซอร์

กล้องสำรวจแสงเลเซอร์ เป็นกล้องสำรวจที่ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ลำแสงเลเซอร์ที่มีแนวเล็งไปกระทบกับเป้ารับแสงและมีการคำนวณระยะทางและทิศทาง (ดังรูปที่ 2.13) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 ตั้งค่าอิมิจจากจุดตั้งกล้องไปยังเป้ารับแสงด้านหลัง

2.3.1.2 หมุนกล้องให้ได้ค่าอิมิจของแนวออกแบบที่เป็นแนวดำเนินการขุดเจาะ

2.3.1.3 วัดระยะทางและทิศทาง



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของกล้องสำรวจแสงเลเซอร์

2.3.2 อุปกรณ์รับแสงเลเซอร์

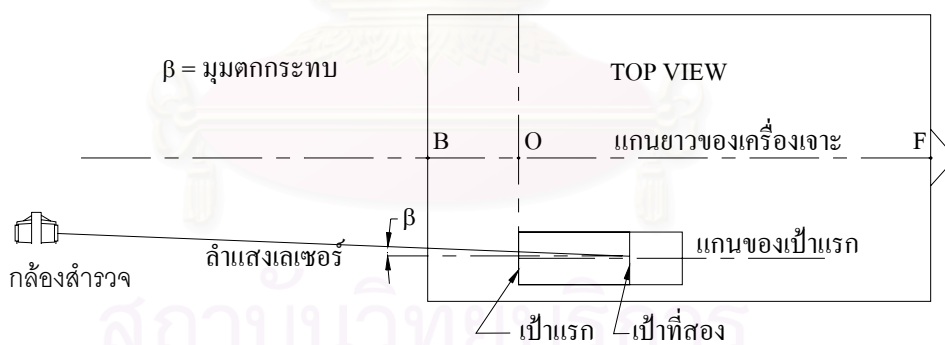
อุปกรณ์รับแสงเลเซอร์ทำด้วยโลหะรูปทรงกระบอก หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดกว้าง 0.15 เมตร ยาวประมาณ 0.50 เมตร และมีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม ด้านหน้าเป็นเป้าหรือจอร์รับแสงเลเซอร์ คือ เป้าที่หนึ่ง และภายในกระบอกมีจอร์รับแสงเลเซอร์ คือ เป้าที่สอง ซึ่งอุปกรณ์นี้จะติดตั้งด้านท้ายของเครื่องเจาะอุโมงค์ในตำแหน่งที่มองเห็น โดยรูปทรงกระบอกนี้จะสามารถหมุนในระนาบตั้งและขยับไปทางซ้ายหรือขวาได้ เพื่อให้รับแสงเลเซอร์ตลอดระยะเวลาการเจาะอุโมงค์ (ดังรูปที่ 2.14) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.2.1 เป้าที่หนึ่งจะให้ตำแหน่งจุดเลเซอร์เทียบกับแกนของมันเอง

2.3.2.2 เป้าที่สองจะให้มุมตกกระทบของลำแสงเลเซอร์ คือ มุมระหว่างแนวลำแสงกระทำกับแกนยาวของทรงกระบอก

ข้อควรระวังในการดำเนินการมีดังนี้

- มีการบดบังแสงเลเซอร์หรือกำลังของแสงเลเซอร์
- มีแสงรบกวนจากภายนอกหรือหากจุดเลเซอร์ตกขอบเป้า มุมตกกระทบจะวัดไม่ได้
- ในกรณีเป้าขยับออกจากลำแสงให้ขยับเป้าเข้าแล้วป้อนค่าใหม่เข้าหน่วยควบคุมการทำงาน



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์รับแสงเลเซอร์

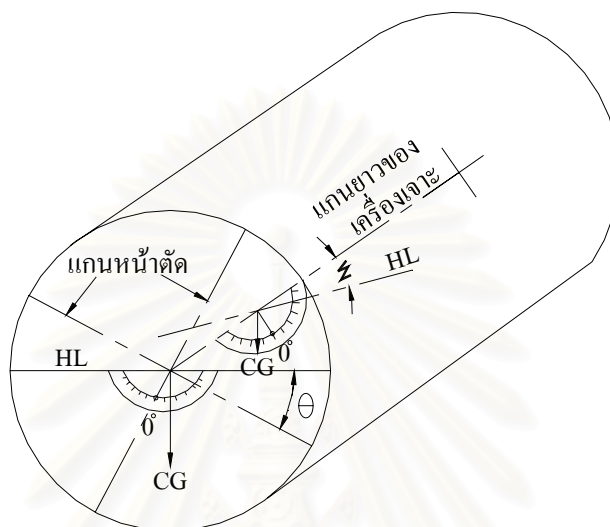
2.3.3 อุปกรณ์วัดตำแหน่งของหัวเจาะอุโมงค์

อุปกรณ์วัดตำแหน่งของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์มีลักษณะเป็นกล่องโลหะสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางในแนวตั้ง จะติดตั้งอยู่ภายในเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ (ดังรูปที่ 2.15) โดยภายในจะมีอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณเพื่อวัดตำแหน่งของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งต่อไปยังหน่วยที่เกี่ยวข้อง โดยอุปกรณ์ดังกล่าวมีหน้าที่ดังนี้

2.3.3.1 วัดการหมุนตัวของเครื่องเจาะและบอกเป็นมุมองศา

2.3.3.2 วัดการก้มหรือเงยของเครื่องเจาะและบอกเป็นมุมองศา

ค่ามุมที่ได้ใช้หลักการของแกนของเครื่องเจาะกระทำกับแนวแรงดึงดูดของโลก



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์วัดตำแหน่งของหัวชุดเจาะอุโมงค์

2.3.4 อุปกรณ์รวบรวมข้อมูล

อุปกรณ์รวบรวมข้อมูลมีลักษณะเป็นกล่องโลหะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ติดตั้งอยู่ด้านท้ายหรือภายในห้องบังคับเครื่องชุดเจาะอุโมงค์ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รวบรวมข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ดังรูปที่ 2.16)

2.3.4.1 กลั่นกรองและรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์รับแสงเลเซอร์

2.3.4.2 กลั่นกรองและรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์วัดตำแหน่งของเครื่องชุดเจาะอุโมงค์

2.3.4.3 จัดหากำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์รับแสงเลเซอร์

2.3.4.4 ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

2.3.5 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

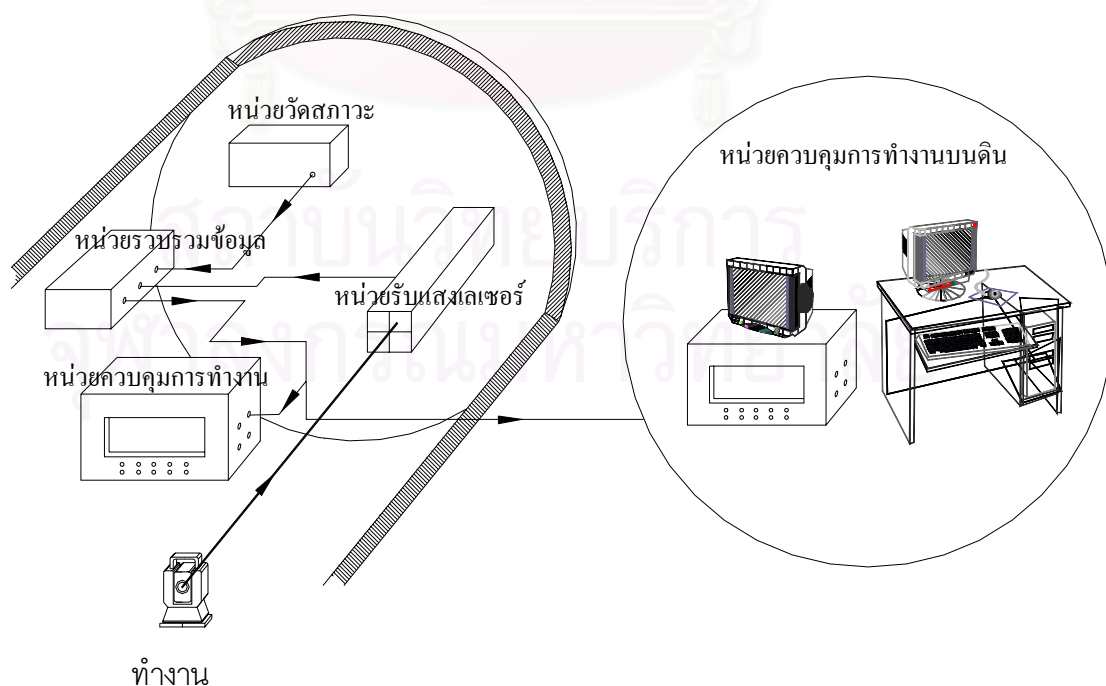
อุปกรณ์ควบคุมการทำงานเป็นอุปกรณ์สุดท้ายของระบบนำทาง จะมีจอแสดงผล อุปกรณ์ประเมินผลและโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณค่าที่จำเป็น เช่น ตำแหน่งหัวเจาะและจุดเลเซอร์ ขนาดและทิศทางการหมุนตัว ขนาดและทิศทางการเอียงของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ และสามารถป้อนข้อมูลต่างๆได้ เช่น ค่าออฟเซตทางราบและทางตั้ง ทิศทางราบและทิศทางตั้ง และค่าคงที่ โดยลักษณะของเครื่องเจาะจะมีการติดตั้งหลายตำแหน่ง เช่น กรณีวางกับพื้นจะติดตั้งไว้ในห้องที่อยู่ส่วนท้ายของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ เพื่อให้มองเห็นจอแสดงผลและป้องกันสิ่งรบกวนภายนอก (ดังรูปที่ 2.16)

หน้าที่ของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานมีรายละเอียดดังนี้

- เป็นศูนย์กลางของการรวบรวมข้อมูล
- รับข้อมูลจากอุปกรณ์รวบรวมข้อมูลและป้อนข้อมูลจากวิศวกรสำรวจ
- หาค่าความเบี่ยงเบนแนวเจาะเปรียบเทียบกับแนวออกแบบเป็นกราฟฟิกและตัวเลข
- ควบคุมโปรแกรมการคำนวณและจัดพิมพ์เอกสารรายงานผลการสำรวจ

ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์นี้

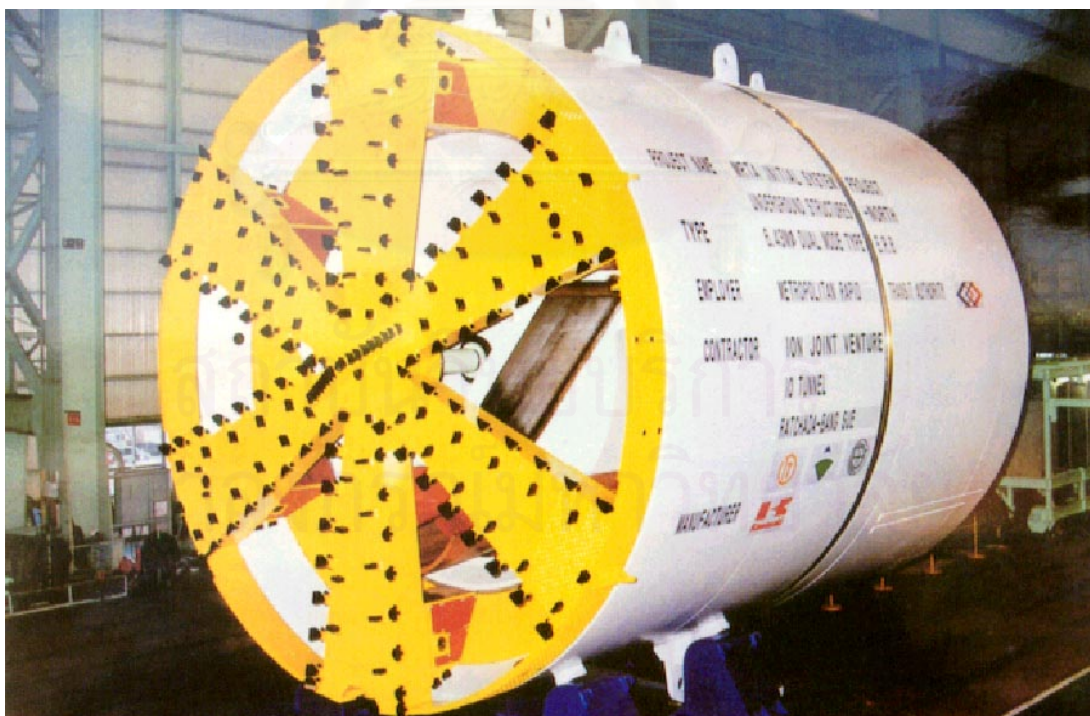
- เมื่อโปรแกรมมีปัญหาจะมีผลต่อเนื่องทั้งระบบ
- ในบางครั้งข้อมูลที่มีความผิดพลาดหรือมีปัญหาไม่ถูกส่งมายังอุปกรณ์ควบคุมการ



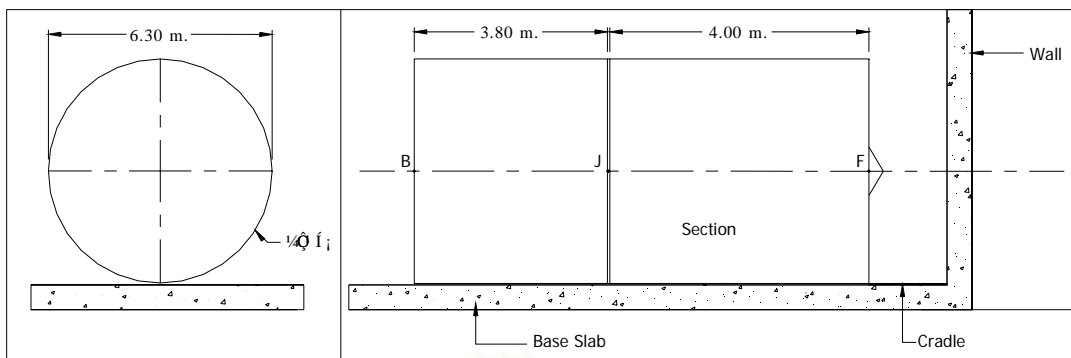
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของอุปกรณ์รวบรวมข้อมูลและอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

2.4 ลักษณะและตำแหน่งของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์

เครื่องขุดเจาะอุโมงค์มีลักษณะเป็นหัวรถจักร (ดังรูปที่ 2.17) เพื่อใช้ในการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน มีการขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าและไฮดรอลิก โดยมีรัศมีภายนอก 6.30 เมตรและรัศมีภายในประมาณ 6.00 เมตร มีน้ำหนักประมาณ 200 ตัน แบ่งได้ออกเป็น 2 ท่อน (ท่อนหน้าจะยาวกว่าท่อนหลังเล็กน้อย) คือ ท่อนหน้าจะยาวประมาณ 4 เมตร และท่อนหลังจะยาวประมาณ 3.8 เมตร รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 8.00 เมตร ในบริเวณรอยต่อจะเป็นกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกเพื่อช่วยให้เครื่องเจาะขยับตัวในการเคลื่อนแรงกดดันที่หัวเจาะ (ดังรูปที่ 2.18) นอกจากนี้ หัวเจาะด้านหน้าจะประกอบด้วยใบมีด 4 แฉก มีหัวเจาะปลายแหลมอยู่ตรงกลางใบมีดโดยยื่นออกไป 30 เซนติเมตร สามารถขุดเจาะได้ 3-4 เซนติเมตรต่อนาที และหมุนได้นาทีละ 1-2 รอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน ส่วนด้านท้ายหรือด้านหลังจะมีเป่าหรือแผ่นปริซึม 2-3 แท่ง ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตรวางกระจายกันอยู่ท้ายเครื่อง โดยแต่ละเป่าจะมีพิกัดและระยะห่างจากหัวเจาะ ทั้งนี้การตั้งกล้องหาแนวแต่ละครั้งจะต้องมองเห็นเป็นอย่างน้อย 2 เป่าจึงจะเพียงพอสำหรับการประเมินผลหาตำแหน่งที่ต้องการ



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์



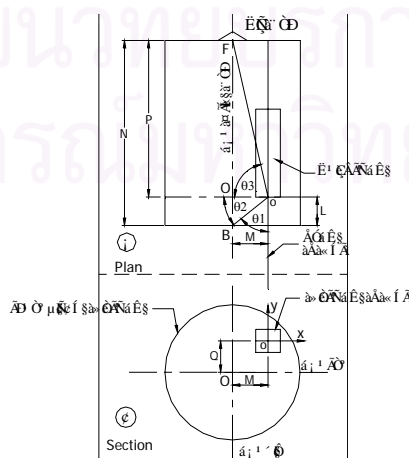
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะและตำแหน่งของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์

2.4.1 การตรวจสอบตำแหน่งก่อนการขุดเจาะอุโมงค์

เครื่องขุดเจาะอุโมงค์จะตั้งอยู่บนคานเหล็กและรองรับด้วยพื้นคอนกรีตหนาและแข็งแรง โดยคานเหล็กนี้จะสามารถเลื่อนขึ้น-ลงและซ้าย-ขวาได้เล็กน้อยเพื่อให้แกนของหัวขุดเจาะอุโมงค์ อยู่ในตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆที่จะใช้ นำทางตามที่กล่าวไว้แล้ว ข้างต้นจะสามารถตรวจสอบความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากการติดตั้งได้ เช่น การหมุนตัวและการ ก้มหรือเงยของแกนหัวขุดเจาะอุโมงค์

2.4.2 การกำหนดจุดสำรวจในเครื่องขุดเจาะอุโมงค์

จุดสำรวจในเครื่องขุดเจาะอุโมงค์เป็นจุดสำคัญที่จะบอกตำแหน่งของหัวเจาะ ได้แก่ จุด B และ จุด F โดยจุดทั้งสองจะอยู่ในแกนกลางของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ จุด B และ จุด F อยู่ที่ ส่วนท้ายและส่วนหัวของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ดังรูปที่ 2.19)



รูปที่ 2.19 แสดงจุดสำรวจในเครื่องขุดเจาะอุโมงค์

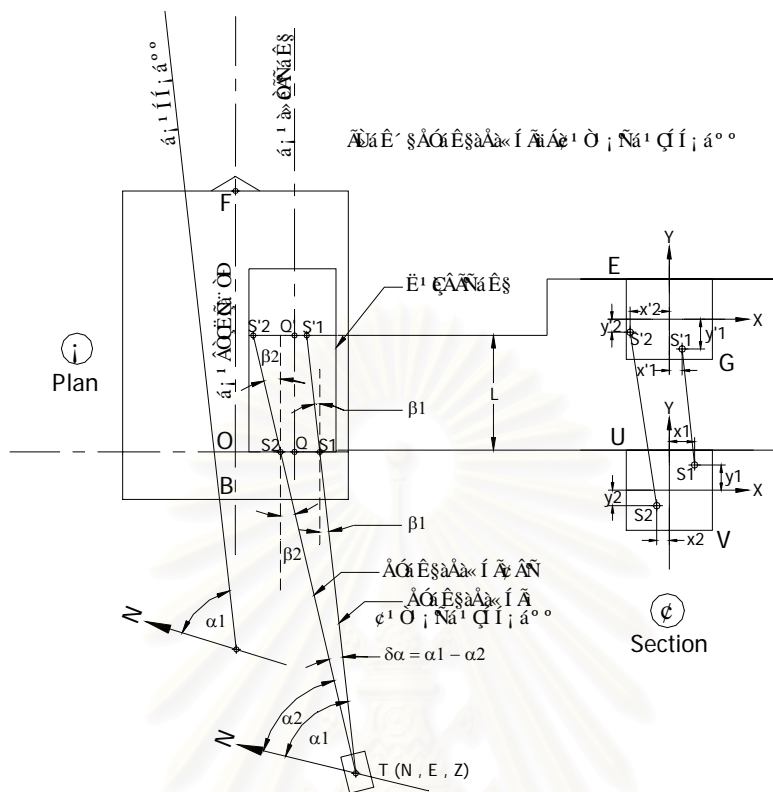
- L = เป็นระยะในแนวราบระหว่างระนาบตั้งที่ผ่านจุดสำรวจ B และจุดตัดกลางเป้ารับแสง
- M = เป็นระยะในแนวราบระหว่างแกนยาวเครื่องเจาะและแกนยาวเป้ารับแสง
- N = เป็นระยะในแนวราบระหว่างจุดสำรวจ B, F
- P = เป็นระยะในแนวราบระหว่างจุดสำรวจ F และ O
- Q = เป็นระยะในแนวตั้งระหว่างตำแหน่งกลางเป้ารับแสงและแกนราบ (หน้าตัดเครื่องเจาะ)
- θ = เป็นมุมระหว่างด้านที่กำหนดให้

2.4.3 การกำหนดตำแหน่งจุดเลเซอร์

แนวลำแสงเลเซอร์จะเป็นแนวตั้งของกล้องที่ขนานกับแนวออกแบบ โดยจุดเลเซอร์จะตกบนเป้าแรก ณ ที่ใดที่หนึ่งขึ้นอยู่กับการขยับแกนเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งถ้าตกบริเวณตรงกลางจะได้ค่าที่ถูกต้องกว่าที่อื่น (ดังรูปที่ 2.20) กำหนด UV เป็นระนาบตั้งที่ผ่านหน้าเป้าแรก x_1, y_1 เป็นพิกัดฉากของจุดเลเซอร์ S1 แสงเลเซอร์ที่เหลือจะผ่านเป้าแรกไปกระทบเป้าที่สองที่อยู่ภายในอุปกรณ์เป้ารับแสง คือ EG จะได้ค่าพิกัดทางราบ x'_1, y'_1 β_1 เป็นมุมตกกระทบและสามารถคำนวณค่ามุม β_1 ได้จากค่าคงที่ของอุปกรณ์เป้ารับแสง ในระบบนี้จะใช้ตัวรับสัญญาณรองรับแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อเป็นข้อมูลแสดงที่อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

มุมตกกระทบของลำแสงเลเซอร์ (β_1) มีลักษณะดังนี้

- ถ้าหากจุด S1 ตกกลางเป้าแรกและกลางเป้าที่สองแกนหัวเจาะจะขนานกับแนวออกแบบจะได้ $\beta = 0$
- ถ้าหากจุด S1 ตกกลางเป้าแรกและ $x'_1 \neq 0$ แกนหัวเจาะเฉียงไปข้างใดข้างหนึ่งของแนวออกแบบโดยขึ้นอยู่กับเครื่องหมาย x'_1 จะได้ $\beta \neq 0$
- ถ้าหาก $x_1 = x'_1$ ลำแสงเลเซอร์จะขนานกับแกนเป้ารับแสงจะได้ $\beta = 0$



รูปที่ 2.20 แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดเลเซอร์

2.4.4 การตรวจสอบตำแหน่งเครื่องชุดเจาะอุโมงค์กัมหรือเงย

การตรวจสอบตำแหน่งเครื่องชุดเจาะอุโมงค์กัมหรือเงยสามารถดูได้จากหน่วยวัดตำแหน่งของเครื่องชุดเจาะอุโมงค์ ซึ่งภายในจะมีตัวรับสัญญาณเพื่อรับข้อมูลทิศทางแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าลงโปรแกรมรวบรวมข้อมูลและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานที่สามารถตรวจสอบจากจอแสดงผล

จากรูปที่ 2.21 BOF เป็นแกนยาวของเครื่องเจาะเมื่ออยู่ในแนวราบ B'O'F' จะเป็นแกนยาวของเครื่องเจาะ เมื่อเอียงขึ้นเป็นมุม α และ D1, D2, D3 จะเป็นแนวออกแบบและค่าเบี่ยงเบนเมื่อเปรียบเทียบกับแนวราบมีรายละเอียดดังนี้

$O'O_1'$ = ค่าเบี่ยงเบนทางตั้งที่ระนาบตั้งผ่านเป้าแรก

$F'F_1'$ = ค่าเบี่ยงเบนทางตั้งที่หัวเจาะ

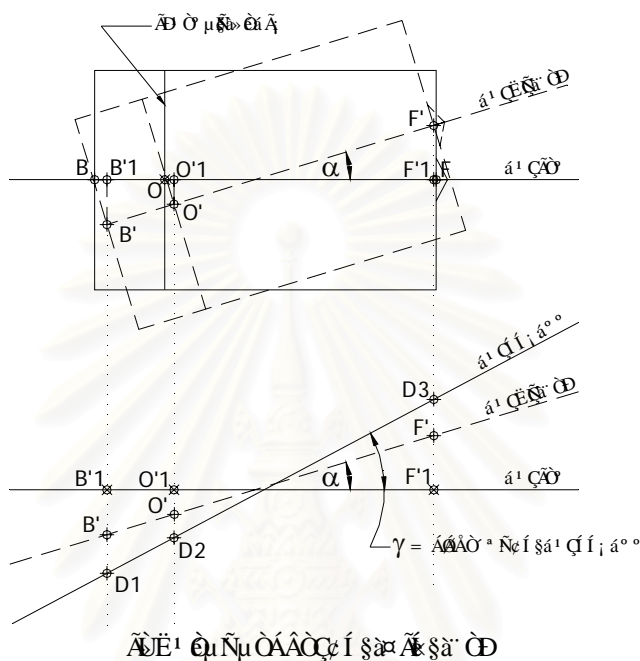
$B'B_1'$ = ค่าเบี่ยงเบนทางตั้งที่ท้ายหัวเจาะ

ค่าเบี่ยงเบนเมื่อเปรียบเทียบกับแนวออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

D2O' เกิดที่ระนาบตั้งผ่านเป้าแรก

D3F' เกิดที่หัวเจาะ

D1B' เกิดที่ท้ายหัวเจาะ



รูปที่ 2.21 แสดงการตรวจสอบเครื่องชุดเจาะอุโมงค์กัมหรือเงย

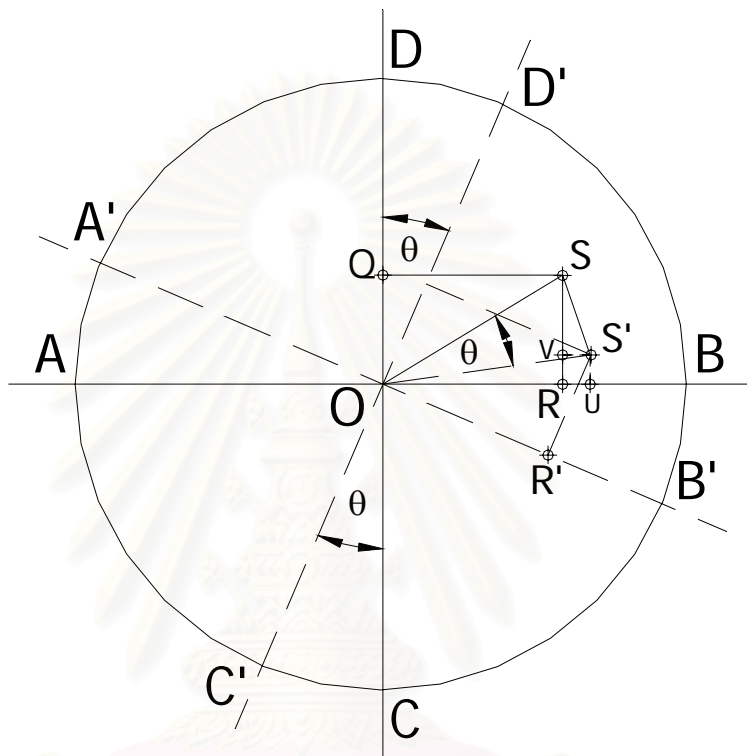
2.4.5 การตรวจสอบตำแหน่งเครื่องชุดเจาะอุโมงค์หมุนรอบตัวเอง

การตรวจสอบตำแหน่งเครื่องชุดเจาะอุโมงค์หมุนรอบตัวเองจะพิจารณาที่หน้าตัดของเครื่องชุดเจาะอุโมงค์หมุนรอบแกนตามยาว ดังนั้น การที่จุดเลเซอร์มีการเปลี่ยนตำแหน่งออกจากแนวปกติซึ่งมีผลต่อค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณค่าพิกัดของเครื่องชุดเจาะอุโมงค์ดังนี้ (ดังรูปที่ 2.22)

เมื่อกำหนดให้ AB และ CD เป็นแกนของหัวชุดเจาะอุโมงค์ในสภาวะปกติ A'B และ C'D' เป็นแกนหัวชุดเจาะอุโมงค์ เมื่อหมุนตามเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม θ S' เป็นตำแหน่งจุดเลเซอร์ SQ และ SR เป็นค่าคงที่เริ่มต้นของหัวเจาะโดยมีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

- คำนวณมุม OSS' ของ สามเหลี่ยมหน้าจั่ว OSS'
- คำนวณมุม OSR ของสามเหลี่ยมมุมฉาก OSR

- คำนวณมุม VSS' และระยะทาง VS' หรือ RU ของ สามเหลี่ยมมุมฉาก SVS'
- คำนวณหาพิกัดฉาก และค่าระดับของจุด U
- ถ่ายค่าไปยังจุด O และไปที่จุดสำรวจ B และ F
- ทำการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าออกแบบ



รูปที่ 2.22 แสดงการตรวจสอบเครื่องขุดเจาะอุโมงค์หมุนรอบตัวเอง

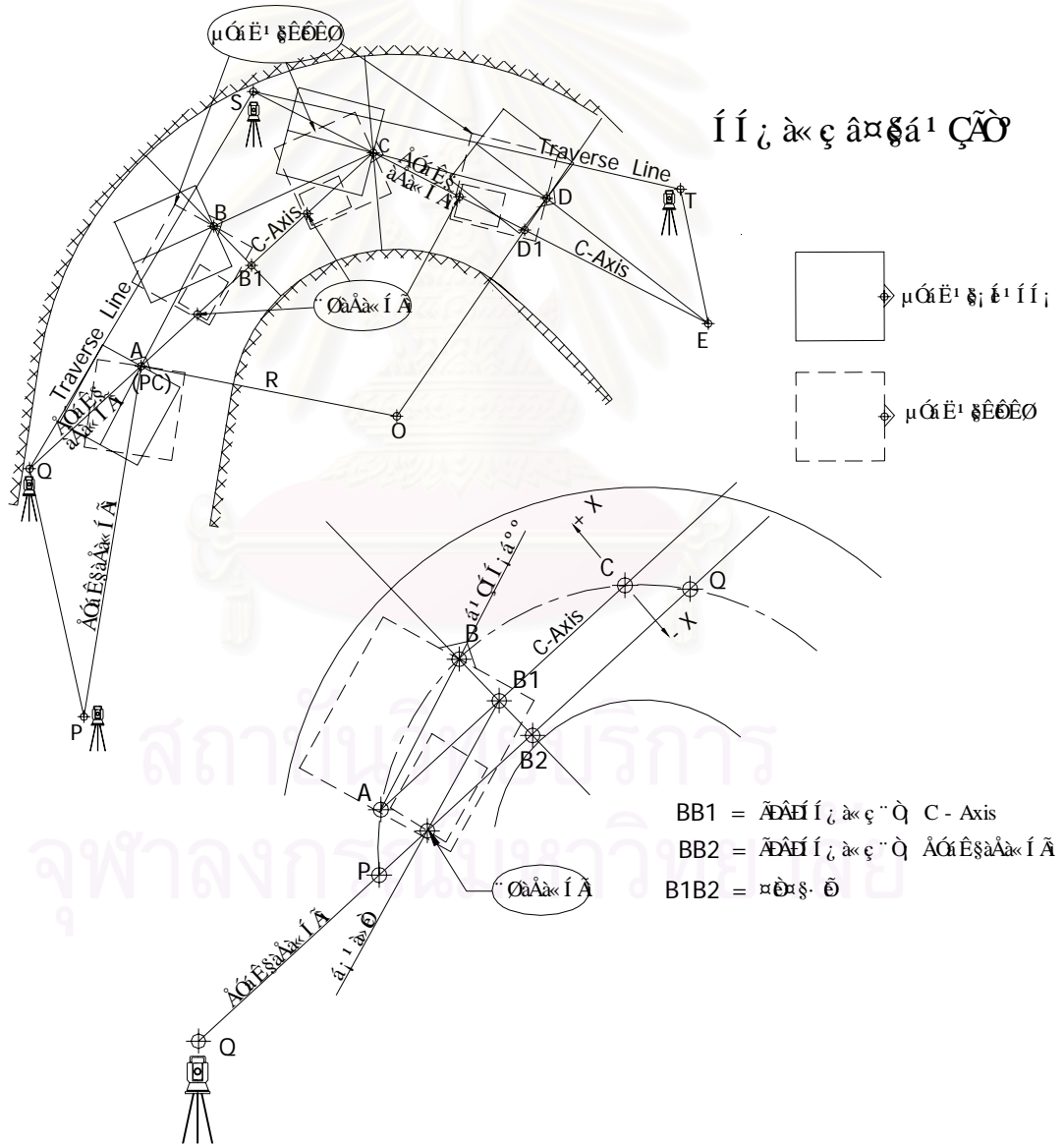
2.5 การบังคับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในทิศทางโค้ง

ในการจะบังคับหัวขุดเจาะทำการขุดเจาะอุโมงค์ให้เป็นเส้นโค้งในแนวราบหรือเส้นโค้งในแนวตั้งตลอดเส้นทางที่ออกแบบไว้ นั้นเป็นการยากที่ต่อการควบคุมทิศทางของหัวเจาะ จึงทำการแบ่งโค้งออกเป็นคอร์ดสั้นๆ เช่น กำหนดขอบนอกของเครื่องเจาะห่างจากโค้งมากที่สุด 5 เซนติเมตร รัศมีโค้งเท่ากับ 200 เมตร จะได้ความยาวคอร์ดมากที่สุด 9 เมตร ความยาวขนาดนี้อาจจะพอเหมาะที่จะทำให้เครื่องเจาะขนาดนี้ผ่านไปได้ แต่ในปัจจุบันได้พัฒนาเครื่องขุดเจาะอุโมงค์ให้ทำการขุดเจาะไปตามแนวโค้งได้สะดวกมากขึ้น โดยการป้อนข้อมูลล่วงหน้าของโค้งเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานต่างๆ

2.5.1 การบังคับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในโค้งวงกลม

จากรูปที่ 2.23 กำหนดคอร์ด AC เป็น C-axis BB1 เป็นระยะออฟเซต AB เป็นแนวหัวเจาะที่ใกล้กับอาร์คมากที่สุด เมื่อหัวเจาะอยู่ที่ A ให้คำนวณค่าออฟเซตล่วงหน้า BB1 และ AB จะเป็นระยะล่วงหน้า จะทำการป้อนระยะทั้งสองลงในอุปกรณ์ควบคุมงาน โดยวิศวกรสำรวจจะใช้ค่าทั้งสองบังคับเส้นทางจนกระทั่งได้ระยะทาง AB

ในทำนองเดียวกันให้เครื่องขุดเจาะอุโมงค์อยู่ที่ B และให้คำนวณค่าล่วงหน้าดังที่ได้กล่าวไว้ แต่ค่าออฟเซตที่จุด C เท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.23 แสดงการบังคับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในโค้งวงกลม

2.5.2 การบังคับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในโค้งสไปรัล

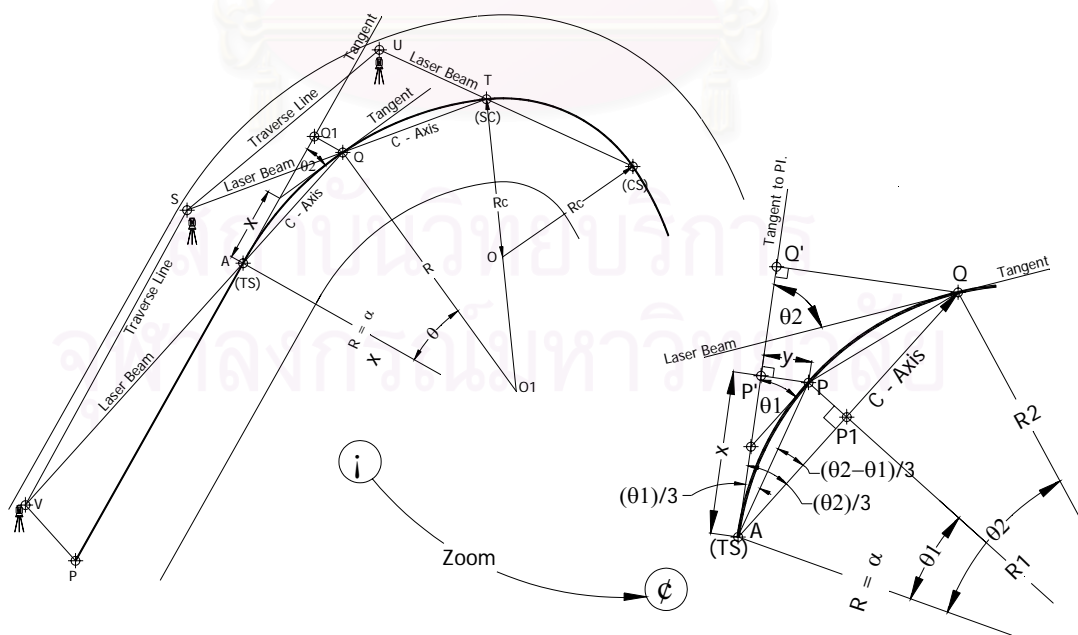
การบังคับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในโค้งสไปรัลจะสะดวกกว่าในโค้งวงกลมเนื่องจากค่าออฟเซทน้อยกว่า แต่จะมีการคำนวณยุ่งยากเพื่อที่จะให้เป็นไปตามคุณสมบัติทางเรขาคณิต (ดังรูปที่ 2.24)

- อาร์ค AQT เป็นโค้งสไปรัล, P และ Q เป็นจุดใดๆ ในโค้ง
- P และ Q เป็นจุดใดๆ ในโค้ง, ทราบระยะ AP และ AQ คำนวณมุมที่เส้นสัมผัสทั้งสอง θ_1 และ θ_2
- กำหนด คอร์ด AQ เป็น C-axis
- คำนวณมุม APP_1 , ทราบมุม PAP_1 และคอร์ด AP คำนวณระยะออฟเซท PP_1 ได้

ขั้นตอนการนำหัวขุดเจาะอุโมงค์ไปถึงจุด P

- ป้อนระยะออฟเซทล่วงหน้า PP_1 เข้ากับหน่วยควบคุมการทำงาน
- ป้อนระยะคาดการณ์ล่วงหน้าเข้ากับหน่วยควบคุมการทำงาน คือ ระยะ AP
- บังคับเครื่องเจาะเดินไปข้างหน้าจนกระทั่งได้ค่าตามข้อที่ 1 และ 2

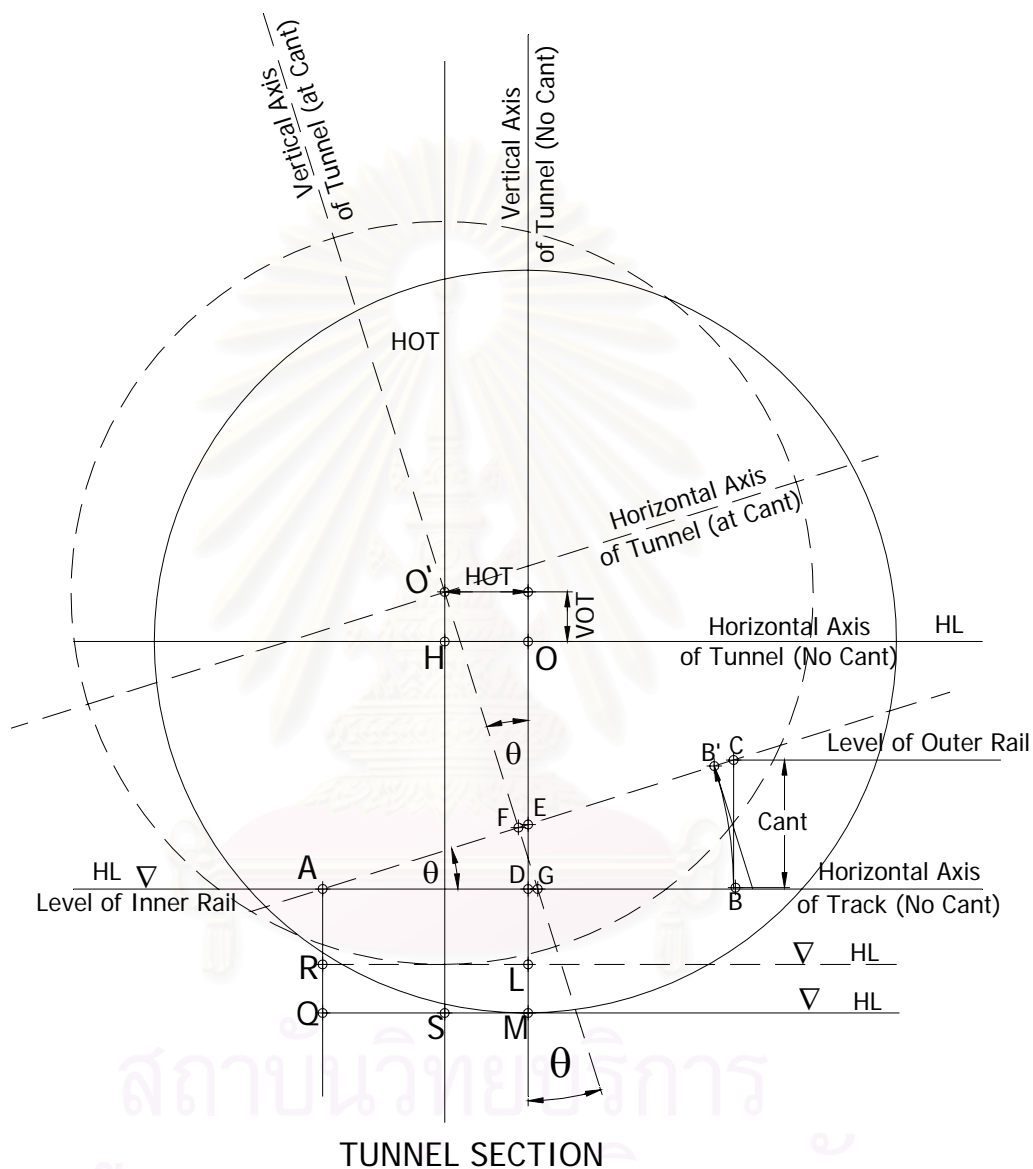
ในการทำงานเดียวกันให้เครื่องเจาะเดินทางจาก P ไป Q ต้องคำนวณล่วงหน้า



รูปที่ 2.24 แสดงการบังคับหัวขุดเจาะอุโมงค์ในโค้งสไปรัล

2.5.3 การหาระยะออฟเซตหัวขุดเจาะอุโมงค์

การหาระยะออฟเซตของหัวขุดเจาะอุโมงค์ที่ออกจากแนวปกติจะทำการคำนวณตำแหน่งหัวขุดเจาะอุโมงค์ที่อยู่ในโค้งที่ยกระดับแบบหมุนรอบขอบในของราง (ดังรูปที่ 2.25 เป็นโค้งเดี่ยวซ้าย)



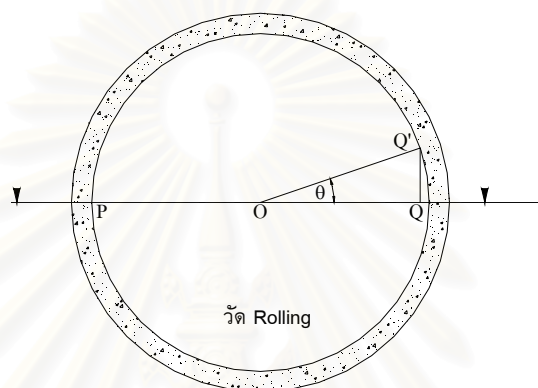
รูปที่ 2.25 แสดงการหาระยะออฟเซตหัวขุดเจาะอุโมงค์

จากรูปที่ 2.25 กำหนดให้ O เป็นจุดศูนย์กลางกลางของหัวขุดเจาะอุโมงค์ในโค้งปกติ AB เป็นความกว้างของราง D เป็นจุดกลางช่วงราง O' เป็นจุดศูนย์กลางกลางของหัวขุดเจาะอุโมงค์ในโค้งที่ยกระดับ A เป็นจุดหมุน ทำการยกยกระดับ CB หรือมุม θ AB' เป็นความกว้างราง และ F เป็นจุดกึ่งกลาง AB' ลากเส้นตั้งผ่านจุด O' และตัดเส้นราบผ่านจุด O ที่จุด H จะได้ OH เป็นระยะออฟเซตทางราบ และ $O'H$ เป็นระยะออฟเซตทางตั้ง

2.6 การตรวจสอบตำแหน่งอุโมงค์ที่ประกอบไว้แล้ว

2.6.1 การตรวจสอบทิศทางการหมุนของชิ้นส่วนอุโมงค์(Rolling)

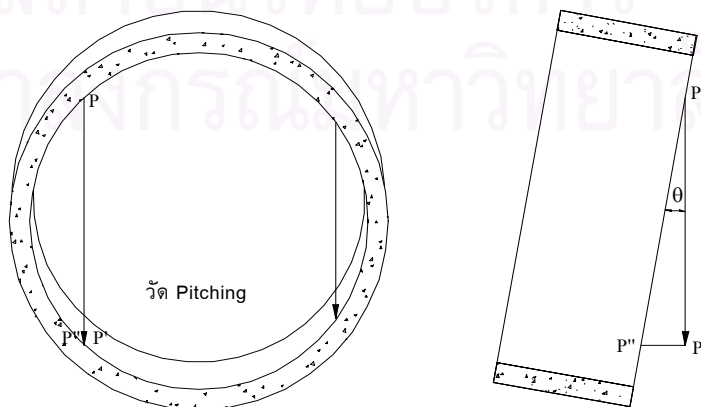
โดยทั่วไปการตรวจสอบทิศทางการหมุนของชิ้นส่วนอุโมงค์ จะใช้ระดับสายยางวัดมุมกลางของชิ้นส่วนอุโมงค์ว่าสูงและต่างกันมากน้อยแล้วจึงคำนวณขนาดและทิศทางของการหมุน (ดังรูปที่ 2.26)



รูปที่ 2.26 การตรวจสอบทิศทางการหมุนของชิ้นส่วนอุโมงค์ (Rolling)

2.6.2 การตรวจสอบทิศทางการเอียงของชิ้นส่วนอุโมงค์ (Pitching)

โดยทั่วไปการตรวจสอบทิศทางการเอียงของชิ้นส่วนอุโมงค์จะไปทางซ้ายหรือขวานั้น จะใช้ลูกดิ่งในการวัดขอบซ้ายและขวาของชิ้นส่วนอุโมงค์ โดยให้สายดิ่งแตะกับขอบอุโมงค์แล้วจึงวัดระยะจากปลายลูกดิ่งไปยังขอบของอุโมงค์และคำนวณหาขนาดและทิศทางของการเอียง (ดังรูปที่ 2.27,2.28)



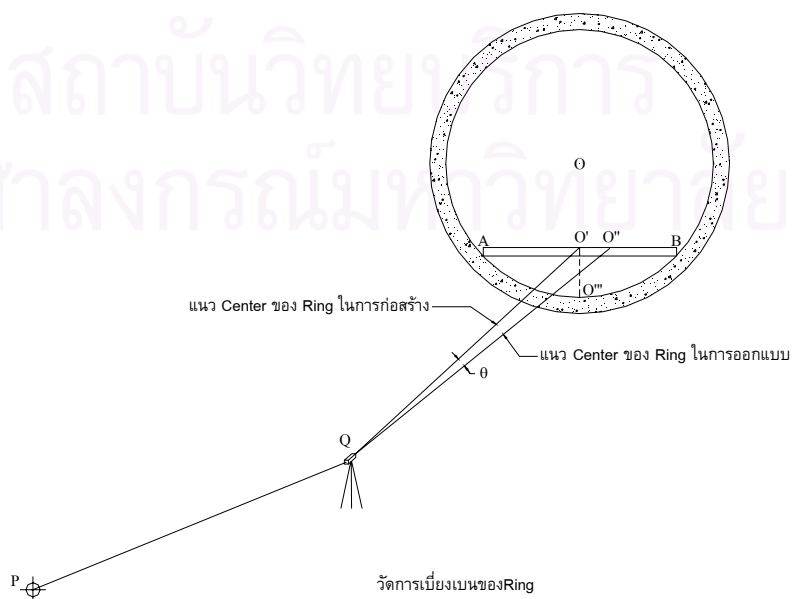
รูปที่ 2.27 การตรวจสอบทิศทางการเอียงของชิ้นส่วนอุโมงค์ (Pitching)



รูปที่ 2.28 แสดงการตรวจสอบทิศทางการเอียงในภาคสนาม

2.6.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจุดศูนย์กลางจากค่าออกแบบ

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจุดศูนย์กลางจากค่าออกแบบเป็นการตรวจสอบแนวออกแบบของเส้นทางโดยใช้อุปกรณ์วัด วางพาดกลางของชิ้นส่วนอุโมงค์แล้วจึงใช้กล้องสำรวจส่องไปยังจุดกลางของอุปกรณ์วัดและวัดมุมราบ ซึ่งจากการทราบมุมและระยะทางก็จะสามารถคำนวณหาพิกัดสามมิติ แล้วนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าออกแบบทราบความคลาดเคลื่อน (ดังรูปที่ 2.29)



รูปที่ 2.30 แสดงลักษณะแบบของแนวอุโมงค์

2.7.1 แบบแปลน

แบบแปลนทางราบของเส้นทางรถไฟฟ้า (ดังรูปที่ 2.30) ใช้มาตราส่วน 1:1,000 ที่ช่องแนวกริดทุกๆ 100 เมตร บนกระดาษขนาด A3 ซึ่งแสดงรายละเอียดดังนี้

- สัญลักษณ์และอักษรย่อของแผนที่เส้นทาง
- แสดงรายละเอียดบนดินตลอดเส้นทาง เช่น สิ่งปลูกสร้างต่างๆ หมุดเขตทางและหมุดเวนคืนที่ดินที่ใช้เป็นประโยชน์ในการก่อสร้างสถานี
- โค้งแนวราบจะเป็นสไปรัลและวงกลม ที่จะสามารถบอกระยะทางและพิกัด
- แสดงหมุดอาณาเขตของสถานี ค่าพิกัดจากและระยะทางกึ่งกลางของสถานี

2.7.2 แบบโปรไฟล์

แบบโปรไฟล์ของเส้นทางรถไฟฟ้าจะใช้มาตราส่วนทางราบ 1:1,000 ใช้โค้งวงกลมแทนโค้งแนวตั้ง กำกับกับความยาวรัศมีและความยาวโค้ง ซึ่งมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้ (ดังรูปที่ 2.30)

- แนวความลาดชันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะบอกระยะทางที่จุดสัมผัส
- จุดตัดของความลาดจะบอกค่าระยะทางและค่าระดับ
- จุดต่ำสุดจะบอกระยะทางและค่าระดับ

2.7.3 แบบชุดเจาะอุโมงค์

แบบชุดเจาะอุโมงค์จะเป็นการขยายให้เห็นตำแหน่งหัวเจาะที่อยู่ในแนวตรงและแนวโค้ง (ดังรูปที่ 2.30)

2.7.3.1 แบบเส้นทาง

แบบเส้นทางจะเป็นแบบแสดงทิศทางของโค้งเล็กน้อยซ้ายหรือเล็กน้อยขวาของเส้นทางที่กำหนดให้ ประกอบไปด้วยความยาวโค้ง, รัศมีโค้งวงกลม, ระยะยกโค้งและระยะทางของจุดสัมผัส

2.7.3.2 แบบระยะออฟเซท

ระยะออฟเซทมี 2 ส่วน คือ ออฟเซททางราบและออฟเซททางดิ่ง ซึ่งจะหมายถึงหัวเจาะจะต้องขยับออกจากปกติเล็กน้อยเมื่อเข้าโค้ง โดยค่าออฟเซทที่ได้จากการคำนวณและการออกแบบเพื่อให้พื้นสิ่งปลูกสร้าง

- แบบออฟเซททางราบ คือ ระยะทางราบ โดยวัดจากหน้าตัดที่ผ่านหัวเจาะปกติกับหัวเจาะที่ขยับเนื่องจากการยกโค้ง คือ OH
- แบบออฟเซทแนวดิ่ง คือ ระยะดิ่ง โดยวัดจากหน้าตัดที่ผ่านหัวเจาะปกติกับหัวเจาะที่ขยับเนื่องจากการยกโค้ง คือ O'H

2.8 การรายงานผลการทำงานสำรวจ

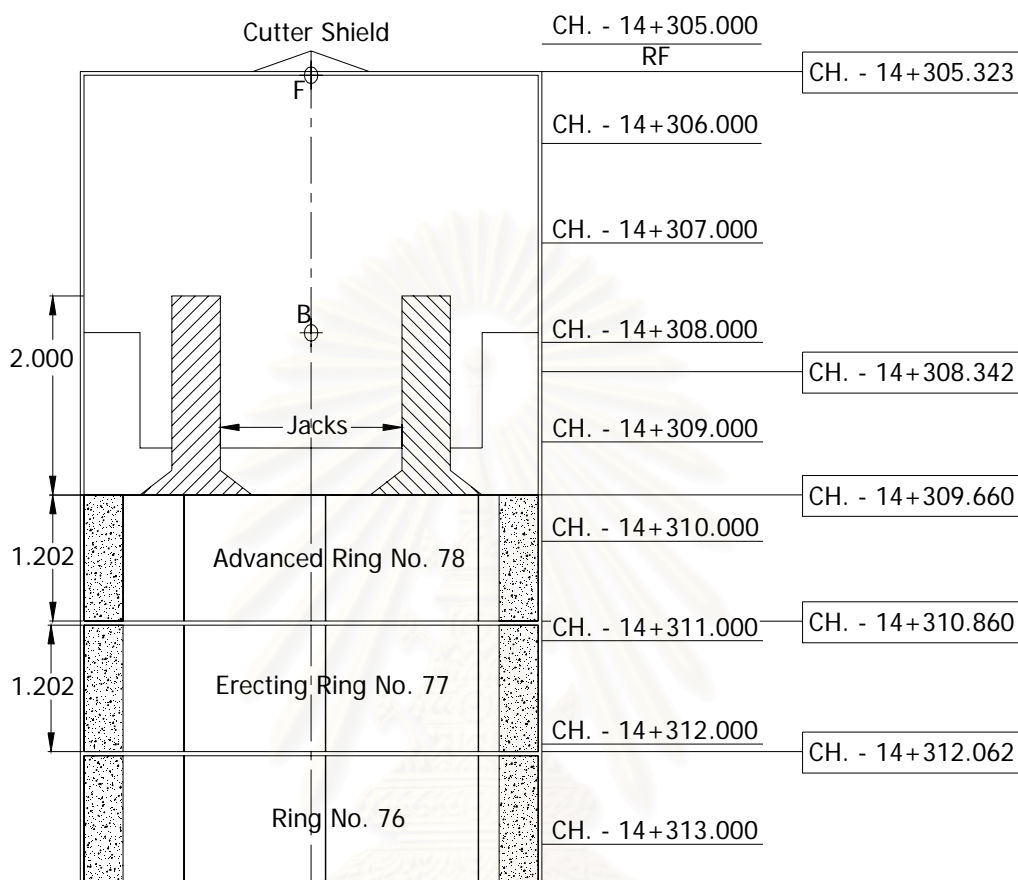
รายงานผลการทำงานสำรวจแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ รายงานตำแหน่งเครื่องเจาะและรายงานตำแหน่งของวงแหวน

2.8.1 ตำแหน่งของเครื่องเจาะ

ตำแหน่งของเครื่องเจาะจะเป็นตำแหน่งสุดท้ายของแกนเครื่องเจาะที่หยุดเพื่อจะประกอบวงแหวนชิ้นส่วนของอุโมงค์ ซึ่งเป็นข้อมูลของหัวเจาะที่หยุดอยู่กับที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้(ดังรูปที่ 2.31, 2.32)

- กราฟฟิกแสดงแกนของหัวเจาะหรือ B ไป F ซึ่งสามารถวัดได้จากกราฟฟิกนั้น
- ระยะทางของจุดสำรวจ B และ F (ดังรูปที่ 2.33)
- ตัวเลขที่ได้จากการวัดความยาวของแจ็ค ค่าออกแบบ ค่าต่างความยาวของแจ็ค แถบแผนภูมิ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งแสดงถึงการเจาะเสร็จไปแล้ว(ดังรูปที่ 2.34)
- แถบแผนภูมิที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเจาะตั้งแต่ต้น
- กราฟฟิกแสดงตำแหน่งของจุดเลเซอร์เมื่อหัวเจาะหยุด ซึ่งสามารถวัดค่าพิกัดได้
- ช่วงระยะเวลาการเจาะที่แล้วเสร็จต่อ 1 วงแหวน
- พิกัดฉากและระดับของจุดสำรวจ
- การหมุนตัวของเครื่องเจาะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์
- การก้มหรือเงยของเครื่องเจาะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

- อชmithและระดับจุดสำรวจ
- ค่าต่างระหว่างตำแหน่งเครื่องเจาะกับตำแหน่งออกแบบ



รูปที่ 2.31 การรายงานตำแหน่งของเครื่องเจาะ

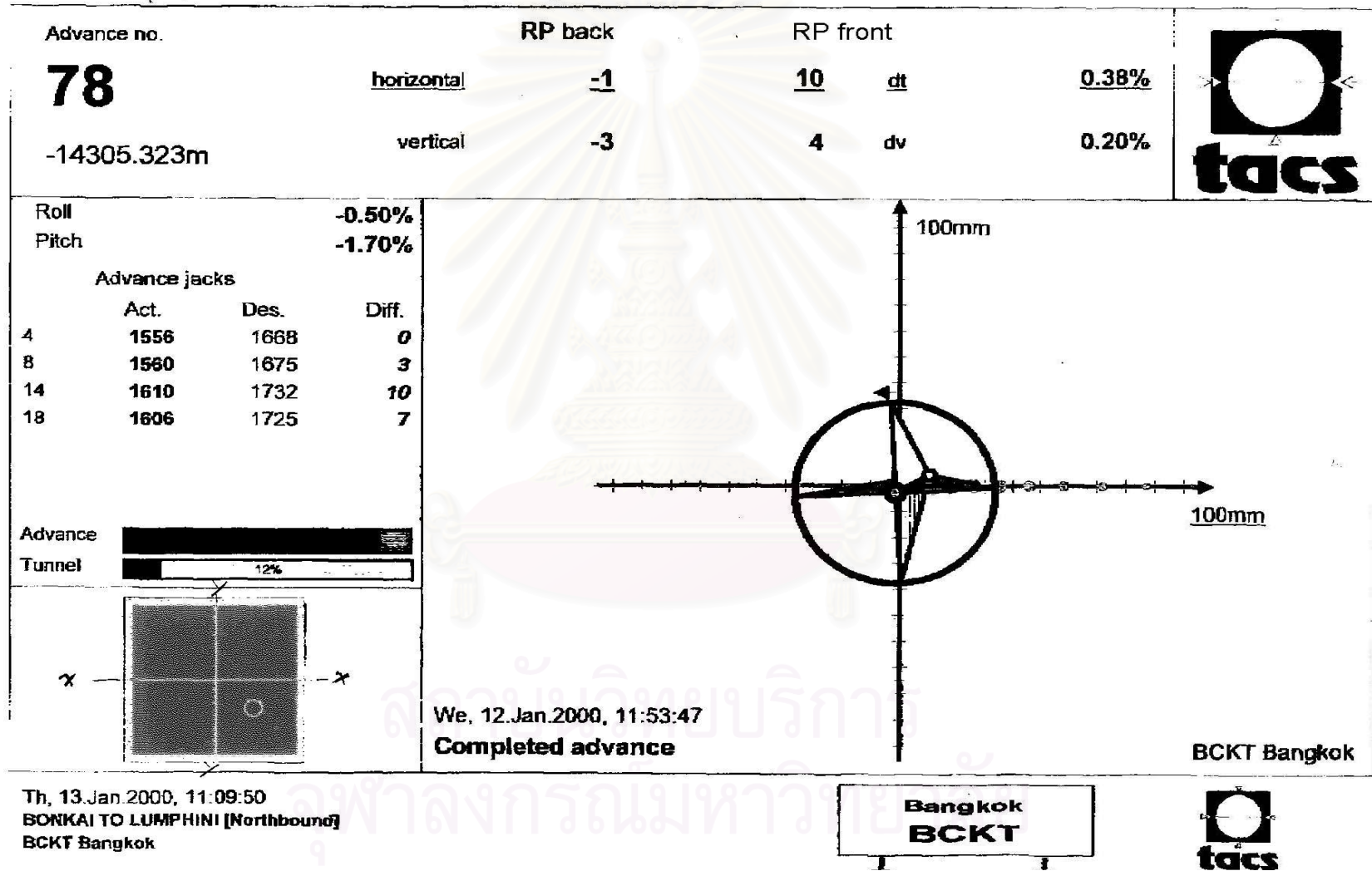
ข้อมูลจุดตั้งกล้องมีดังนี้

- ระยะทางและตำแหน่งจุดตั้งกล้อง
- อชmithและมุมตั้งจากจุดตั้งกล้องไปยังเป้าเลเซอร์
- ระยะทางและระยะจากจุดตั้งกล้องไปยังเป้าเลเซอร์
- ระยะทางของวงแหวนเริ่มต้น

ข้อมูลเพิ่มเติม มีดังนี้

- ระยะห่างส่วนหัวและส่วนท้ายของเครื่องขุดเจาะอุโมงค์
- ระยะระหว่างวงแหวน(เปลือกอุโมงค์ด้านนอก)และผนังของหัวเจาะ
- พิกัดฉากและกำลังของจุดเลเซอร์

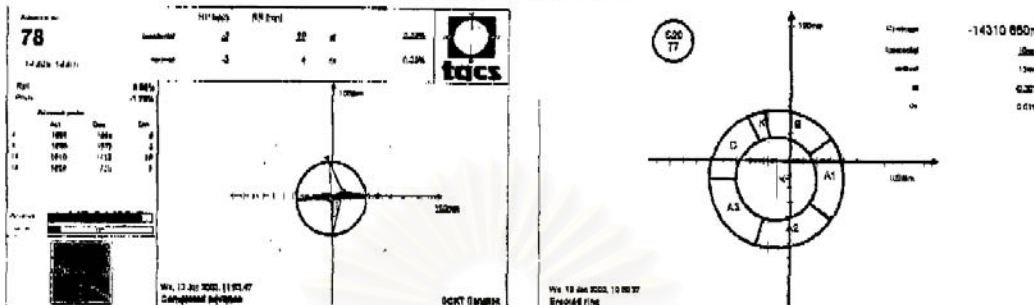
รูปที่ 2.32 การรายงานตำแหน่งของเครื่องเจาะ



tacs - acs-11
 Project: BCKT Bangkok
 Tunnel: BONKAI TO LUMPHINI [Northbound]

Ring nr. 77
 Advance no. 78

Advance record



Date of ring erection: We, 12.Jan.2000, 10:59:37

TBM data, Chainage RP back: -14308.342m

		Act.	Des.	Diff.
Roll:	-0.50%			
hor. angle	[gon]	318.52672	318.20982	0.31691
Pitch	[%]	-1.70	-1.80	0.10
Easting	[m]	400320.582	400320.582	
Northing	[m]	29972.748	29972.748	dh -1mm
Level	[m]	82.616	82.618	dv -3mm

TBM data, Chainage RP front: -14308.323m

hor. angle	[gon]	318.52672	318.35753	0.18919
Pitch	[%]	-1.70	-2.00	0.30
Easting	[m]	400317.689	400317.686	
Northing	[m]	29973.613	29973.603	dh 10mm
Level	[m]	82.564	82.550	dv 4mm

Ring data, Chainage: -14310.860m

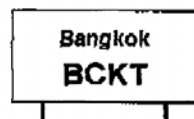
hor. angle	[gon]	317.87099	318.08200	-0.19100
Pitch	[%]	-1.81	-1.80	-0.01
Easting	[m]	400322.996	400322.998	
Northing	[m]	29972.031	29972.040	dh -10mm
Level	[m]	82.651	82.654	dv -13mm

Laser station: 54065

Chainage	-14325.805m	hor. angle:	318.65400gon	Zenith angle:	101.71800gon
Easting:	400337.827m	Northing:	29969.563m	Level:	84.382m
Distance:	17.982m	Reference ring:	-13	Chainage ref. ring:	-14418.950m

Jack extension before ring erection		Articulation extension back		Clearance		ZED	
18 1606	4 1556	18 115	4 94	T 351	XS 21	LDL 22	
	[mm]		[mm]	L 335	R 348	YS -17	LKV-17
14 1610	8 1560	14 120	8 87	B 336			RL 22

Th, 13.Jan.2000, 11:26:32
 BONKAI TO LUMPHINI [Northbound]
 BCKT Bangkok



รูปที่ 2.33 แสดงผลของการคำนวณตำแหน่งของจุดสำรวจและตำแหน่งของวงแหวน

2.8.2 ตำแหน่งของวงแหวน

- ระยะทางของวงแหวนอยู่ที่ขอบหน้าของอุโมงค์
- ผลต่างเอซิมูทระหว่างแกนกลางของวงแหวนที่วางกับที่ออกแบบ
- ผลต่างระหว่างการก้มหรือเงยของแกนกลางของวงแหวนที่วางกับที่ออกแบบ
- ช่องว่างระหว่างผิวนอกวงแหวน(เปลือกอุโมงค์)ไปผิวด้านในของเครื่องเจาะ
- กราฟพิกแสดงตำแหน่งการวางวงแหวน แกนของวงแหวนที่ออกแบบและแสดงทิศทางแกนของวงแหวนที่วางวัดจากกราฟพิกได้
- ตัวเลขแสดงค่าเบี่ยงเบนทางราบและทางตั้งซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

ข้อสังเกต ตามรูป วงแหวนประกอบขึ้นส่วนของอุโมงค์จะมีจำนวน 6 ชั้น มีความหนา 30 เซนติเมตร โดยแต่ละชั้นจะมีความยาวคอर्डต่างกัน ยกเว้น A1, A2 และ A3 ส่วนตำแหน่งของการประกอบจะขึ้นอยู่กับแนวออกแบบ เช่น โค้งทางราบและโค้งทางตั้งจะใช้เซกเมนต์ K จะวางในตำแหน่งที่ต่างกัน ความสัมพันธ์ระหว่างหัวเจาะกับวงแหวน (ดังรูปที่ 2.31)

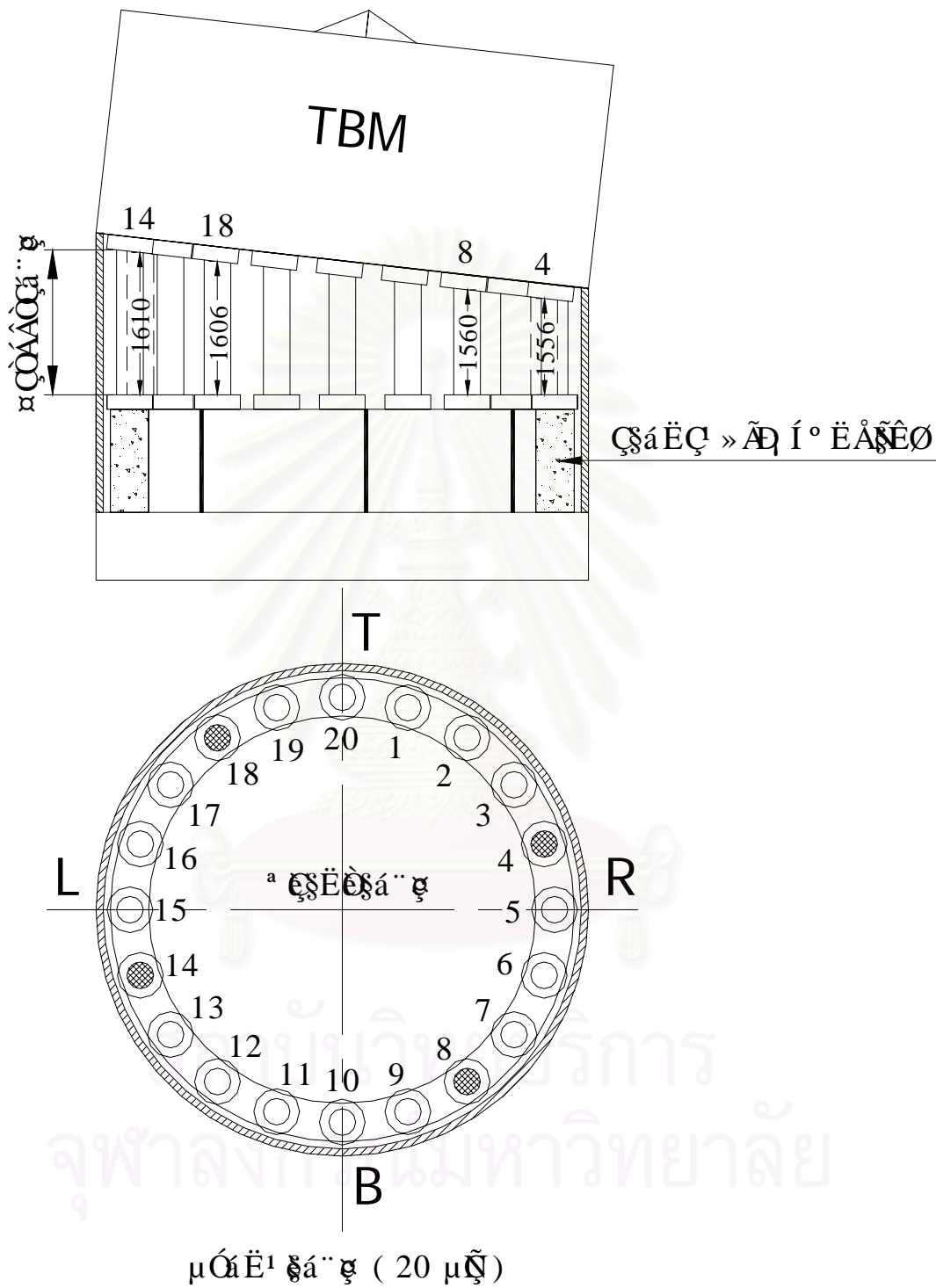
การแสดงรายการการคำนวณค่าพิกัดและระดับที่ออกแบบของวงแหวนที่ 77 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับวงแหวนที่ติดตั้งไปแล้ว (ดังตารางที่ 2.1)

CSC1 : SURVEY SECTION

PROJECT : METROPOLITAN RAPID TRANSIT RATCHAMONGKHON LINE
 LOCATION : North Bound Segment Survey From Lumpini Station To Bonkai Station
 COMPUTED BY : MR. PHUTTHA THONGTON 31-May-01
 CHECKED BY : MR. THAWORN KAEWYANA 3:52 PM

Ring No.	Chainage (m.)	Track Axis Coordinates			Azimuth			X-Off. (m.)	Y-Off. (m.)	Tunnel Center Coordinates		
		East(x)	North(y)	Elev.(m.)	°	'	"			East(x)	North(y)	Elev.(m.)
3	14+399.734	400,408.599	29,948.146	82.000	105	33	4.8	0.050	-0.065	400,408.586	29,948.098	83.900
8	14+393.729	400,402.814	29,949.756	81.991	105	33	4.8	0.050	-0.065	400,402.800	29,949.708	83.891
20	14+379.317	400,388.929	29,953.620	81.912	105	33	4.8	0.050	-0.065	400,388.916	29,953.571	83.812
41	14+354.096	400,364.632	29,960.381	81.574	105	33	4.8	0.050	-0.065	400,364.618	29,960.333	83.474
58	14+333.679	400,344.962	29,965.855	81.168	105	33	49.2	0.048	-0.058	400,344.949	29,965.810	83.075
77	14+310.860	400,323.006	29,972.072	80.712	106	13	2.8	0.032	-0.013	400,322.997	29,972.040	82.664
87	14+298.850	400,311.494	29,975.493	80.472	106	53	35.7	0.030	-0.006	400,311.485	29,975.464	82.431
109	14+272.428	400,286.313	29,983.494	79.943	108	15	54.5	0.038	-0.030	400,286.301	29,983.458	81.878
116	14+264.020	400,278.335	29,986.146	79.775	108	29	0.9	0.044	-0.047	400,278.321	29,986.105	81.694
129	14+248.409	400,263.535	29,991.113	79.478	108	34	4.5	0.050	-0.065	400,263.519	29,991.065	81.378
RP. front	14+305.323	400,317.694	29,973.632	80.601	106	31	20.6	0.030	-0.006	400,317.685	29,973.603	82.560
RP. back	14+308.342	400,320.589	29,972.778	80.662	106	21	1.8	0.031	-0.008	400,320.581	29,972.748	82.618

ตารางที่ 2.1 แสดงการคำนวณค่าพิกัดและระดับที่ออกแบบเปรียบเทียบกับวงแหวนที่ติดตั้งไปแล้ว



รูปที่ 2.34 แสดงตัวเลขจากการวัดความยาวของแฉีกค่าออกแบบและค่าต่างความยาวของแฉีก

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ซึ่งเป็นระบบขนส่งมวลชนใต้ดินระบบแรกของประเทศไทย

3.1 ข้อกำหนดของข้อมูลที่น่ามาวิจัย

การทำวิจัยมีข้อกำหนดในการพิจารณาเลือกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ดังนี้

3.1.1 การเก็บข้อมูลทางตำแหน่ง

การเก็บข้อมูลทางตำแหน่งต้องเป็นข้อมูลค่าพิกัดที่ตำแหน่งศูนย์กลางของอุโมงค์ที่อยู่ระหว่างสถานีเนื่องจากในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทำงานสำรวจเฉพาะในส่วนของอุโมงค์ทางวิ่งรถไฟฟ้าใต้ดินมาทำการวิจัยเท่านั้น

3.1.2 การเก็บข้อมูลวิธีการทำงานสำรวจแบบ Laser Theodolite and Target Unit

ช่วงอุโมงค์ที่เก็บข้อมูลจะต้องมีวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินวิธี Laser Theodolite and Target Unit

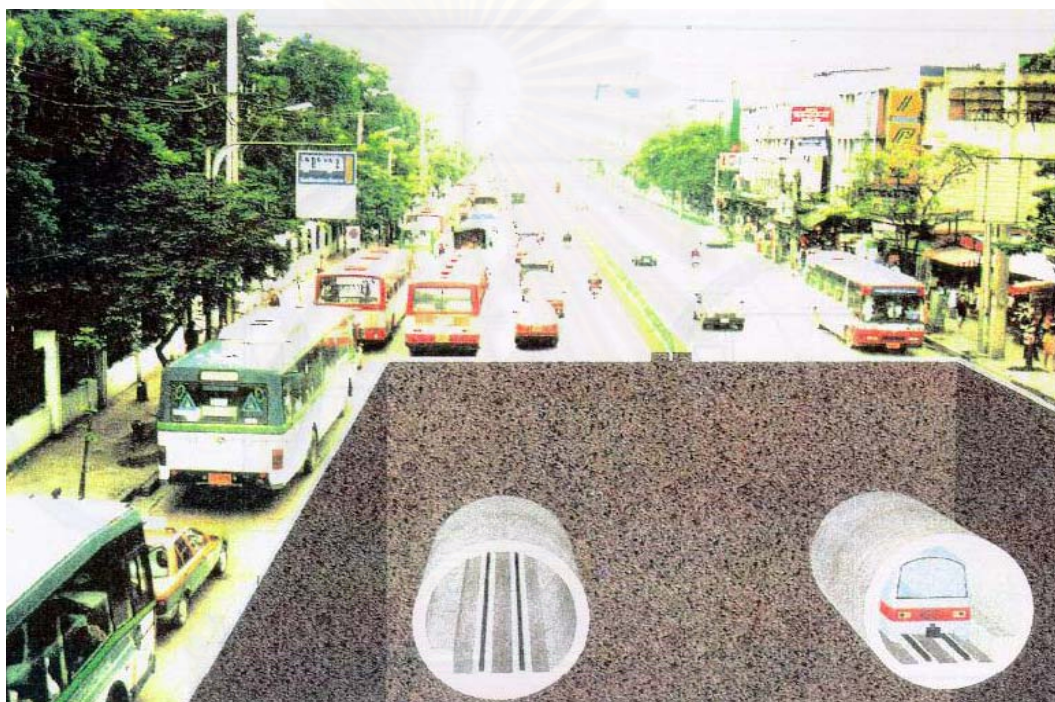
3.1.3 การเก็บข้อมูลวิธีการทำงานสำรวจแบบ Robotec Survey System

ช่วงอุโมงค์ที่เก็บข้อมูลจะต้องมีวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินวิธี Robotec Survey System

ในการทำวิจัยนำข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้จากการทำงานสำรวจด้วยวิธีการทั้งสองวิธีการทำงานดังกล่าวทำการวิเคราะห์ โดยจะพิจารณาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทำงานของผู้เก็บข้อมูล (Human Error) รวมในกลุ่มข้อมูลด้วย เนื่องจากไม่สามารถแยกความผิดพลาดดังกล่าวออกจากกลุ่มข้อมูลได้ และในการเก็บข้อมูลจะต้องมีลักษณะทางกายภาพที่เป็นปกติในการทำงานสำรวจในอุโมงค์รวมถึงจะต้องไม่มีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อเงื่อนไขในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 จำนวนข้อมูลที่นำมาทำการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลทางตำแหน่งที่มาจากการทำงานสำรวจภาคสนามและข้อมูลการออกแบบในการทำงานสำรวจด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าทางสถิติและใช้ในการทดสอบความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยเก็บข้อมูลในส่วนอุโมงค์ด้านเหนือ (North Bound) และอุโมงค์ด้านใต้ (South Bound) เนื่องจากอุโมงค์รถไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นแบบอุโมงค์คู่รางเดียว (ดังรูปที่ 3.1)

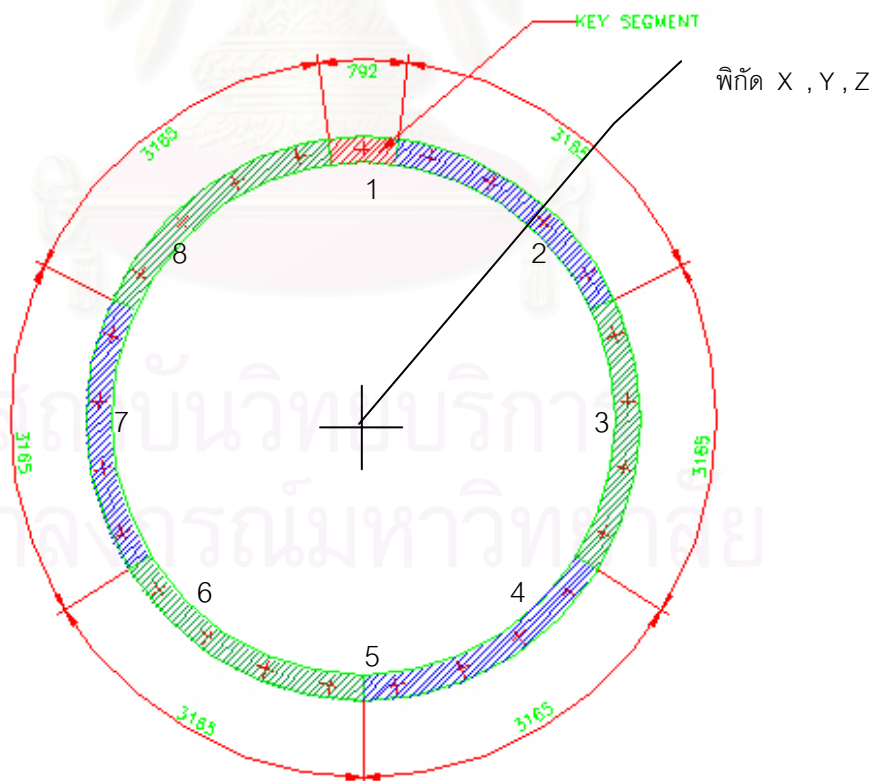


รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะอุโมงค์คู่รางเดียว

ลักษณะของข้อมูลทางตำแหน่งที่นำมาทำการทดสอบนั้น เป็นข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการทำงานสำรวจภาคสนาม ซึ่งกำหนดให้เป็น X,Y,Z Actual โดยวัดจากค่าพิกัดที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของอุโมงค์จำนวน 8 ตำแหน่ง (ดังรูปที่ 3.2) แล้วนำมาคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลางและระดับของอุโมงค์ที่ประกอบเสร็จแล้ว โดยทั้ง 8 ตำแหน่งอยู่ที่บริเวณขอบอุโมงค์ (ดังรูปที่ 3.3) จะใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการออกแบบ ซึ่งกำหนดให้เป็น X,Y,Z Design และนำข้อมูลที่มีความแตกต่างของค่าพิกัดที่ได้จากการทำงานสำรวจภาคสนามเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการออกแบบมากำหนดให้เป็น X,Y,Z Deviation เพื่อหาค่าทางสถิติต่อไป ซึ่งผลของการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

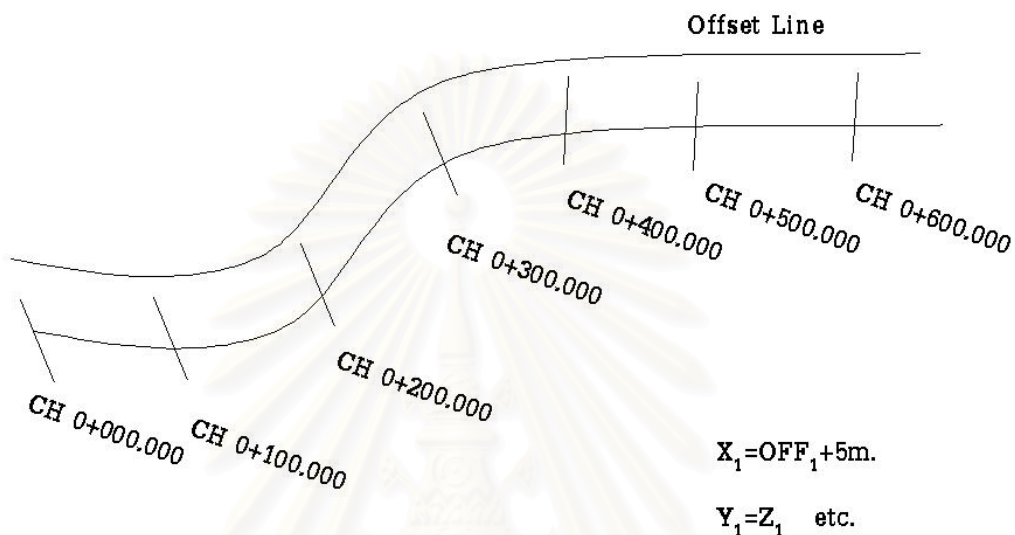


รูปที่ 3.2 แสดงการวัดค่าพิกัดภายในอุโมงค์ 8 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งที่วัดค่าพิกัดภายในอุโมงค์ 8 ตำแหน่ง

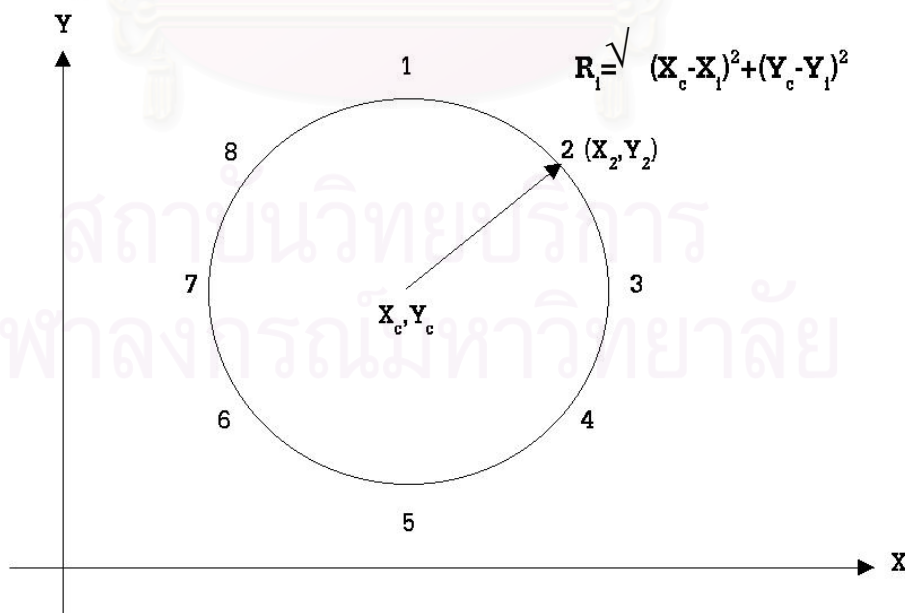
การคำนวณค่าพิกัดภายในอุโมงค์ทั้ง 8 ตำแหน่ง จะอาศัยหลักการสมมติระยะออกไปจากแนวอุโมงค์ (Offset Line) ระยะทางประมาณ 5 เมตร (ดังรูปที่ 3.4) แล้วทำการคำนวณค่าพิกัดที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของอุโมงค์โดยอาศัยหลักเรขาคณิต (ดังรูปที่ 3.5) และนำค่าพิกัดที่ได้มาเฉลี่ย ซึ่งจะเก็บข้อมูลดังกล่าวทุกระยะ 4 วงอุโมงค์หรือทุกระยะ 4.80 เมตร ทั้งนี้ในแต่ละวงของอุโมงค์จะมีการติดตั้งจุดที่จะทำการวัดเพื่อตรวจสอบมากับชิ้นส่วนของอุโมงค์แล้ว



รูปที่ 3.4 แสดงการสมมติระยะออกไปจากแนวอุโมงค์ (Offset Line)

X_c = horizontal offset of the tunnel center at specific chainage

Y_c = vertical offset of the tunnel center at specific chainage



รูปที่ 3.5 แสดงการคำนวณหาค่าพิกัดที่ตำแหน่งศูนย์กลางอุโมงค์

3.2.1 จำนวนข้อมูลวิธีการทำงานสำรวจวิธี Laser Theodolite and Target Unit

จำนวนข้อมูลที่ทำงานสำรวจด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit ที่นำมาวิจัยนั้น จะประกอบไปด้วยข้อมูลที่ได้จากการทำงานสำรวจภาคสนามและข้อมูลสำรวจจากการออกแบบ โดยจะแบ่งข้อมูลออกเป็นทางอุโมงค์ด้านทิศเหนือ (North Bound) 561 ตำแหน่ง และอุโมงค์ด้าน ทิศใต้ (South Bound) 619 ตำแหน่ง รวมจำนวนข้อมูลด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit ที่นำมาใช้ในการทำวิจัยทั้งหมด 1,180 ตำแหน่ง (ดังตารางที่ 3.1, รูปที่ 3.6)

การทำงานสำรวจวิธี Laser Theodolite and Target Unit		
ช่วงที่นำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์	จำนวนข้อมูล NB (ตำแหน่ง)	จำนวนข้อมูลSB (ตำแหน่ง)
สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์-สถานีบ่อนไก่	128	111
สถานีบ่อนไก่-สถานีลุมพินี	163	161
สถานีสามย่าน-สถานีหัวลำโพง	270	347
รวม	561	619
รวมข้อมูลทั้งหมด 1,180 ตำแหน่ง		

ตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนข้อมูลจากการทำงานสำรวจด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit

Laser theodolite and Target Unit											
sample1			Project Grid Coordinates								
Data No.	Ring No.	Chainage	tunnel - centre as-built			design			deviation		
			Easting (m.)	Northing (m.)	Elevation (m.)	Easting (m.)	Northing (m.)	Elevation (m.)	Easting (m.)	Northing (m.)	Elevation (m.)
1	001	15214.363	401140.109	29954.391	82.041	401140.089	29954.397	82.050	0.020	-0.006	-0.009
2	004	15210.753	401139.007	29950.956	82.029	401139.033	29950.948	82.061	-0.026	0.008	-0.032
3	008	15205.940	401137.479	29946.396	82.028	401137.539	29946.376	82.076	-0.060	0.020	-0.048
4	012	15201.123	401135.908	29941.849	82.031	401135.945	29941.835	82.060	-0.037	0.014	-0.049
5	016	15196.313	401134.278	29937.327	82.026	401134.250	29937.338	82.062	0.028	-0.011	-0.036
6	020	15191.510	401132.501	29932.869	82.013	401132.450	29932.890	82.028	0.051	-0.021	-0.015
7	024	15186.700	401130.592	29928.457	81.972	401130.540	29928.480	81.978	0.052	-0.023	-0.006
8	028	15181.909	401128.570	29924.117	81.902	401128.534	29924.135	81.914	0.036	-0.018	-0.012
9	032	15177.079	401126.438	29919.785	81.810	401126.405	29919.802	81.833	0.033	-0.017	-0.023
10	036	15172.265	401124.216	29915.521	81.721	401124.181	29915.539	81.737	0.035	-0.018	-0.016
11	040	15167.458	401121.883	29911.320	81.613	401121.858	29911.335	81.626	0.025	-0.015	-0.013
12	044	15162.655	401119.443	29907.188	81.490	401119.437	29907.192	81.501	0.006	-0.004	-0.011
13	048	15157.862	401116.916	29903.119	81.350	401116.922	29903.115	81.360	-0.006	0.004	-0.010
14	052	15153.026	401114.277	29899.075	81.228	401114.288	29899.068	81.215	-0.011	0.007	0.013
15	056	15148.233	401111.566	29895.126	81.082	401111.580	29895.117	81.071	-0.014	0.009	0.011
16	060	15143.442	401108.771	29891.243	80.934	401108.780	29891.236	80.927	-0.009	0.007	0.007
17	064	15138.591	401105.841	29887.382	80.788	401105.850	29887.375	80.782	-0.009	0.007	0.006
18	068	15133.779	401102.844	29883.618	80.648	401102.850	29883.613	80.638	-0.006	0.005	0.010
19	072	15128.974	401099.762	29879.938	80.499	401099.768	29879.933	80.493	-0.006	0.005	0.006
20	076	15124.165	401096.596	29876.333	80.355	401096.596	29876.326	80.349	-0.006	0.005	0.006

รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างข้อมูลวิธี Laser Theodolite and Target Unit

3.2.2 จำนวนข้อมูลวิธีการทำงานสำรวจวิธี Robotec Survey System

จำนวนข้อมูลการทำงานสำรวจด้วยวิธี Robotec Survey System ที่นำมาวิจัย ประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากการทำงานสำรวจภาคสนามและข้อมูลสำรวจจากการออกแบบ โดยจะแบ่งข้อมูลออกเป็นอุโมงค์ด้านทิศเหนือ (North Bound) 788 ตำแหน่ง และอุโมงค์ด้านทิศใต้ (South Bound) 652 ตำแหน่ง รวมจำนวนข้อมูลด้วยวิธี Robotec Survey System ที่นำมาใช้ในการทำวิจัยทั้งหมด 1,440 ตำแหน่ง (ดังตารางที่ 3.2, รูปที่ 3.7)

การทำงานสำรวจวิธี Robotec Survey System		
ช่วงที่นำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์	จำนวนข้อมูล NB (ตำแหน่ง)	จำนวนข้อมูลSB (ตำแหน่ง)
สถานีพระราม9-สถานีเพชรบุรี	216	111
สถานีเพชรบุรี-สถานีสุขุมวิท	258	227
สถานีสุขุมวิท-สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์	314	314
รวม	788	652
รวมข้อมูลทั้งหมด 1440 ตำแหน่ง		

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนข้อมูลจากการทำงานสำรวจด้วยวิธี Robotec Survey System

Robotec Survey System												
sample			Project Grid Coordinates									
Data No.	Ring No.	Chainage	tunnel - centre as-built			design			deviation			
			Easting (m.)	Northing (m.)	Elevation (m.)	Easting (m.)	Northing (m.)	Elevation (m.)	Easting (m.)	Northing (m.)	Elevation (m.)	
1	001	19144.121	401175.425	33829.342	83.904	401175.419	33829.345	83.900	0.006	-0.003	0.004	
2	002	19142.920	401175.331	33828.145	83.899	401175.324	33828.148	83.900	0.007	-0.003	-0.001	
3	003	19141.718	401175.234	33826.947	83.901	401175.230	33826.951	83.900	0.004	-0.004	0.001	
4	004	19140.518	401175.140	33825.751	83.900	401175.135	33825.754	83.900	0.005	-0.003	0.000	
5	005	19139.315	401175.045	33824.551	83.898	401175.040	33824.556	83.900	0.005	-0.005	-0.002	
6	006	19138.110	401174.950	33823.350	83.896	401174.946	33823.359	83.900	0.004	-0.009	-0.004	
7	007	19136.910	401174.856	33822.154	83.891	401174.851	33822.162	83.899	0.005	-0.008	-0.008	
8	008	19135.707	401174.763	33820.955	83.885	401174.756	33820.965	83.899	0.007	-0.010	-0.014	
9	009	19134.506	401174.667	33819.759	83.878	401174.661	33819.767	83.898	0.006	-0.008	-0.020	
10	010	19133.305	401174.573	33818.561	83.863	401174.567	33818.570	83.898	0.006	-0.009	-0.035	
11	011	19132.104	401174.475	33817.363	83.854	401174.472	33817.373	83.897	0.003	-0.010	-0.043	
12	012	19130.904	401174.378	33816.167	83.846	401174.377	33816.176	83.896	0.001	-0.009	-0.050	
13	013	19129.703	401174.283	33814.969	83.833	401174.283	33814.978	83.895	0.000	-0.009	-0.062	
14	014	19128.499	401174.189	33813.769	83.829	401174.188	33813.781	83.893	0.001	-0.012	-0.064	
15	015	19127.300	401174.091	33812.574	83.810	401174.093	33812.584	83.892	-0.002	-0.010	-0.062	
16	016	19126.097	401173.997	33811.375	83.801	401173.998	33811.376	83.890	-0.001	-0.001	-0.089	
17	017	19124.897	401173.900	33810.178	83.791	401173.903	33810.178	83.888	-0.003	0.000	-0.097	

รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างข้อมูลจากวิธี Robotec Survey System

3.3 ลักษณะข้อมูลที่น่ามาวิจัย

ลักษณะข้อมูลที่น่ามาวิจัยเป็นข้อมูลที่ทำกรรวบรวมเพื่อการศึกษาและเปรียบเทียบ ความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินได้แก่ ตำแหน่งของอุโมงค์ ค่าพิกัดที่ใช้ในการออกแบบและค่าพิกัดที่วัดได้จากการทำงานสำรวจจริง

3.3.1 ข้อมูลตำแหน่งของอุโมงค์

การเก็บข้อมูลงานวิจัยต้องทราบตำแหน่งของอุโมงค์จากแบบของแนวอุโมงค์ ซึ่งประกอบด้วยแบบแปลนและแบบโปรไฟล์โดยจะแสดงรายละเอียดบนดินตลอดเส้นทาง เช่น สิ่งปลูกสร้างต่างๆ หมุดเขตทางและหมุดเวนคืนที่ดินที่ใช้เป็นประโยชน์ในการก่อสร้างสถานี รวมถึงแนวความลาดชันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ และระยะทางเพื่อให้ทราบช่วงที่น่าข้อมูลมาทำการวิจัย (ดังรูปที่ 3.8)

3.3.2 ข้อมูลค่าพิกัดที่ใช้ออกแบบ

การเก็บข้อมูลงานวิจัยนี้จะต้องทราบค่าพิกัดที่ใช้ออกแบบ ซึ่งจะถูกใช้งานโดยการกำหนดในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประเมินผลในการควบคุมทิศทางของการขุดเจาะอุโมงค์ (ดังรูปที่ 3.9)

3.3.3 ข้อมูลค่าพิกัดที่วัดได้จากการทำงานภาคสนาม

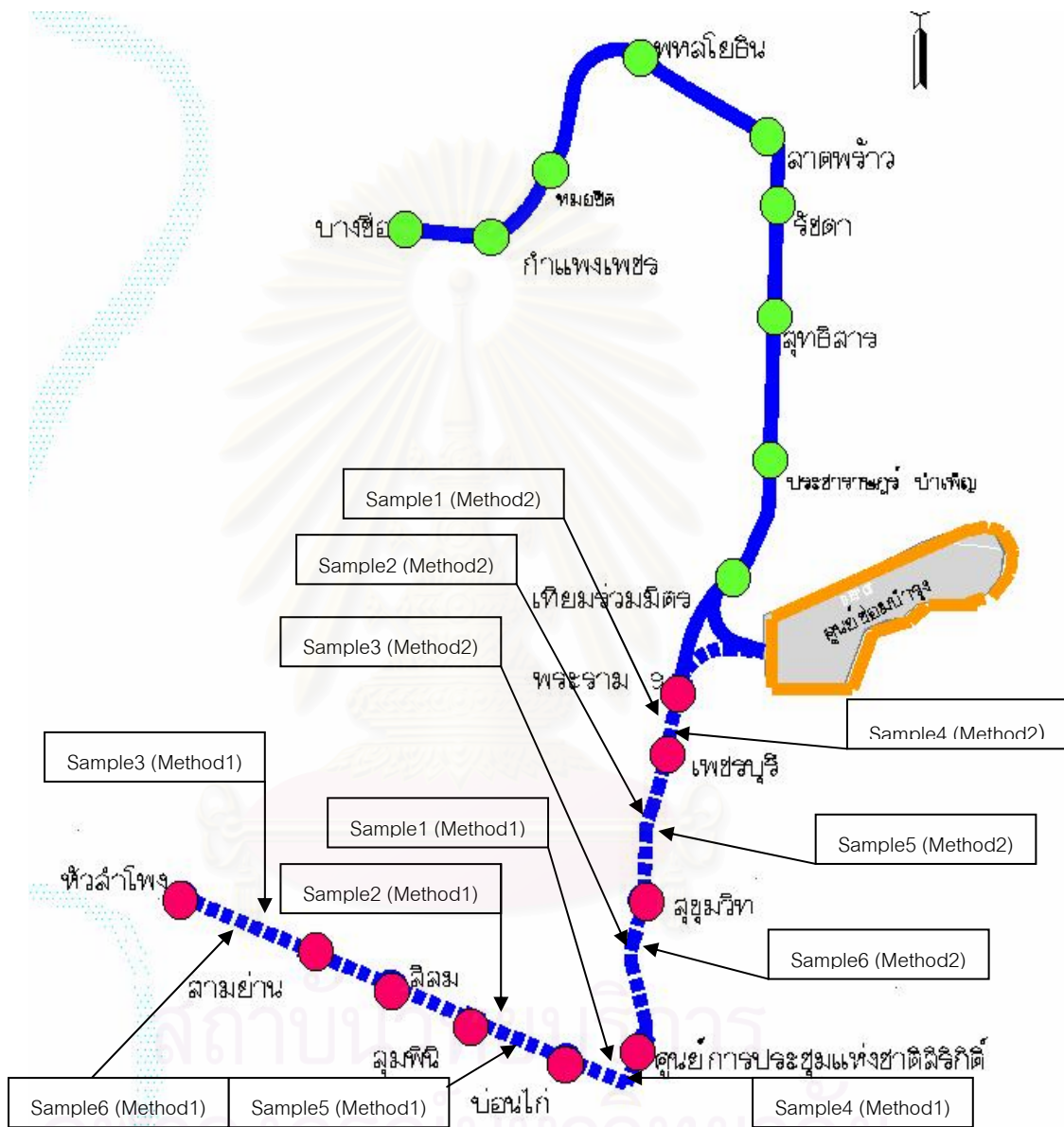
การเก็บข้อมูลงานวิจัยต้องทราบค่าพิกัดที่วัดได้จากการทำงานสำรวจภาคสนาม โดยการเก็บข้อมูลจะถูกกำหนดในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประเมินผลและเปรียบเทียบกับแนวออกแบบ เพื่อให้ควบคุมทิศทางของการขุดเจาะอุโมงค์ให้ได้ค่าความถูกต้องมากที่สุด (ดังรูปที่ 3.9)

Data Survey												
Tunnel - Section :		QSNCC - BONKAI Northbound										
Chainage	Ring - No.	Measurement Point - No.	Project Grid Coordinates			Radius						
			Easting (m.)	Northing (m.)	Elevation (m.)	as-built	design	deviation	contractual	passed		
15181.863	028	Pt-1	401128.536	29924.084	84.748	2.845	2.850	-0.005	0.025	ok		
15181.926		Pt-2	401126.741	29925.000	83.916	2.858	2.850	0.008	0.025	ok		
15181.950		Pt-3	401125.995	29925.579	81.835	2.863	2.850	0.013	0.025	ok		
15181.969		Pt-4	401126.778	29925.030	79.889	2.842	2.850	-0.008	0.025	ok		
15181.904		Pt-5	401128.601	29924.098	79.049	2.853	2.850	0.003	0.025	ok		
15181.939		Pt-6	401130.419	29923.278	79.902	2.853	2.850	0.003	0.025	ok		
15181.876		Pt-7	401131.140	29922.868	81.931	2.862	2.850	0.012	0.025	ok		
15181.845		Pt-8	401130.308	29923.213	83.973	2.848	2.850	-0.002	0.025	ok		
15181.909		Actual	401126.570	29924.117	81.902	3D-deviation of tunnel - centre			HOT		VOT	
		Design	401128.534	29924.135	81.914	as-built	contractual	passed	as-built	design	as-built	design
		Deviation	0.036	-0.018	-0.012	0.042	0.075	ok	-0.138	-0.178	2.073	2.084
15177.015	032	Pt-1	401126.702	29919.582	84.630	2.839	2.850	-0.011	0.025	ok		
15177.076		Pt-2	401124.605	29920.705	83.805	2.858	2.850	0.008	0.025	ok		
15177.075		Pt-3	401123.886	29921.065	81.708	2.859	2.850	0.009	0.025	ok		
15177.134		Pt-4	401124.544	29920.801	79.936	2.848	2.850	-0.002	0.025	ok		
15177.142		Pt-5	401126.483	29919.836	78.973	2.838	2.850	-0.012	0.025	ok		
15177.110		Pt-6	401128.267	29918.904	79.809	2.855	2.850	0.005	0.025	ok		
15177.054		Pt-7	401128.981	29918.482	81.876	2.864	2.850	0.014	0.025	ok		
15177.021		Pt-8	401128.182	29918.833	83.848	2.844	2.850	-0.006	0.025	ok		
15177.079		Actual	401126.438	29919.785	81.610	3D-deviation of tunnel - centre			HOT		VOT	
		Design	401126.405	29919.802	81.833	as-built	contractual	passed	as-built	design	as-built	design
		Deviation	0.033	-0.017	-0.023	0.044	0.075	ok	-0.141	-0.178	2.061	2.084
15172.205	036	Pt-1	401124.187	29915.469	84.559	2.839	2.850	-0.011	0.025	ok		
15172.228		Pt-2	401122.418	29916.453	83.728	2.853	2.850	0.003	0.025	ok		
15172.304		Pt-3	401121.706	29916.903	81.860	2.863	2.850	0.013	0.025	ok		
15172.348		Pt-4	401122.489	29916.536	79.693	2.848	2.850	-0.002	0.025	ok		
15172.331		Pt-5	401124.311	29915.545	78.884	2.841	2.850	-0.009	0.025	ok		
15172.278		Pt-6	401126.027	29914.570	79.744	2.850	2.850	0.000	0.025	ok		
15172.235		Pt-7	401126.731	29914.130	81.769	2.865	2.850	0.015	0.025	ok		
15172.195		Pt-8	401125.931	29914.511	83.736	2.848	2.850	-0.002	0.025	ok		
15172.265		Actual	401124.216	29915.521	81.721	3D-deviation of tunnel - centre			HOT		VOT	
		Design	401124.181	29915.539	81.737	as-built	contractual	passed	as-built	design	as-built	design
		Deviation	0.035	-0.018	-0.016	0.042	0.075	ok	-0.139	-0.178	2.068	2.084
15167.392	040	Pt-1	401121.893	29911.242	84.457	2.846	2.850	-0.004	0.025	ok		
15167.451		Pt-2	401120.098	29912.323	83.607	2.860	2.850	0.010	0.025	ok		
15167.524		Pt-3	401119.433	29912.782	81.783	2.852	2.850	0.002	0.025	ok		
15167.535		Pt-4	401120.115	29912.409	79.659	2.849	2.850	-0.001	0.025	ok		
15167.516		Pt-5	401121.979	29911.335	78.769	2.848	2.850	-0.002	0.025	ok		
15167.458		Pt-6	401123.650	29910.324	79.609	2.856	2.850	0.006	0.025	ok		
15167.407		Pt-7	401124.341	29909.859	81.670	2.857	2.850	0.007	0.025	ok		
15167.375		Pt-8	401123.594	29910.250	83.624	2.848	2.850	-0.002	0.025	ok		
15167.458		Actual	401121.883	29911.320	81.613	3D-deviation of tunnel - centre			HOT		VOT	
		Design	401121.858	29911.335	81.626	as-built	contractual	passed	as-built	design	as-built	design
		Deviation	0.025	-0.015	-0.013	0.032	0.075	ok	-0.149	-0.178	2.071	2.084
15162.601	044	Pt-1	401119.433	29907.133	84.328	2.840	2.850	-0.010	0.025	ok		
15162.644		Pt-2	401117.694	29908.222	83.493	2.857	2.850	0.007	0.025	ok		
15162.695		Pt-3	401117.016	29908.686	81.677	2.853	2.850	0.003	0.025	ok		
15162.750		Pt-4	401117.782	29908.292	79.451	2.849	2.850	-0.001	0.025	ok		
15162.690		Pt-5	401119.525	29907.181	78.647	2.845	2.850	-0.005	0.025	ok		
15162.677		Pt-6	401121.192	29906.170	79.491	2.849	2.850	-0.001	0.025	ok		
15162.603		Pt-7	401121.867	29905.665	81.483	2.859	2.850	0.009	0.025	ok		
15162.581		Pt-8	401121.151	29906.072	83.479	2.849	2.850	-0.001	0.025	ok		
15162.655		Actual	401119.443	29907.188	81.490	3D-deviation of tunnel - centre			HOT		VOT	
		Design	401119.437	29907.192	81.501	as-built	contractual	passed	as-built	design	as-built	design
		Deviation	0.006	-0.004	-0.011	0.013	0.075	ok	-0.171	-0.178	2.073	2.084

รูปที่ 3.9 แสดงข้อมูลค่าพิกัดออกแบบและข้อมูลค่าพิกัดภาคสนาม

3.4 ตำแหน่งข้อมูลที่น่ามาวิจัย

ในการทำงานวิจัยช่วงตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการเก็บข้อมูลมีจำนวนทั้งหมด 12 ช่วง ซึ่งมีรายละเอียดของตำแหน่ง ดังนี้ (ดังรูปที่ 3.10)



Method 1: Laser Theodolite and Target Unit Method

Method 2: Robotec Survey System Method

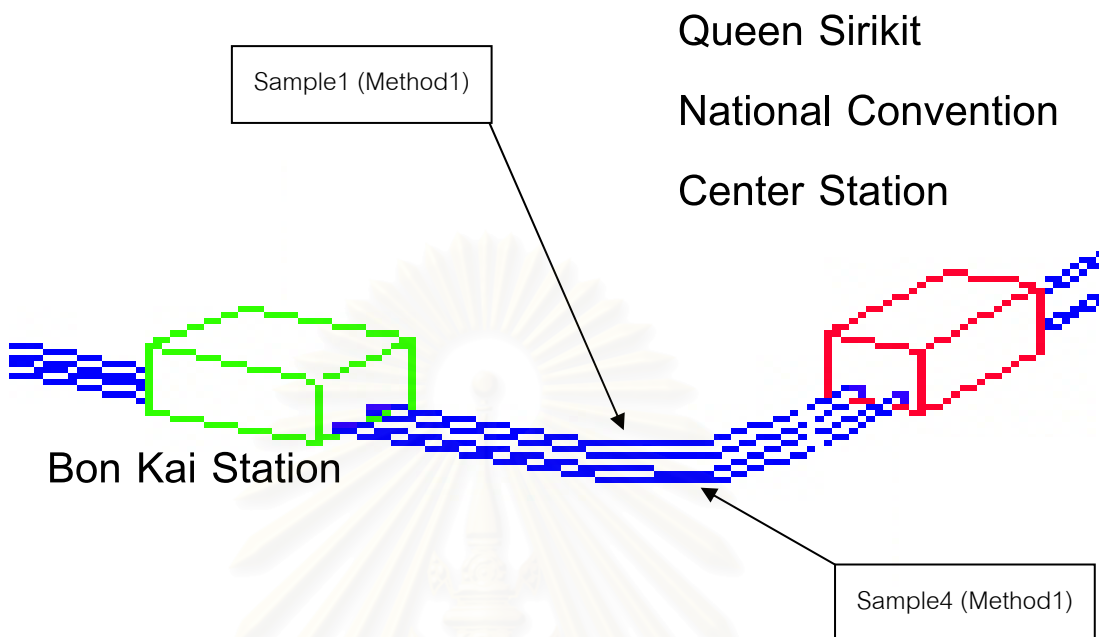
รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงตำแหน่งช่วงข้อมูลที่น่ามาวิจัย

3.4.1 ช่วงระหว่างสถานีที่มีการทำงานสำรวจด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit มีรายละเอียดดังนี้

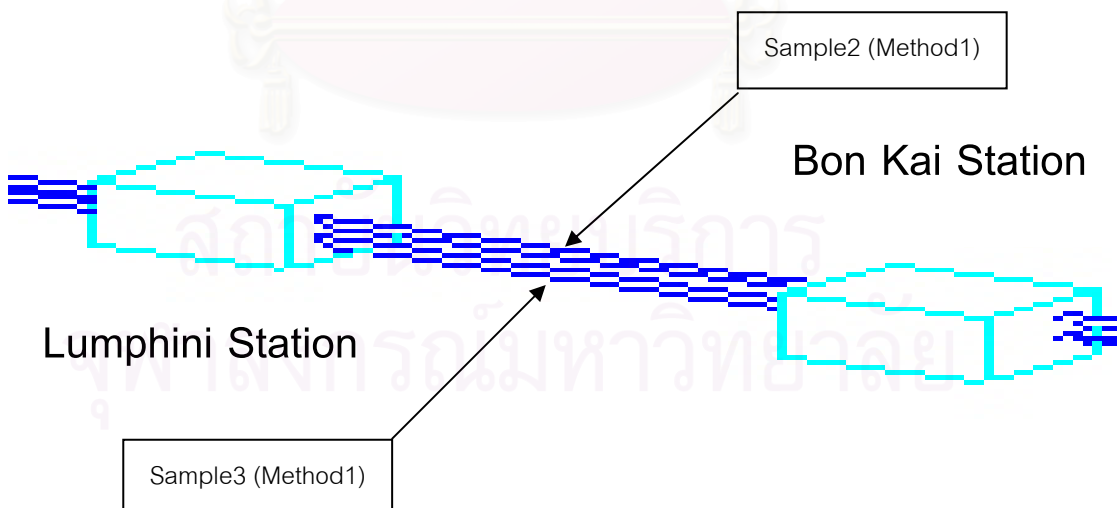
- 3.4.1.1 ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กับ สถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินบ่อนไก่ จำนวน 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงรูปที่ 3.11)
- 3.4.1.2 ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินบ่อนไก่ กับ สถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินลุมพินี จำนวน 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงรูปที่ 3.12)
- 3.4.1.3 ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสามย่าน กับ สถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินหัวลำโพง จำนวน 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงรูปที่ 3.13)

3.4.2 ช่วงระหว่างสถานีที่มีการทำงานสำรวจด้วยวิธี Robotec Survey System มีรายละเอียดดังนี้

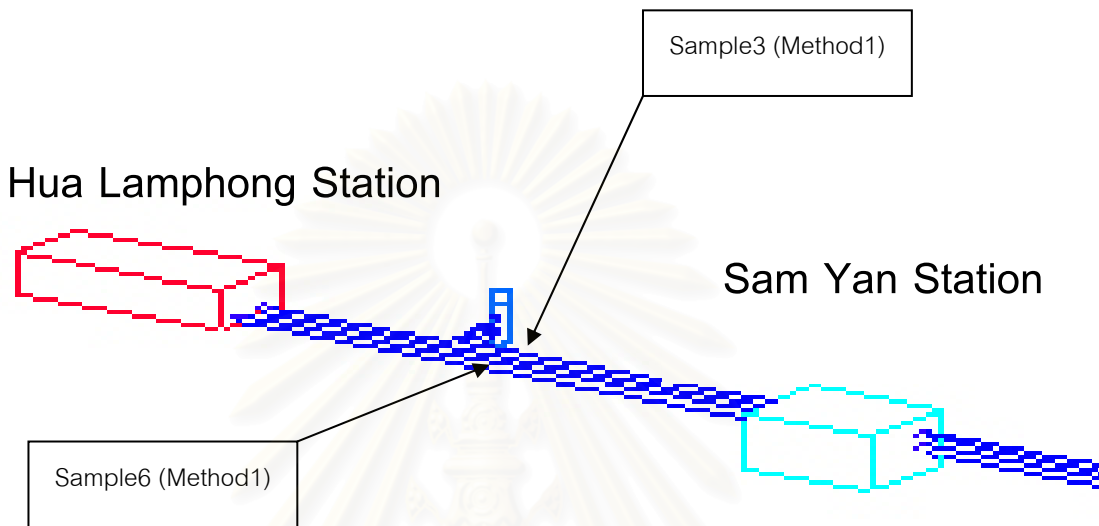
- 3.4.2.1 ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินพระราม 9 กับ สถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินเพชรบุรี จำนวน 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงรูปที่ 3.14)
- 3.4.2.2 ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินเพชรบุรี กับ สถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสุขุมวิท จำนวน 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงรูปที่ 3.15)
- 3.4.2.3 ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินสุขุมวิท กับ สถานีรถไฟฟ้่าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ จำนวน 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงรูปที่ 3.16)



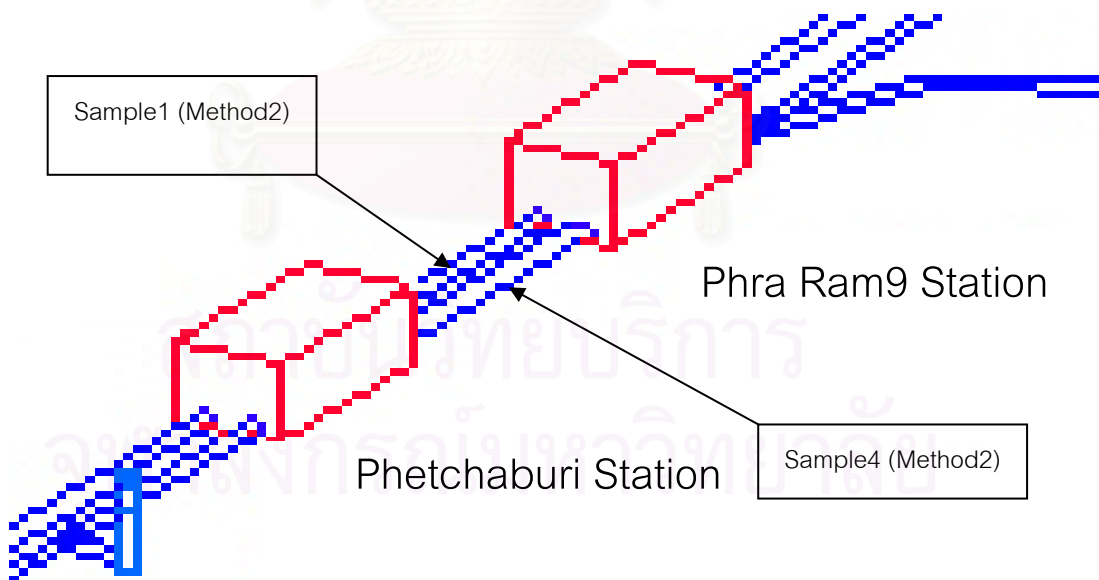
รูปที่ 3.11 แสดงช่วงข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่



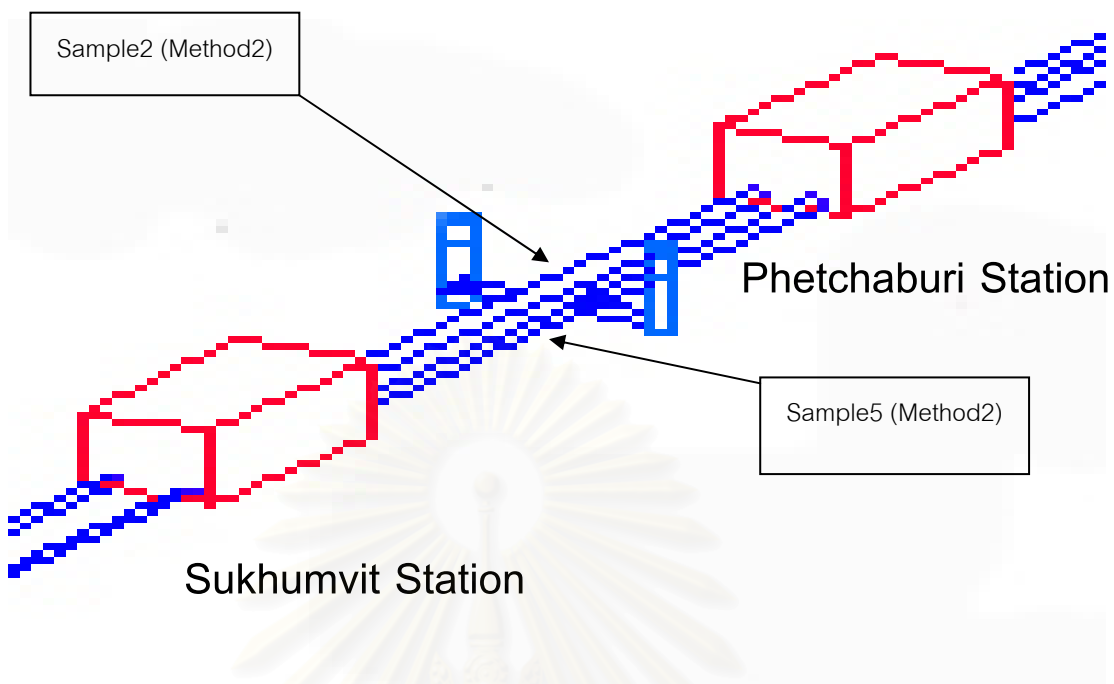
รูปที่ 3.12 แสดงช่วงข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไอกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินลุมพินี



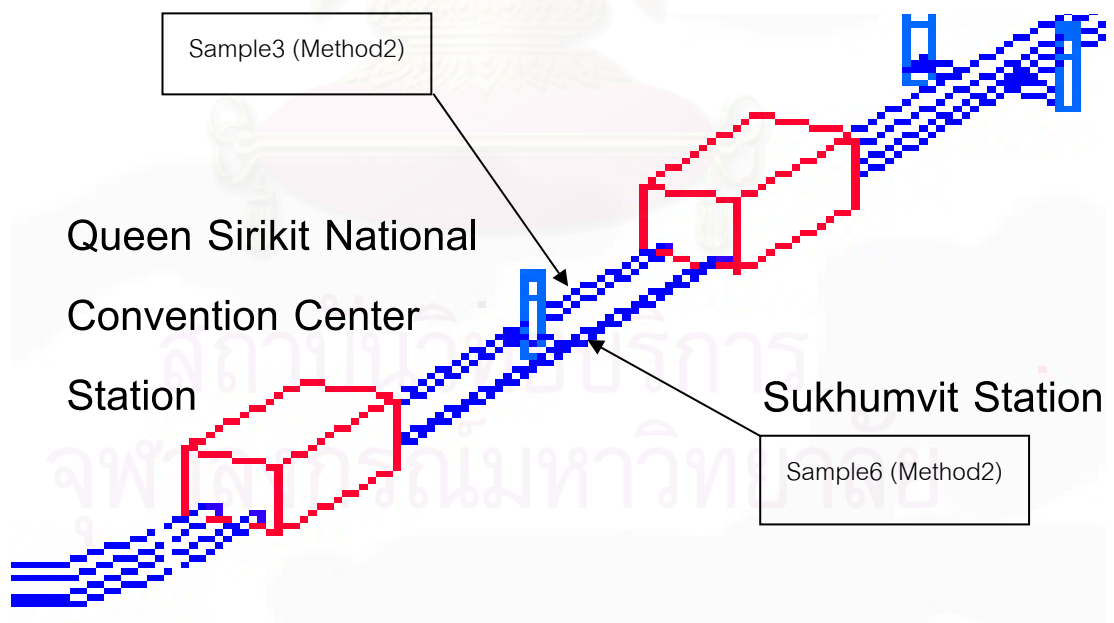
รูปที่ 3.13 แสดงช่วงระหว่างสถานีรถไฟใต้ดินสามย่านกับสถานีรถไฟใต้ดินหัวลำโพง



รูปที่ 3.14 แสดงช่วงข้อมูลระหว่างระหว่างสถานีรถไฟใต้ดินพระราม 9 กับสถานีรถไฟใต้ดินเพชรบุรี



รูปที่ 3.15 แสดงช่วงเก็บข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเพชรบุรีกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท



รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งเก็บข้อมูลระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์

3.5 การกำหนดตัวแปรข้อมูลที่นำมาวิจัย

การกำหนดตัวแปรข้อมูลที่นำมาวิจัยนั้นมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาจากวิธีการทำงานเป็นหลักโดยจะกำหนดในแต่ละช่วงที่ทำการทดสอบ ซึ่งการทำวิจัยจะกำหนดตัวแปร ดังนี้

3.5.1 กลุ่มข้อมูลวิธีการทำงานสำรวจวิธี Laser Theodolite and Target Unit

กำหนด วิธีการ Laser Theodolite and Target Unit แทนด้วย Method1

กลุ่มข้อมูลที่นำมาทำการวิจัยแทนด้วย Sample n

โดยที่ $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ (ดังตารางที่ 3.3)

กลุ่มข้อมูลวิธี Laser Theodolite and Target Unit		
ช่วงข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์	ตัวแปรข้อมูล NB (ตำแหน่ง)	ตัวแปรข้อมูล SB (ตำแหน่ง)
สถานีศูนย์การประมงแห่งชาติสิริกิติ์-สถานีรถไฟใต้ดินบ่อนไก่	Sample1 Method1	Sample4 Method1
สถานีบ่อนไก่-สถานีลุมพินี	Sample2 Method1	Sample5 Method1
สถานีสามย่าน-สถานีหัวลำโพง	Sample3 Method1	Sample6 Method1

ตารางที่ 3.3 แสดงการกำหนดตัวแปรข้อมูลวิจัยด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit

3.5.2 กลุ่มข้อมูลวิธีการทำงานสำรวจวิธี Robotec Survey System

กำหนด วิธีการ Robotec Survey System แทนด้วย Method2

กลุ่มข้อมูลที่นำมาทำการวิจัยแทนด้วย Sample n

โดยที่ $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ (ดังตารางที่ 3.4)

กลุ่มข้อมูลวิธี Robotec Survey System		
ช่วงข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์	ตัวแปรข้อมูล NB (ตำแหน่ง)	ตัวแปรข้อมูล SB (ตำแหน่ง)
สถานีพระราม9-สถานีเพชรบุรี	Sample1 Method2	Sample4 Method2
สถานีเพชรบุรี-สถานีสุขุมวิท	Sample2 Method2	Sample5 Method2
สถานีสุขุมวิท-สถานีศูนย์การประมงแห่งชาติสิริกิติ์	Sample3 Method2	Sample6 Method2

ตารางที่ 3.4 แสดงการกำหนดตัวแปรข้อมูลวิจัยด้วยวิธี Robotec Survey System

3.6 ค่าความถูกต้องของเครื่องมือสำรวจในโครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

ค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานสำรวจ โครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคลนั้น กำหนดค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ยอมรับได้ ตามข้อกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคของสัญญาการออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน (Contract Document, Outline Design Specification) มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานสำรวจ ในการทำงานทางตรง ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ต่อ ความยาว 1 เมตร
- 2) ค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานสำรวจ ในการทำงานทางโค้ง (มากกว่า 100R) ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ต่อ ความยาว 1 เมตร
- 3) ค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานสำรวจ ในการทำงานทางโค้ง (ต่ำกว่า 100R) ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ต่อ ความยาว 1 เมตร

ในการทำงานสำรวจภาคสนามวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มีรายละเอียดของเครื่องมือสำรวจดังนี้

3.6.1 กล้องสำรวจสำหรับวิธีการทำงาน Laser Theodolite and Target Unit

ในการทำงานสำรวจด้วยวิธี Laser Theodolite and Target โครงการรถไฟฟ้าฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล มีการนำเครื่องมือมาใช้ในการทำงานสำรวจ (ดังรูปที่ 3.17) คือ

กล้องสำรวจ Leica รุ่น TI600, กล้องสำรวจ Leica รุ่น TI610, กล้องสำรวจ Leica รุ่น TCA1100, กล้องสำรวจ Leica รุ่น TCA 1800, กล้องสำรวจ Geodimeter รุ่น GDM 600

โดยเครื่องมือสำรวจมีค่าความถูกต้องของเครื่องมือตามข้อกำหนดค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ยอมรับได้ ตามข้อกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคของสัญญาการออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะกล้องสำรวจวิธี Laser Theodolite and Target Unit

3.6.2 กล้องสำรวจสำหรับการทำงานวิธี Robotec Survey System

ในการทำงานสำรวจด้วยวิธี Robotec Survey System โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล มีการนำเครื่องมือมาใช้ในการทำงานสำรวจ (ดังรูปที่ 3.18) คือ

กล้องสำรวจ Geodimeter รุ่น GDM 610 (S610)

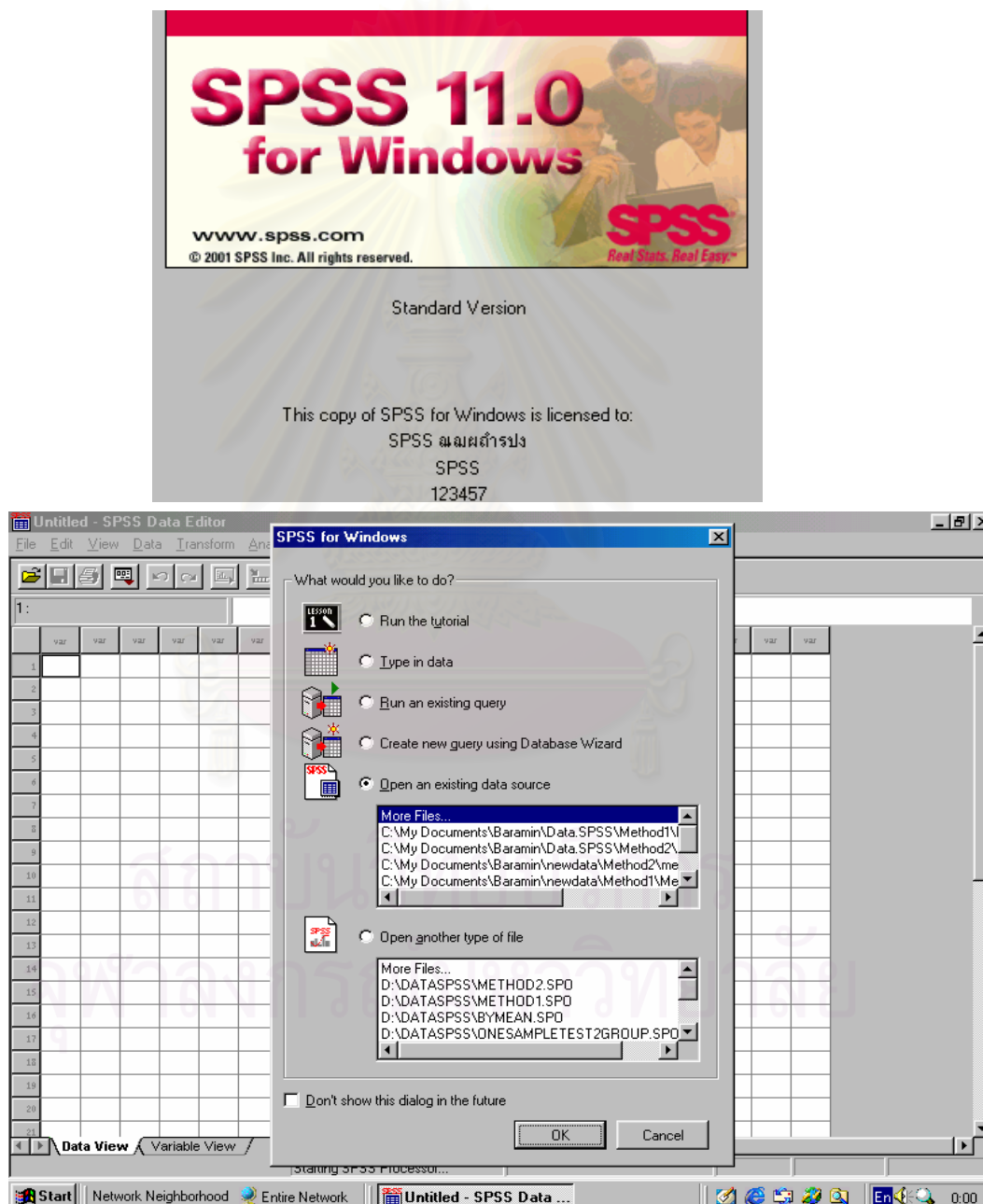
โดยเครื่องมือสำรวจมีค่าความถูกต้องของเครื่องมือตามข้อกำหนดค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ยอมรับได้ ตามข้อกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคของสัญญาการออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน



รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะกล้องสำรวจวิธี Robotec Survey System

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจของการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินนั้นจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น Microsoft Excel และ SPSS for Windows (ดังรูปที่ 3.19) มาคำนวณและวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งรายละเอียดวิธีการดำเนินการต่างๆจะกล่าวถึงในบทต่อไป



รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะทั่วไปของโปรแกรม SPSS for Windows

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษารวบรวมและเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย จะเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์จำนวน 2 กลุ่มข้อมูล คือ กลุ่มข้อมูลทางตำแหน่งจากการทำงานภาคสนามด้วยวิธีการ Laser Theodolite and Target Unit และกลุ่มข้อมูลทางตำแหน่งจากการทำงานภาคสนามด้วยวิธีการ Robotec Survey Systems ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการออกแบบของแต่ละวิธี โดยมีการเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัย ดังนี้

4.1 การเก็บข้อมูลวิจัย

การเก็บข้อมูลในแต่ละช่วงของอุโมงค์หรือระหว่างสถานีจะแยกตามวิธีการทำงานสำรวจ ดังนี้

วิธี Laser Theodolite and Target Unit	จำนวนข้อมูล NB / SB (ตำแหน่ง)
สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์-สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่	128/111
สถานีบ่อนไก่-สถานีลุมพินี	163/161
สถานีสามย่าน-สถานีหัวลำโพง	270/347

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนข้อมูลที่เก็บด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit

จากตารางที่ 4.1 จำนวนข้อมูล (ตำแหน่ง) ที่เก็บด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยมีจำนวนรวม 1,180 ข้อมูล (ตำแหน่ง)

วิธี Robotec Survey System	จำนวนข้อมูล NB / SB (ตำแหน่ง)
สถานีพระราม9-สถานีเพชรบุรี	216/133
สถานีเพชรบุรี-สถานีสุขุมวิท	256/249
สถานีสุขุมวิท-สถานีศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์	314/314

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนข้อมูลที่เก็บด้วยวิธี Robotec Survey System

จากตารางที่ 4.2 จำนวนข้อมูล (ตำแหน่ง) ที่เก็บด้วยวิธี Robotec Survey System เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยมีจำนวนรวม 1,484 ข้อมูล (ตำแหน่ง)

4.2 สถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ในการวิจัยจะนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติในแต่ละช่วงข้อมูล โดยสถิติที่นำมาทดสอบนั้นแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการหาค่ามัธยฐานทางสถิติเบื้องต้นของกลุ่มข้อมูล เพื่อให้ทราบถึงลักษณะข้อมูล การกระจายของกลุ่มข้อมูล ค่าเฉลี่ย ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาวิธีการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

ส่วนที่ 2 เป็นการตั้งสมมติฐานเบื้องต้น เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์และทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง

ในการวิจัยทางสถิติทั้งสองส่วนข้างต้น มีรายละเอียดต่อไปนี้¹

4.2.1 การหาค่าทางสถิติเบื้องต้นของกลุ่มข้อมูล

การหาค่าทางสถิติเบื้องต้นของกลุ่มข้อมูล จะทำให้ทราบถึงลักษณะของข้อมูล การกระจายของกลุ่มข้อมูล แนวโน้มของข้อมูล ค่าเฉลี่ยและข้อมูลพื้นฐานต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพิจารณาวิธีการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

4.2.1.1 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean)

ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล คือ ค่าที่เกิดขึ้นจากการบวกค่าข้อมูลทุกค่าเข้าด้วยกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่มี

4.2.1.2 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่ากลางของข้อมูล (Median)

ค่ากลางของข้อมูล คือ ค่าที่เกิดขึ้นจากการนำข้อมูลที่จะทำการทดสอบมาเรียงตามลำดับค่า

¹ ข้อมูลการทดสอบทางสถิติจาก ธวัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร; สำนักพิมพ์ บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

4.2.1.3 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่าการวัดการกระจายของข้อมูล (Skewness)

ค่าการวัดการกระจายของข้อมูล คือ ค่าที่ใช้ในการทดสอบโดยการวัดการกระจายแบบสมมาตรของกลุ่มข้อมูล โดยค่าการวัดการกระจายของข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และจะมีค่าเป็นบวก เมื่อข้อมูลอยู่ทางด้านขวาของกราฟเป็นส่วนใหญ่ และมีค่าเป็นลบ เมื่อข้อมูลอยู่ทางด้านซ้ายของกราฟเป็นส่วนใหญ่

4.2.1.4 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายของกลุ่มข้อมูล (Standard Error of Skewness)

เป็นการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบค่าปกติ ถ้าค่าดังกล่าวไม่อยู่ในช่วงระหว่าง -2 ถึง $+2$ แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายที่ไม่ปกติ

4.2.1.5 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่าการวัดขอบเขตของกลุ่มข้อมูล (Kurtosis)

ค่าการวัดขอบเขตของกลุ่มข้อมูล คือ ค่าที่ใช้ในการทดสอบการวัดขอบเขตของกลุ่มข้อมูล การรวมตัวของข้อมูลโดยรอบจุดศูนย์กลางข้อมูล โดยค่าการวัดขอบเขตของกลุ่มข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อมีการกระจายแบบปกติ และจะมีค่าเป็นบวก เมื่อข้อมูลอยู่ทางด้านขวาของกราฟเป็นส่วนใหญ่ และมีค่าเป็นลบ เมื่อข้อมูลอยู่ทางด้านซ้ายของกราฟเป็นส่วนใหญ่

4.2.1.6 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดขอบเขตของกลุ่มข้อมูล (Standard Error of Kurtosis)

เป็นการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบค่าการรวมตัวของข้อมูล ถ้าค่าดังกล่าวไม่อยู่ในช่วงระหว่าง -2 ถึง $+2$ แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะการรวมตัวของข้อมูลที่ไม่ปกติ

4.2.1.7 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงเพื่อหาค่าน้อยที่สุดของข้อมูล (Minimum)

เป็นค่าที่ต่ำสุดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.1.8 การทดสอบทางสถิติพื้นฐานแต่ละช่วงเพื่อหาค่ามากที่สุดของข้อมูล (Maximum)

เป็นค่าที่สูงสุดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.2 การวิเคราะห์สมมติฐานเพื่อทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน

4.2.2.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มข้อมูล (Compare Mean)

เป็นการทดสอบกลุ่มข้อมูลทั้งสองซึ่งเป็นอิสระต่อกันโดยวิธีการ Two Independence Samples Test เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัดทั้งสองวิธีการทำงานสำรวจ

4.2.2.2 การทดสอบนัยสำคัญของความคลาดเคลื่อน (Independent Sample Test)

เป็นหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลทั้งสอง เพื่อทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนของกลุ่มประชากร และเพื่อทราบถึงวิธีการทำงานทั้งสองว่าแต่ละแผนจะมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.2.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One Sample Test)

เป็นการทดสอบหาค่าเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการทำงานสำรวจ เพื่อทดสอบว่าวิธีการทำงานสำรวจแบบใดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่ากัน

4.3 การคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานกลุ่มข้อมูล

การคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มข้อมูลแต่ละช่วงด้วยโปรแกรม SPSS for Windows มีรายละเอียด ดังนี้

4.3.1 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Mean

4.3.2 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Median

4.3.3 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Skewness

4.3.4 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Standard Error of Skewness

4.3.5 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Kurtosis

4.3.6 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Standard Error of Kurtosis

4.3.7 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Minimum

4.3.8 การทดสอบทางสถิติแต่ละช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า Maximum

การคำนวณทางสถิติแต่ละแกนของข้อมูล (X, Y, Z) จะแบ่งออกเป็นค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนาม ค่าที่ได้จากการออกแบบและค่าคำนวณทางสถิติของความต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (ดังตารางที่ 4.3 - 4.26) ซึ่งผลของการคำนวณทางสถิติดังกล่าวจะแสดงในรูปฮิสโตแกรมของค่าเฉลี่ย (ดังรูปที่ ข.1 - ข.12) โดยแยกพิจารณาค่าเฉลี่ยในแต่ละแกนของแต่ละกลุ่มข้อมูล(ดังรูปที่ ค.1-ค.2) ส่วนค่าอื่นๆจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อทำให้ทราบถึงลักษณะและการกระจายของกลุ่มข้อมูล ทั้งนี้การคำนวณจะกำหนดรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

กำหนดให้

วิธีการ Laser Theodolite and Target Unit แทนด้วย Method 1

วิธีการ Robotec Survey System แทนด้วย Method 2

กลุ่มของข้อมูลที่นำมาทำการวิจัยแทนด้วย Sample n โดยที่ $n=1,2,3,4,5,6$

ค่าพิกัดที่ได้จากการทำงานภาคสนามแทนด้วย Actual X Actual Y และ Actual Z

ค่าพิกัดที่ได้จากการออกแบบแทนด้วย Design X Design Y และ Design Z

ค่าความแตกต่างระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าพิกัดที่ได้จากการออกแบบแทนด้วย Deviation X Deviation Y และ Deviation Z

จำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบแทนด้วย N

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	128	128	128	128	128	128	128	128	128
Mean (mm.)*	400896984.80	400896988.56	-3.76	29854744.64	29854748.89	-4.25	79842.09	79848.66	-6.57
Median (mm.)*	400902034.50	400902037.50	-3.00	29850166.50	29850173.50	-7.00	79825.00	79832.00	-7.00
Skewness	-0.118	-0.118	1.276	0.766	0.766	-0.652	0.073	0.071	-0.399
Std. Error of Shewness	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214
Kurtosis	-1.284	-1.284	1.124	0.044	0.044	-0.102	-1.224	-1.227	0.041
Std. Error of Kurtosis	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425
Minimum (mm.)*	400608081.22	400608088.36	-7.14	29810254.33	29810254.21	-0.12	76062.33	76064.19	-1.86
Maximum (mm.)*	401140109.06	401140089.55	19.51	29954397.84	29954397.85	-0.01	83933.16	83939.11	-5.95

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 1 of Method 1

จากตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 วิธี Laser Theodolite and Target Unit (Sample 1 of Method 1) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.1) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญา คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร; สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	163	163	163	163	163	163	163	163	163
Mean (mm.)*	400037557.97	400037564.39	-6.42	30052298.77	30052298.77	0.00	83929.88	83931.02	-1.14
Median (mm.)*	400038859.00	400038855.00	4.00	30057285.00	30057285.00	0.00	83595.00	83602.00	-7.00
Skewness	-0.016	-0.017	-1.291	-0.245	-0.245	-1.314	0.559	0.553	-0.189
Std. Error of Shewness	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190
Kurtosis	-1.195	-1.195	1.005	-1.247	-1.247	1.145	-0.665	-0.667	-0.186
Std. Error of Kurtosis	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378
Minimum (mm.)*	399658406.22	399658415.76	-9.54	29947424.87	29947424.24	0.63	81232.66	81250.10	-17.44
Maximum (mm.)*	400410961.51	400410964.79	-3.28	30137106.15	30137106.25	-0.10	88084.84	88056.54	28.30

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 2 of Method 1

จากตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 วิธี Laser Theodolite and Target Unit (Sample 2 of Method 1) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.2) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร; สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	270	270	270	270	270	270	270	270	270
Mean (mm.)*	397142051.88	397142056.03	-4.15	30840324.09	30840328.43	-4.34	87783.46	87776.67	6.79
Median (mm.)*	397116298.00	397116300.50	-2.50	30854150.00	30854156.50	-6.50	87586.50	87587.00	-0.50
Skewness	0.055	0.055	0.077	-0.131	-0.131	0.079	0.741	0.739	0.764
Std. Error of Shewness	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148
Kurtosis	-1.113	-1.113	-0.889	-1.183	-1.183	-0.934	-0.370	-0.393	-0.353
Std. Error of Kurtosis	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295
Minimum (mm.)*	396564463.47	396564468.21	-4.74	30668331.66	30668333.06	-1.40	86158.69	86159.25	-0.56
Maximum (mm.)*	397733991.11	397733992.00	0.89	31004585.17	31004580.89	4.28	90562.23	90560.99	1.24

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.5 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 3 of Method 1

จากตารางที่ 4.5 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 3 วิธี Laser Theodolite and Target Unit (Sample 3 of Method 1) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.3) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	111	111	111	111	111	111	111	111	111
Mean (mm.)*	400860014.68	400860014.42	0.26	29830527.25	29830531.66	-4.41	79508.36	79513.92	-5.56
Median (mm.)*	400859891.00	400859892.00	-1.00	29827299.00	29827299.00	0.00	79026.00	79021.00	5.00
Skewness	-0.014	-0.014	0.581	0.356	0.356	0.615	0.438	0.432	-0.126
Std. Error of Shewness	0.229	0.229	0.229	0.229	0.229	0.229	0.229	0.229	0.229
Kurtosis	-1.227	-1.227	0.590	-1.087	-1.088	0.720	-1.092	-1.100	-0.933
Std. Error of Kurtosis	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455	0.455
Minimum (mm.)*	400606421.69	400606410.74	10.95	29794845.33	29794859.81	-14.48	76400.65	76368.00	32.65
Maximum (mm.)*	401105167.58	401105167.69	-0.11	29884985.94	29884949.03	36.91	83946.84	83900.00	46.84

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.6 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 4 of Method 1

จากตารางที่ 4.6 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 4 วิธี Laser Theodolite and Target Unit (Sample 4 of Method 1) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.4) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	161	161	161	161	161	161	161	161	161
Mean (mm.)*	400040319.28	400040321.86	-2.58	30043895.12	30043901.39	-6.27	76156.80	76152.91	3.89
Median (mm.)*	400039875.00	400039877.00	-2.00	30043185.00	30043192.00	-7.00	74677.00	74670.00	7.00
Skewness	-0.006	-0.006	-0.505	-0.089	-0.089	-0.322	0.820	0.822	-0.988
Std. Error of Shewness	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191
Kurtosis	-1.1188	-1.1188	0.577	-1.345	-1.345	0.716	-0.747	-0.733	1.264
Std. Error of Kurtosis	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
Minimum (mm.)*	399667927.56	399667925.66	1.90	29939929.58	29939931.75	-2.17	72289.36	72282.66	6.70
Maximum (mm.)*	400408839.87	400408839.67	0.20	30134720.74	30134713.97	6.77	83944.48	83940.11	4.37

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 5 of Method 1

จากตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 5 วิธี Laser Theodolite and Target Unit (Sample 5 of Method 1) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.5) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	347	347	347	347	347	347	347	347	347
Mean (mm.)*	397047000.61	397047001.59	-0.98	30856554.28	30856555.48	-1.20	81142.65	81137.39	5.26
Median (mm.)*	396959070.00	396959072.00	-2.00	30881958.00	30881964.00	-6.00	80250.00	80256.00	-6.00
Skewness	0.435	0.435	18.624	-0.457	-0.456	-18.120	0.348	0.342	0.732
Std. Error of Shewness	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
Kurtosis	-1.060	-1.061	346.910	-1.031	-1.032	334.349	-1.245	-1.250	-0.566
Std. Error of Kurtosis	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261	0.261
Minimum (mm.)*	396559339.21	396559338.29	0.92	30668310.98	30668297.25	13.73	74418.54	74415.47	3.07
Maximum (mm.)*	397734122.10	397734122.14	-0.04	30991331.74	30991417.54	-85.80	89864.44	89860.87	3.57

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.8 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 6 of Method 1

จากตารางที่ 4.8 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 6 วิธี Laser Theodolite and Target Unit (Sample 6 of Method 1) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.6) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Mean (mm.)*	401150973.76	401150974.09	-0.33	33513360.54	33513361.50	-0.96	82149.65	82156.62	-6.97
Median (mm.)*	401152196.00	401152203.00	-7.00	33526310.00	33526310.00	0.00	82172.00	82174.00	-2.00
Skewness	-0.145	-0.146	-0.171	-0.127	-0.127	-5.720	-0.070	-0.049	-0.964
Std. Error of Skewness	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166
Kurtosis	-1.498	-1.496	0.858	-1.494	-1.494	41.296	-1.537	-1.533	-0.088
Std. Error of Kurtosis	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330
Minimum (mm.)*	40118991.01	40118969.17	21.84	33107135.88	33107136.45	-0.57	80150.71	80134.15	16.56
Maximum (mm.)*	40117542.47	40117542.16	0.31	33829342.17	33829345.17	-3.00	83904.98	83900.96	4.02

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.9 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 1 of Method 2

จากตารางที่ 4.9 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 วิธี Robotec Survey System (Sample 1 of Method 2) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.7) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS) .พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	258	258	258	258	258	258	258	258	258
Mean (mm.)*	401080318.73	401080317.92	0.81	32293194.83	32293194.89	-0.06	80949.78	80945.69	4.09
Median (mm.)*	401080775.00	401080780.50	-5.50	32276835.00	32276835.00	0.00	80576.50	80570.00	6.50
Skewness	0.314	0.313	-0.855	0.136	0.136	-1.448	0.595	0.593	-1.420
Std. Error of Skewness	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152
Kurtosis	-0.436	-0.436	0.222	-1.299	-1.299	6.080	-0.890	-0.886	3.228
Std. Error of Kurtosis	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302	0.302
Minimum (mm.)*	401064623.21	401064668.58	-45.37	31803887.56	31803887.55	0.01	78917.51	78925.44	-7.93
Maximum (mm.)*	401102967.89	401102957.11	10.78	32906403.16	32906403.77	-0.61	83742.44	83740.55	1.89

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.10 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 2 of Method 2

จากตารางที่ 4.10 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 วิธี Robotec Survey System (Sample 2 of Method 2) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.8) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS) .พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร; สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	314	314	314	314	314	314	314	314	314
Mean (mm.)*	401055728.73	401055734.96	6.23	30875260.23	30875259.95	0.28	80187.98	80183.43	4.55
Median (mm.)*	401052000.00	401052002.00	-2.00	30873906.00	30873916.50	-10.50	79840.00	79841.50	-1.50
Skewness	0.409	0.409	-0.254	-0.003	-0.003	17.307	0.474	0.473	0.301
Std. Error of Skewness	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138
Kurtosis	-0.925	-0.925	-0.530	-1.208	-1.208	304.296	-0.730	-0.741	0.835
Std. Error of Kurtosis	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274
Minimum (mm.)*	400962901.74	400962925.77	-24.03	30147640.84	30147643.69	-2.85	77976.84	77978.11	-1.27
Maximum (mm.)*	401182863.87	401182849.94	13.93	31602907.44	31602907.77	-0.33	83727.45	83700.69	26.76

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 3 of Method 2

จากตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 3 วิธี Robotec Survey System (Sample 3 of Method 2) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.9) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS) .พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร; สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	111	111	111	111	111	111	111	111	111
Mean (mm.)*	400860014.68	400860014.42	0.26	29830527.25	29830531.66	-4.41	79498.36	79493.92	4.44
Median (mm.)*	400859891.00	400859892.00	-1.00	29827299.00	29827299.00	0.00	79026.00	79016.00	10.00
Skewness	-0.014	-0.014	0.198	0.356	0.356	-2.103	0.438	0.432	0.355
Std. Error of Skewness	0.229	0.229	0.195	0.229	0.229	0.195	0.229	0.229	0.195
Kurtosis	-1.227	-1.227	-0.507	-1.087	-1.088	3.687	-1.092	-1.100	-0.353
Std. Error of Kurtosis	0.455	0.455	0.387	0.455	0.455	0.387	0.455	0.455	0.387
Minimum (mm.)*	400606421.55	400606410.22	11.33	29794845.55	29794859.41	-13.86	76400.77	76368.44	32.33
Maximum (mm.)*	401105167.14	401105167.01	0.13	29884985.19	29884949.11	36.08	83946.11	83900.11	46.00

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.12 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 4 of Method 2

จากตารางที่ 4.12 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 4 วิธี Robotec Survey System (Sample 4 of Method 2) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.10) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS) .พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	227	227	227	227	227	227	227	227	227
Mean (mm.)*	401090251.41	401090255.25	-3.84	32352938.38	32352939.03	-0.55	80668.84	80669.93	-1.09
Median (mm.)*	401091095.20	401091095.00	0.20	32345700.00	32345700.00	0.00	80309.00	80287.00	22
Skewness	0.482	0.480	-0.075	0.018	0.018	-6.235	0.881	0.887	-0.857
Std. Error of Skewness	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162	0.162
Kurtosis	-0.466	-0.467	0.113	-1.223	-1.223	38.608	-0.104	-0.104	0.954
Std. Error of Kurtosis	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322	0.322
Minimum (mm.)*	401074710.21	401074711.44	-1.23	31803134.14	31803134.23	-0.09	78945.44	78926.11	19.33
Maximum (mm.)*	401118599.69	401118600.96	-1.27	32906366.10	32906367.44	-1.34	83770.11	83759.22	10.89

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.13 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 5 of Method 2

จากตารางที่ 4.13 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 5 วิธี Robotec Survey System (Sample 5 of Method 2) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.11) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS) .พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

	Actual X (1)	Design X (2)	Deviation X (3)	Actual Y (4)	Design Y (5)	Deviation Y (6)	Actual Z (7)	Design Z (8)	Deviation Z (9)
N	314	314	314	314	314	314	314	314	314
Mean (mm.)*	401070592.99	401070586.30	6.69	30874828.91	30874829.69	-0.78	80209.61	80204.64	4.97
Median (mm.)*	401066917.50	401066906.00	11.50	30873828.00	30873831.00	-3.00	79912.50	79898.50	14.00
Skewness	0.402	0.402	0.010	-0.003	-0.003	-3.387	0.449	0.445	0.065
Std. Error of Shewness	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138
Kurtosis	-0.918	-0.918	-0.712	-1.208	-1.208	28.549	-0.754	-0.760	-0.210
Std. Error of Kurtosis	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274
Minimum (mm.)*	400977262.25	400977272.44	-10.19	30144886.22	30144893.41	-7.19	78004.11	78007.15	-3.04
Maximum (mm.)*	401198069.10	401198044.00	25.10	31602262.33	31602262.18	0.15	83718.88	83700.44	18.44

หมายเหตุ : *(3)=(1)-(2), (6)=(4)-(5), (9)=(7)-(8)

ตารางที่ 4.14 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติของ Sample 6 of Method 2

จากตารางที่ 4.14 แสดงการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่ 6 วิธี Robotec Survey System (Sample 6 of Method 2) พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ (ดังภาคผนวกรูปที่ ข.12) และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทำงานภาคสนามกับค่าการออกแบบ (Deviation) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับตามข้อกำหนดของสัญญาฯ คือ 7 มิลลิเมตร รวมถึงมีค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลและขอบเขตของกลุ่มข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ทางทฤษฎีสถิติ คือ อยู่ในช่วงค่าระหว่าง -2 ถึง 2

* รัชชัย งามสันติวงศ์. หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS). พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

จากการคำนวณค่าทางสถิติพื้นฐานพบว่า ลักษณะของกลุ่มข้อมูลโดยรวมมีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง และการกระจายของกลุ่มข้อมูลของวิธีการ Laser Theodolite and Target Unit และวิธีการ Robotec Survey System มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดของงานสำรวจในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน เนื่องจากในการทำงานสำรวจภาคสนามนั้น เมื่อมีความผิดพลาดทางตำแหน่งเกิดขึ้นจะต้องมีการปรับแก้ค่าเสมอ ซึ่งถ้าวิธีการใดมีการปรับแก้บ่อยก่อนให้เกิดปัญหาในการทำงานน้อยกว่ารวมถึงประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายและบุคลากรที่ใช้ในการทำงานสำรวจ

4.4 การนำข้อมูลมาทำการทดสอบ

ในการวิจัยจะนำข้อมูลการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างรถไฟฟ้าใต้ดินมาคำนวณหาค่าทางสถิติเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาวิธีการทดสอบสมมติฐานทางสถิติและวิเคราะห์สมมติฐาน เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของวิธีการทำงานสำรวจ ดังนั้นในการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมภาคสนามและข้อมูลการออกแบบมาสร้างเป็นไฟล์ข้อมูลในโปรแกรม SPSS จะต้องมีการกำหนดตัวแปรเพื่อนำมาคำนวณค่าทางสถิติต่างๆ ดังนี้ (ดังรูปที่ 4.1,4.2)

กำหนดให้	e_x (Error of X) แทนค่า ค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X (Easting)
	e_y (Error of Y) แทนค่า ค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y (Northing)
	e_z (Error of Z) แทนค่า ค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z (Elevation)
	met (Method) แทนวิธีการทำงานสำรวจโดย
	met_1 แทน Method 1 (วิธีการ Laser Theodolite and Target Unit)
	met_2 แทน Method 2 (วิธีการ Robotec Survey System)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Method1ErrorOfxyz - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

1: ex 0.02

	ex	ey	ez	s	exd	ey1	ex1	dx	dy	dz	sp	ex2	ey2	ez2	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	0.020	-0.006	-0.009	1	20	-6	-9	0.006	-0.003	0.004	1	6	-3	4											
2	-0.026	0.008	-0.032	1	-26	8	-32	0.007	-0.003	-0.001	1	7	-3	-1											
3	-0.060	0.020	-0.048	1	-60	20	-48	0.004	-0.004	0.001	1	4	-4	1											
4	-0.037	0.014	-0.049	1	-37	14	-49	0.005	-0.003	0.000	1	5	-3	0											
5	0.028	-0.011	-0.036	1	28	-11	-36	0.005	-0.005	-0.002	1	5	-5	-2											
6	0.051	-0.021	-0.015	1	51	-21	-15	0.004	-0.009	-0.004	1	4	-9	-4											
7	0.052	-0.023	-0.006	1	52	-23	-6	0.005	-0.008	-0.008	1	5	-8	-8											
8	0.036	-0.018	-0.012	1	36	-18	-12	0.007	-0.010	-0.014	1	7	-10	-14											
9	0.033	-0.017	-0.023	1	33	-17	-23	0.006	-0.008	-0.020	1	6	-8	-20											
10	0.035	-0.018	-0.016	1	35	-18	-16	0.006	-0.009	-0.035	1	6	-9	-35											
11	0.025	-0.015	-0.013	1	25	-15	-13	0.003	-0.010	-0.043	1	3	-10	-43											
12	0.006	-0.004	-0.011	1	6	-4	-11	0.001	-0.009	-0.050	1	1	-9	-50											
13	-0.006	0.004	-0.010	1	-6	4	-10	0.000	-0.009	-0.062	1	0	-9	-62											
14	-0.011	0.007	0.013	1	-11	7	13	0.001	-0.012	-0.064	1	1	-12	-64											
15	-0.014	0.009	0.011	1	-14	9	11	-0.002	-0.010	-0.082	1	-2	-10	-82											
16	-0.009	0.007	0.007	1	-9	7	7	-0.001	-0.001	-0.089	1	-1	-1	-89											
17	-0.009	0.007	0.006	1	-9	7	6	-0.003	0.000	-0.097	1	-3	0	-97											
18	-0.006	0.005	0.010	1	-6	5	10	-0.002	0.000	-1.03	1	-2	0	-103											
19	-0.006	0.005	0.006	1	-6	5	6	-0.001	0.000	-1.09	1	-1	0	-109											
20	-0.006	0.007	0.006	1	-6	7	6	0.001	0.000	-1.13	1	1	0	-113											
21	-0.006	0.006	0.000	1	-6	6	0	-0.001	0.000	-1.15	1	-1	0	-115											

SPSS Processor is ready

รูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลวิธี Laser Theodolite and Target Unit บนโปรแกรม SPSS for Windows

method_amp_amp_R - SPSS Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Graphs Utilities Window Help

1: c2 19144.121

	c2	x2	y2	r2	xd2	yd2	rd2	dx2	dy2	dz2	c1	x1	y1	r1	xd1	yd1	rd1	dx1	dy1	dz1	var	var	var	var	var	var
1	19144.12	401175.42	33829.34	83.904	401175.41	33829.34	83.900	0.006	-0.003	0.004	15214.36	401140.10	29954.39	82.041	401140.08	29954.39	82.050	0.020	-0.006	-0.009						
2	19142.92	401175.33	33828.14	83.899	401175.32	33828.14	83.900	0.007	-0.003	-0.001	15210.75	401139.80	29950.95	82.029	401139.83	29950.94	82.061	-0.026	0.008	-0.032						
3	19141.71	401175.23	33826.94	83.901	401175.23	33826.95	83.900	0.004	-0.004	0.001	15205.94	401137.47	29946.39	82.028	401137.53	29946.37	82.076	-0.060	0.020	-0.048						
4	19140.51	401175.14	33825.75	83.900	401175.13	33825.75	83.900	0.005	-0.003	0.000	15201.12	401135.90	29941.84	82.031	401135.94	29941.83	82.080	-0.037	0.014	-0.049						
5	19139.31	401175.04	33824.55	83.898	401175.04	33824.55	83.900	0.005	-0.005	-0.002	15196.31	401134.27	29937.32	82.026	401134.25	29937.33	82.062	0.028	-0.011	-0.036						
6	19138.11	401174.95	33823.35	83.896	401174.94	33823.35	83.900	0.004	-0.009	-0.004	15191.51	401132.50	29932.86	82.013	401132.45	29932.89	82.028	0.051	-0.021	-0.015						
7	19136.91	401174.85	33822.15	83.891	401174.85	33822.16	83.899	0.005	-0.008	-0.008	15186.70	401130.59	29928.45	81.972	401130.54	29928.46	81.978	0.052	-0.023	-0.006						
8	19135.70	401174.76	33820.95	83.885	401174.75	33820.96	83.899	0.007	-0.010	-0.014	15181.90	401128.57	29924.11	81.902	401128.53	29924.13	81.914	0.036	-0.018	-0.012						
9	19134.50	401174.66	33819.75	83.878	401174.66	33819.76	83.898	0.006	-0.008	-0.020	15177.07	401126.43	29919.76	81.810	401126.40	29919.80	81.833	0.033	-0.017	-0.023						
10	19133.30	401174.57	33818.56	83.863	401174.56	33818.57	83.898	0.006	-0.009	-0.035	15172.26	401124.21	29915.52	81.721	401124.18	29915.53	81.737	0.035	-0.018	-0.016						
11	19132.10	401174.47	33817.36	83.854	401174.47	33817.37	83.897	0.003	-0.010	-0.043	15167.45	401122.08	29911.32	81.613	401121.85	29911.33	81.626	0.025	-0.015	-0.013						
12	19130.90	401174.37	33816.16	83.846	401174.37	33816.17	83.896	0.001	-0.009	-0.050	15162.65	401119.44	29907.18	81.490	401119.43	29907.19	81.501	0.006	-0.004	-0.011						
13	19129.70	401174.28	33814.96	83.833	401174.28	33814.97	83.895	0.000	-0.009	-0.062	15157.86	401116.91	29903.11	81.350	401116.92	29903.11	81.360	-0.006	0.004	-0.010						
14	19128.49	401174.18	33813.76	83.829	401174.18	33813.78	83.893	0.001	-0.012	-0.064	15153.02	401114.27	29899.07	81.228	401114.28	29899.06	81.215	-0.011	0.007	0.013						
15	19127.30	401174.09	33812.57	83.810	401174.09	33812.58	83.892	-0.002	-0.010	-0.082	15148.23	401111.56	29895.12	81.082	401111.58	29895.11	81.071	-0.014	0.009	0.011						
16	19126.09	401173.99	33811.37	83.801	401173.99	33811.37	83.890	-0.001	-0.001	-0.089	15143.44	401108.77	29891.24	80.934	401108.78	29891.23	80.927	-0.009	0.007	0.007						
17	19124.89	401173.90	33810.17	83.791	401173.90	33810.17	83.888	-0.003	0.000	-0.097	15138.59	401105.24	29887.38	80.788	401105.25	29887.37	80.782	-0.009	0.007	0.006						
18	19123.69	401173.80	33808.97	83.784	401173.80	33808.97	83.887	-0.002	0.000	-1.03	15133.77	401102.84	29883.61	80.648	401102.85	29883.61	80.638	-0.006	0.005	0.010						
19	19122.49	401173.71	33807.78	83.776	401173.71	33807.78	83.885	-0.001	0.000	-1.09	15128.97	401099.76	29879.93	80.499	401099.76	29879.93	80.493	-0.006	0.005	0.006						
20	19121.29	401173.62	33806.58	83.769	401173.61	33806.58	83.882	0.001	0.000	-1.13	15124.16	401096.59	29876.33	80.355	401096.59	29876.32	80.349	-0.006	0.007	0.006						
21	19120.08	401173.52	33805.38	83.765	401173.52	33805.38	83.880	-0.001	0.000	-1.15	15119.35	401093.33	29872.80	80.205	401093.33	29872.79	80.205	-0.006	0.006	0.000						

SPSS Processor is ready

รูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลวิธี Robotec Survey System บนโปรแกรม SPSS for Windows

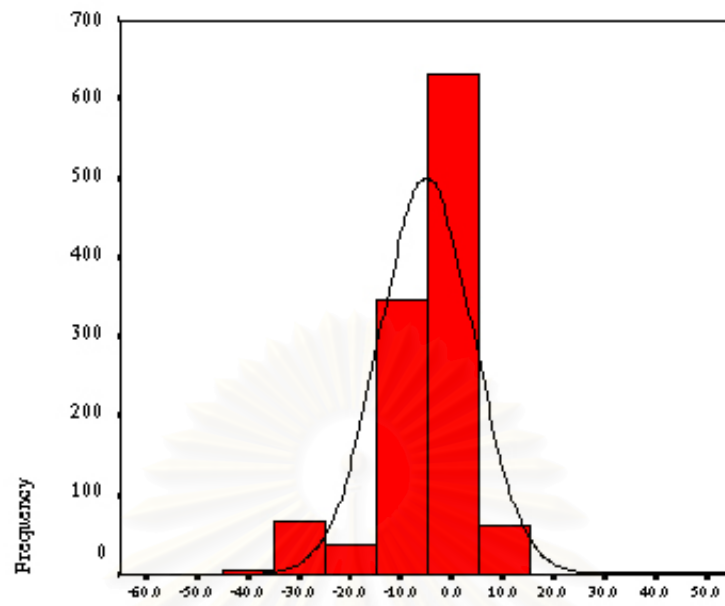
4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มข้อมูล (Compare Mean)

การทดสอบข้อมูลทั้งสองซึ่งเป็นอิสระต่อกัน (Two Independence Samples Test) โดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มข้อมูล (Compare Mean) เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีการทำงานสำรวจทั้งสองวิธี โดยวิธีการทำงานสำรวจวิธีแรก คือ Laser Theodolite and Target Unit (Method 1) และวิธีที่สอง คือ Robotec Survey System (Method 2) ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำงานสำรวจทั้งสองวิธีมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันหรือไม่ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองไม่ได้เกี่ยวข้องกันหรือเป็นอิสระต่อกัน มีผลการทดสอบดังนี้ (ดังตารางที่ 4.15 - 4.16, รูปที่ 4.3 - 4.8)

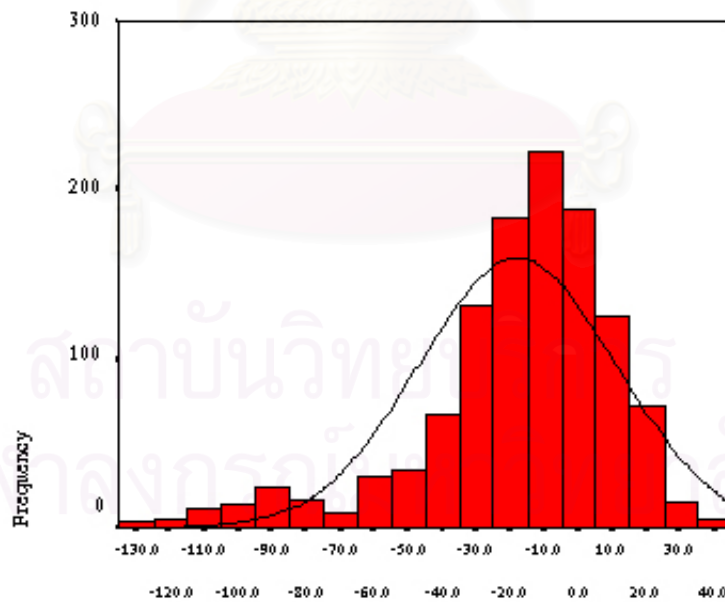
Group Statistics

	Error X of Method 1	Error Y of Method 1	Error Z of Method 1
N	1180	1180	1180
Mean (mm.)	6.92	6.37	6.97
Median (mm.)	4.00	3.08	2.97
Standard Deviation	7.23	7.90	6.73
Skewness	-0.589	-1.310	0.559
Standard Error of Skewness	0.072	0.072	0.072
Kurtosis	5.494	2.097	-0.072
Standard. Error of Kurtosis	0.143	0.143	0.143
Minimum (mm.)	-0.60	-1.29	-0.67
Maximum (mm.)	9.22	8.74	7.77

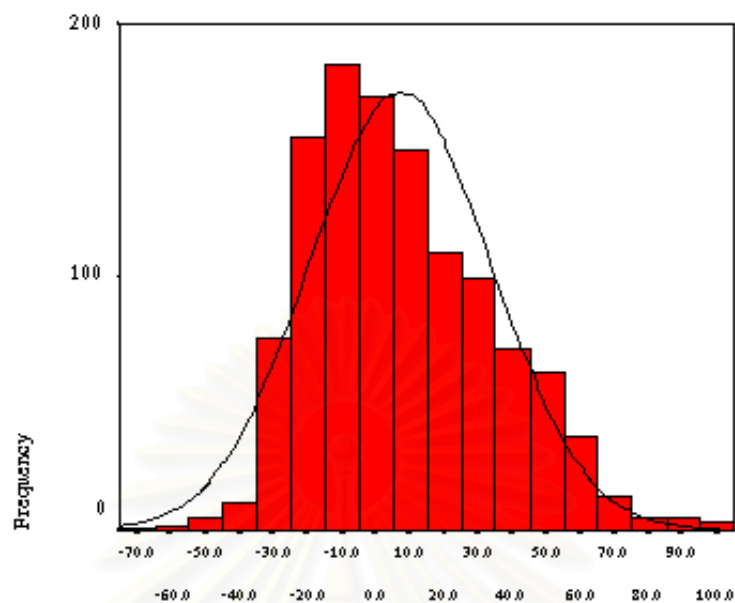
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit



รูปที่ 4.3 ฮิสโตแกรมค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X วิธี Laser Theodolite and Target Unit



รูปที่ 4.4 ฮิสโตแกรมค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y วิธี Laser Theodolite and Target Unit

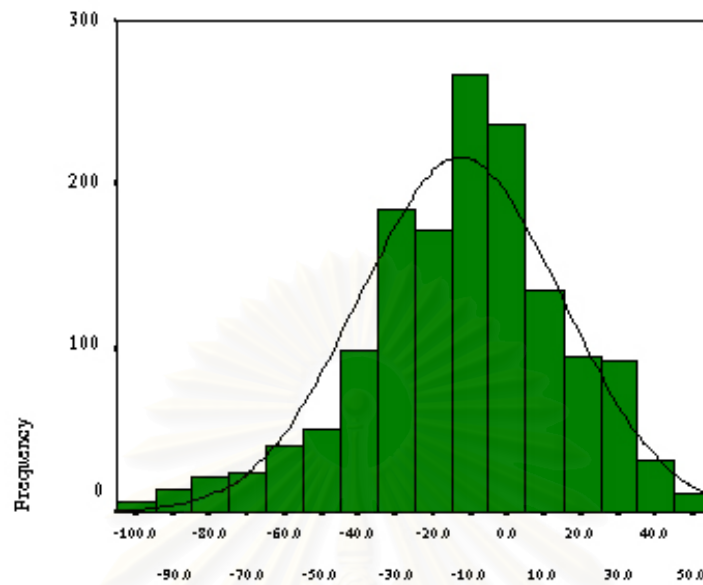


รูปที่ 4.5 ฮิสโตแกรมค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z วิธี Laser Theodolite and Target Unit

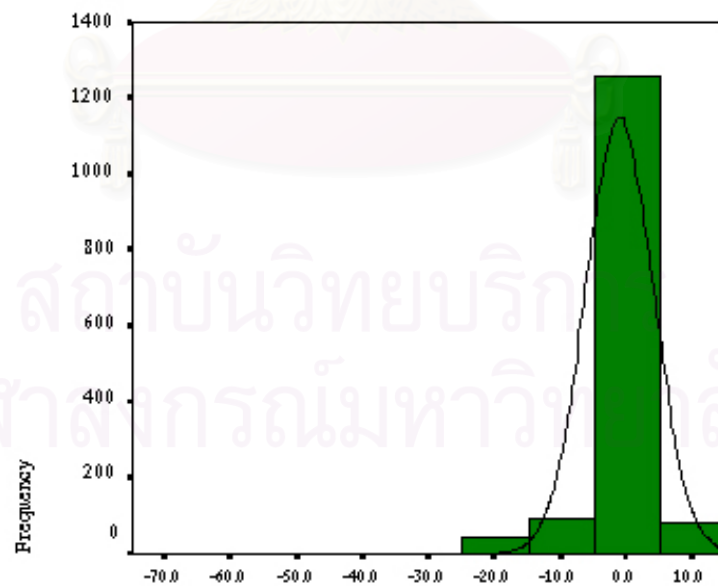
Statistics

	Error X of Method 2	Error Y of Method 2	Error Z of Method 2
N	1484	1484	1484
Mean (mm.)	6.58	5.42	6.38
Median (mm.)	-4.00	0.00	5.00
Standard Deviation	7.26	5.13	5.50
Skewness	-0.459	-3.360	-1.877
Standard Error of Skewness	0.064	0.064	0.064
Kurtosis	0.381	28.054	6.631
Standard Error of Kurtosis	0.127	0.127	0.127
Minimum (mm.)	-1.04	-1.71	-1.22
Maximum (mm.)	8.22	7.44	8.98

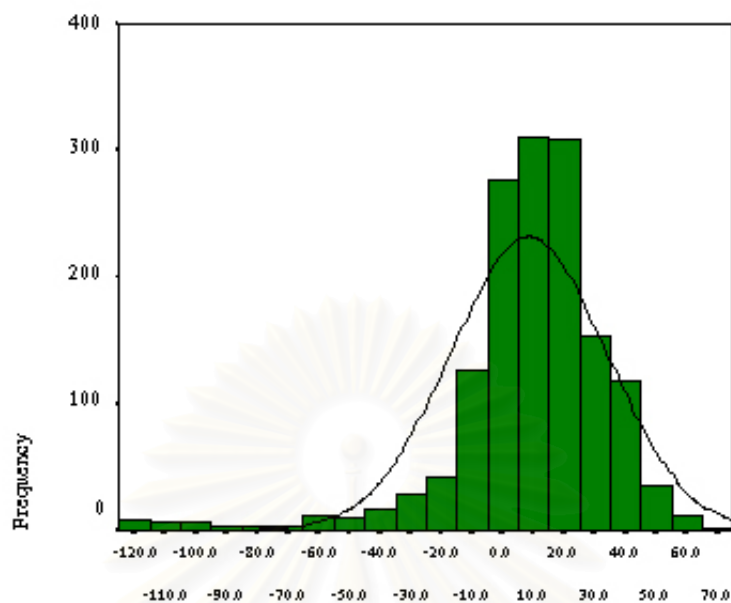
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธี Robotec Survey System



รูปที่ 4.6 ฮิสโตแกรมค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X วิธี Robotec Survey System



รูปที่ 4.7 ฮิสโตแกรมค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y วิธี Robotec Survey System



รูปที่ 4.8 ฮิสโตแกรมค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z วิธี Robotec Survey System

The screenshot shows the SPSS Data Editor window titled 'Method1ErrorOfxyz - SPSS Data Editor'. The 'Analyze' menu is open, and 'Independent-Samples T Test...' is selected. The data table below shows the following columns: 'ex', 'ex', 'ex', 's', 'ext'. The data rows are as follows:

	ex	ex	ex	s	ext
1	.020	-.006	-.009	1	20
2	-.026	.008	-.032	1	-26
3	-.060	.020	-.048	1	-60
4	-.037	.014	-.049	1	-37
5	.028	-.011	-.036	1	28
6	.051	-.021	-.015	1	51
7	.052	-.023	-.006	1	52
8	.036	-.018	-.012	1	36
9	.033	-.017	-.023	1	33
10	.035	-.018	-.016	1	35
11	.025	-.015	-.013	1	25
12	.006	-.004	-.011	1	6
13	-.006	.004	-.010	1	-6
14	-.011	.007	.013	1	-11
15	-.014	.009	.011	1	-14
16	-.009	.007	.007	1	-9
17	-.009	.007	.006	1	-9
18	-.006	.005	.010	1	-6
19	-.006	.005	.006	1	-6
20	-.006	.007	.006	1	-6
21	-.006	.006	.000	1	-6

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการคำนวณข้อมูลบนโปรแกรม SPSS for Windows

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS มีขั้นตอนในการกำหนด Compare Means / Independent Sample t-Test เลือกตัวแปรที่ต้องการทดสอบสมมติฐานไปไว้ในช่อง Test Variables ได้แก่ Error X, Error Y, Error Z (ดังรูปที่ 4.9) เลือกตัวแปรสำหรับการแบ่งกลุ่มไปไว้ในช่อง Grouping Variable ซึ่งในที่นี้คือ Met และ Define Groups เพื่อกำหนดว่า Method 1 ใช้ค่า 1 และ Method 2 ใช้ค่า 2 โดยกำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับการใช้ Missing Value ในการคำนวณ โปรแกรม SPSS นั้น ถ้ากำหนด Missing Value แล้ว โปรแกรมจะไม่นำตัวแปรที่มีค่าเป็น Missing Value มาคำนวณ แต่สำหรับตัวแปรอื่นที่อยู่ในรายการเดียวกันยังคงนำมาคำนวณตามปกติ ป้อนค่าร้อยละของช่วงแห่งความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ที่ต้องการ ในที่นี้จะกำหนดให้ Confidence Interval = 95% จากการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

		N	Mean(mm.)
Error X	Method 1	1180	6.92
	Method 2	1484	6.58
Error Y	Method 1	1180	6.37
	Method 2	1484	5.42
Error Z	Method 1	1180	6.97
	Method 2	1484	6.38

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าสถิติขั้นพื้นฐานทั่วไป

จากตารางที่ 4.17 สามารถสรุปค่าความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนแกน X วิธี Laser Theodolite and Target Unit เท่ากับ 6.92 มิลลิเมตร

ค่าความคลาดเคลื่อนแกน X วิธี Robotec Survey System เท่ากับ 6.58 มิลลิเมตร

ค่าความคลาดเคลื่อนแกน Y วิธี Laser Theodolite and Target Unit เท่ากับ 6.37 มิลลิเมตร

ค่าความคลาดเคลื่อนแกน Y วิธี Robotec Survey System เท่ากับ 5.42 มิลลิเมตร

ค่าความคลาดเคลื่อนแกน Z วิธี Laser Theodolite and Target Unit เท่ากับ 6.97 มิลลิเมตร

ค่าความคลาดเคลื่อนแกน Z วิธี Robotec Survey System เท่ากับ 6.38 มิลลิเมตร

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของวิธี Robotec Survey System มีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งน้อยกว่าวิธี Laser Theodolite and Target Unit

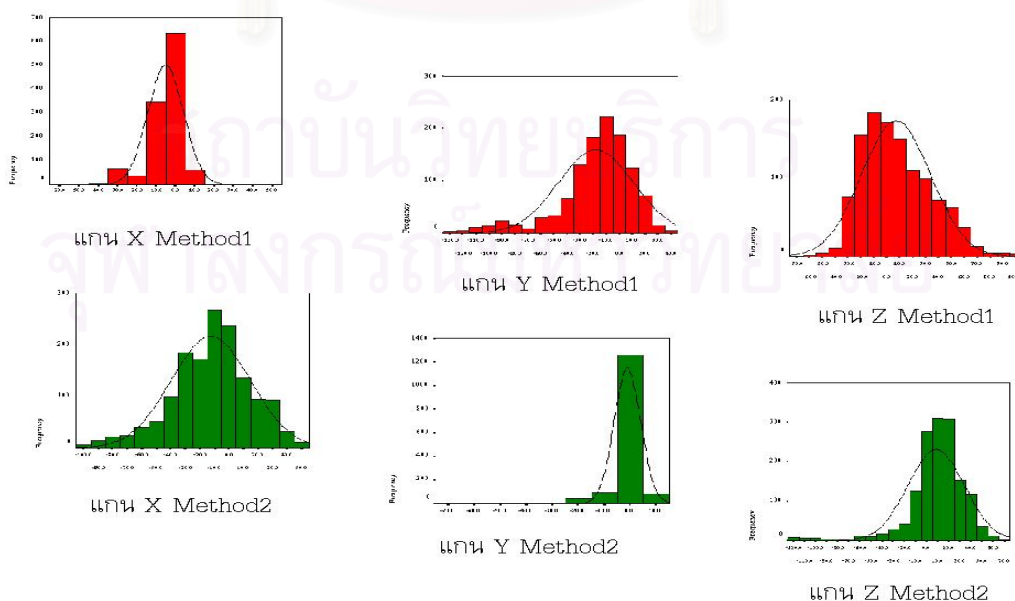
4.6 การวิเคราะห์ความถูกต้องโดยวิธี Paired t-Test

ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลในทางสถิติด้วยวิธี Paired t-Test เป็นการทดสอบหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสองกลุ่ม เนื่องจากข้อมูลจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มข้อมูล (Compare Mean) ในหัวข้อ 4.5 (ดังรูปที่ 4.10) สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบที (t-Distribution) เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการแจกแจงปกติเส้นโค้งของฟังก์ชันทีจะมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำและเมื่อพิจารณาค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16) พบว่าค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เป็นค่าที่ใช้แทนกลุ่มข้อมูลได้เมื่อพิจารณาร่วมกับจำนวนของข้อมูลที่ทำกรทดสอบ ดังนั้นการวิจัยจึงเลือกทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Paired t-Test โดยมีหลักเกณฑ์ในการทดสอบดังนี้

4.6.1 การทดสอบ Paired t-Test จะใช้การทดสอบแบบ 2 ทาง ที่ระดับนัยสำคัญ (α) โดยการทดสอบจะยอมรับสมมติฐาน เมื่อค่า $-t_{\alpha/2(n-1)} < t\text{-value} < t_{\alpha/2(n-1)}$ และจะปฏิเสธสมมติฐานเมื่อค่า $t\text{-value} > t_{\alpha/2(n-1)}$ หรือ $t\text{-value} < -t_{\alpha/2(n-1)}$

4.6.2 ค่า t-Significant (2-tailed) คือ ค่าระดับนัยสำคัญที่คำนวณได้ของการทดสอบแบบสองทาง โดยการทดสอบจะปฏิเสธสมมติฐานเมื่อค่า $t\text{-Significant} < \alpha$ และจะยอมรับสมมติฐานเมื่อค่า $t\text{-Significant} > \alpha$

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows ในการทำการทดสอบ



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะการแจกแจงแบบที (t-Distribution) ของกลุ่มข้อมูล

4.7 การทดสอบค่า Independent Sample Test

เป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างข้อมูลทั้งสองเพื่อทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างข้อมูลทั้งสอง ทำให้ทราบว่ามีวิธีการทำงานทั้งสองวิธีในแต่ละแกมมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือไม่ ซึ่งถ้าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าเป็นการยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 ณ ระดับ $\alpha = 0.05$ (หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%) แต่ถ้าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าเป็นการปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ณ ระดับ $\alpha = 0.05$ (หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%)

สมมติฐาน $H_0: ME_1 = ME_2$

$H_1: ME_1 \neq ME_2$

		t-Test for Equility of Mean						
		t	Df	Significant (2-tailed)	Mean difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
Error X	Equal variances assumed	1.676	2604	0.0135	22.50	13.43	-3.83	48.83
	Equal variances not assumed	1.485	1150.102	0.0138	22.50	15.15	-7.22	52.21
Error Y	Equal variances assumed	-5.469	2603	0.0100	-20.95	3.83	-28.46	-13.44
	Equal variances not assumed	-4.849	1147.843	0.0100	-20.95	4.32	-29.43	-12.47
Error Z	Equal variances assumed	-1.330	2604	0.0183	-1.37	1.03	-3.38	0.65
	Equal variances not assumed	-1.323	2404.022	0.0186	-1.37	1.03	-3.39	0.66

ตารางที่ 4.18 แสดงการทดสอบค่า Independent Sample Test

4.7.1 ผลการทดสอบค่า Independent Sample Test บนแกน X

การทดสอบค่าความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance Level) $\alpha = 0.05$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่า $t = 1.676$ และถ้าพิจารณาว่าค่าที่คำนวณได้ พบว่า ค่าที่นัยสำคัญ (2-tailed) $= 0.0135$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 (ดังตารางที่ 4.18)

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ วิธีการทำงานทั้งสองวิธีบนแกน X ได้ค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.7.2 ผลการทดสอบค่า Independent Sample Test บนแกน Y

การทดสอบค่าความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่า $t = -4.898$ และถ้าพิจารณาว่าค่าที่คำนวณได้ พบว่า ค่าที่นัยสำคัญ (2-tailed) $= 0.000$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 (ดังตารางที่ 4.18)

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ วิธีการทำงานทั้งสองวิธีบนแกน Y ได้ค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.7.3 ผลการทดสอบค่า Independent Sample Test บนแกน Z

การทดสอบค่าความแตกต่างของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่า $t = -1.323$ และถ้าพิจารณาว่าค่าที่คำนวณได้ พบว่า ค่าที่นัยสำคัญ (2-tailed) $= 0.0186$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 (ดังตารางที่ 4.18)

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่ายอมรับ H_1 นั่นคือ วิธีการทำงานทั้งสองวิธีบนแกน Z ได้ค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

จากการทดสอบค่า Independent Sample T-test สรุปได้ว่า วิธีการทำงานของทั้งสองวิธีบนแกน X, Y และ Z มีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One sample test)

การทดสอบว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของกลุ่มข้อมูลเป็นไปตามค่าที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้หรือไม่ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจากการทำงานทั้งสองวิธีมีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการทดสอบแบบ Two Sample Independence T-Test ทำให้ได้ข้อสรุปว่า วิธีการทำงานทั้งสองวิธีบนแกน X, Y และ Z มีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงใช้วิธีการทดสอบแบบ One sample test เพื่อทดสอบหาว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่ได้จากการทำงานสำรวจ วิธีใดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่ากัน หรือวิธีการทำงานสำรวจวิธีใดเป็นวิธีการทำงานที่มีความเหมาะสมกับการทำงานสำรวจเพื่อการขุดเจาะอุโมงค์สำหรับรถไฟฟ้ามากกว่า โดยพิจารณาค่าความเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการทำงานสำรวจจริง คือ ไม่เกิน 0.007 เมตร (7 มิลลิเมตร) ตามข้อกำหนดสัญญาในการออกแบบและก่อสร้างงานอุโมงค์ ในการพิจารณาเลือกวิธีการทดสอบให้เหมาะสมกับกลุ่มข้อมูลทำได้ ดังนี้

ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha=0.05$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% เพื่อให้ได้คำตอบที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุด ถ้าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 ณ ระดับ $\alpha =0.05$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% แต่ถ้าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ H_1 ณ ระดับ $\alpha =0.05$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

ในกรณีที่ผลการทดสอบสมมติฐานไม่เป็นไปตามที่ผู้วิจัยคาดหวัง ซึ่งทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha=0.10$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 90% เพื่อให้ได้คำตอบที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุด ถ้าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 ณ ระดับ $\alpha =0.1$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 90% แต่ถ้าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ณ ระดับ $\alpha =0.1$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 90%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One Sample Test) บนแกน X

เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ที่ได้จากการทำงานทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำงานด้วยวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Method 1) และ วิธี Robotec Survey System (Method 2) บนแกน X มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตรหรือไม่ จะต้องทำการทดสอบดังนี้

สมมติฐาน $H_0: Ex1 = Ex2 = 7$ มม.

$H_1: Ex1 \neq Ex2 \neq 7$ มม.

One-Sample Statistics

	N	Mean (mm.)	Std. Deviation	Std. Error Mean
Error X of Method 1	1180	6.2680	2.50470	6.4692
Error X of Method 2	1484	5.5059	2.26862	7.0768

ตารางที่ 4.19 แสดงการทดสอบ One-Sample Statistics บนแกน X

จากตารางที่ 4.19 สรุปค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ดังนี้

วิธี Laser Theodolite and Target Unit มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน=6.2680 มิลลิเมตร

วิธี Robotec Survey System มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน=5.5059 มิลลิเมตร

One-Sample Test

	Test Value = 0.007					
	t	Df	Significant (2-tailed)	Mean Difference (mm.)	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower (mm.)	Upper (mm.)
Error X of Method 1	0.987	1179	0.324	5.453	-1.432	4.333
Error X of Method 2	0.854	1483	0.000	6.081	-7.069	6.293

ตารางที่ 4.20 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.20

เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X จากการดำเนินงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตรหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error X of Method 1) มีค่า $t = 0.987$ และค่านัยสำคัญ = 0.324 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ แสดงว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าไม่แตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Robotec Survey System (Error X of Method 2) มีค่า $t = 0.854$ และค่านัยสำคัญ = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 2 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

จากการทดสอบสมมติฐานของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error X of Method 1) และวิธี Robotec Survey System (Error X of Method 2) พบว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้ เนื่องจากเมื่อทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ การกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error X of Method 1) อยู่ในช่วงที่ปฏิเสธสมมติฐาน สังเกตได้จากค่าต่างจากค่าสังเกต (Mean Difference) มีค่าเท่ากับ 5.453 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่นอกช่วงที่จะยอมรับสมมติฐาน (-1.432 มิลลิเมตร ถึง 4.333 มิลลิเมตร) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องทำการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.1$

One-Sample Test

	Test value = 0.007					
	t	Df	Significant (2-tailed)	Mean Difference (mm.)	90% Confidence Interval of the Difference	
					Lower (mm.)	Upper (mm.)
Error X of Method 1	0.856	1179	0.000	5.453	-2.947	5.885
Error X of Method 2	0.822	1483	0.000	6.081	-7.188	6.852

ตารางที่ 4.21 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ที่ช่วงความเชื่อมั่น 90%

จากตารางที่ 4.21

เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X จากการดำเนินงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตรหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error X of Method 1) มีค่า $t = 0.856$ และค่านัยสำคัญ = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.10$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Robotec Survey System (Error X of Method 2) มีค่า $t = 0.822$ และค่านัยสำคัญ = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance Level) $\alpha = 0.10$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error X of Method 1) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 5.453 มิลลิเมตร และ ค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Robotec Survey System (Error X of Method 2) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 6.081 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี Robotec Survey System มีค่าต่างจากค่าสังเกต (7 มิลลิเมตร) มากกว่าวิธี Laser Theodolite and Target Unit

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาแกน X พบว่าวิธีการทำงานแบบ Robotec Survey System เป็นวิธีการทำงานที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการทำงานแบบ Laser Theodolite and Target Unit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One Sample Test) บนแกน Y

เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ที่ได้จากการทำงานทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Method 1) และ วิธี Robotec Survey System (Method 2) บนแกน Y มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตร หรือไม่ จะต้องทำการทดสอบดังนี้

สมมติฐาน $H_0: E_{y1} = E_{y2} = 7 \text{ มม.}$

$H_1: E_{y1} \neq E_{y2} \neq 7 \text{ มม.}$

One-Sample Statistics

	N	Mean (mm.)	Std. Deviation	Std. Error Mean
Error Y of Method 1	1180	5.1752	2.1441	4.1954
Error Y of Method 2	1484	2.2211	2.6694	6.9295

ตารางที่ 4.22 แสดงการทดสอบ One-Sample Statistics บนแกน Y

จากตารางที่ 4.22 สรุปค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ดังนี้

วิธี Laser Theodolite and Target Unit มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน=5.1752 มิลลิเมตร

วิธี Robotec Survey System มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน=2.2211 มิลลิเมตร

One-Sample Test

	Test value = 0.007					
	t	Df	Significant (2-tailed)	Mean Difference(mm.)	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower(mm.)	Upper(mm.)
Error Y of Method 1	5.055	1179	0.486	2.121	-2.944	1.298
Error Y of Method 2	0.969	1483	0.000	4.824	-6.768	5.841

ตารางที่ 4.23 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.23

เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y จากการดำเนินงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตรหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Y of Method 1) มีค่า $t = 5.055$ และค่านัยสำคัญ = 0.486 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ แสดงว่า ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าไม่แตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Robotec Survey System (Error Y of Method 2) มีค่า $t = 0.696$ และค่านัยสำคัญ = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ แสดงว่า ยอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 2 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

จากการทดสอบสมมติฐานของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Y of Method 1) และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Robotec Survey System (Error Y of Method 2) พบว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้ เนื่องจากเมื่อทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ การกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Y of Method 1) อยู่ในช่วงที่ปฏิเสธสมมติฐาน สังเกตได้จากค่าต่างจากค่าสังเกต = 2.121 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่นอกช่วงที่จะยอมรับสมมติฐาน (-2.944 มิลลิเมตร ถึง 1.298 มิลลิเมตร) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องทำการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.1$

One-Sample Test

	Test value = 0.007					
	t	Df	Sig. (2-tailed)	Mean difference	90% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Error Y of Method 1	1.264	1179	0.000	2.121E-03	-3.022E-03	2.557E-03
Error Y of Method 2	0.833	1483	0.000	4.824E-03	-7.237E-03	5.014E-03

ตารางที่ 4.24 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ที่ช่วงความเชื่อมั่น 90%

จากตารางที่ 4.24

เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y จากการดำเนินงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตรหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Y of Method 1) มีค่า $t=1.264$ และค่านัยสำคัญ $= 0.000$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha=0.10$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Robotec Survey System (Error Y of Method 2) มีค่า $t=0.833$ และค่านัยสำคัญ $= 0.000$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha=0.10$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Y of Method 1) มีค่าต่างจากค่าสังเกต $= 2.121$ มิลลิเมตร และ ค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Robotec Survey System (Error Y of Method 2) มีค่าต่างจากค่าสังเกต $= 4.824$ มิลลิเมตร ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าวิธี Robotec Survey System มีค่าต่างจากค่าสังเกต (7 มิลลิเมตร) มากกว่าวิธี Laser Theodolite and Target Unit

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาแกน Y วิธีการทำงานแบบ Robotec Survey System เป็นวิธีการทำงานที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการทำงานแบบ Laser Theodolite and Target Unit

4.8.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One Sample Test) บนแกน Z

เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ที่ได้จากการทำงานทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Method 1) และ วิธี Robotec Survey System (Method 2) บนแกน Z มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตร หรือไม่ จะต้องทำการทดสอบดังนี้

สมมติฐาน $H_0: E_{z1} = E_{z2} = 7 \text{ มม.}$

$H_1: E_{z1} \neq E_{z2} \neq 7 \text{ มม.}$

One-Sample Statistics

	N	Mean (mm.)	Std. Deviation	Std. Error Mean
Error Z of Method 1	1180	6.0411	2.5504	6.6206
Error Z of Method 2	1484	6.0071	2.6742	7.1048

ตารางที่ 4.25 แสดงการทดสอบ One-Sample Statistics บนแกน Z

จากตารางที่ 4.25 สรุปค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ดังนี้

วิธี Laser Theodolite and Target Unit มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน = 6.0411 มิลลิเมตร

วิธี Robotec Survey System มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน = 6.0071 มิลลิเมตร

One-Sample Test

	Test value = 0.007					
	t	Df	Significant (2-tailed)	Mean Difference(mm.)	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower(mm.)	Upper(mm.)
Error Z of Method 1	0.103	1179	0.921	5.411	-5.4500	4.6045
Error Z of Method 2	0.099	1483	0.033	6.708	-5.1306	6.7103

ตารางที่ 4.26 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.26

เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z จากการดำเนินงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตรหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Z of Method 1) มีค่า $t = 0.103$ และค่านัยสำคัญ = 0.921 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha=0.05$ แสดงว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าไม่แตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Robotec Survey System (Error Z of Method 2) มีค่า $t = 0.99$ และค่านัยสำคัญ = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha=0.05$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 2 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

จากการทดสอบสมมติฐานของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Z of Method 1) และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Robotec Survey System (Error Z of Method 2) พบว่าไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้ เนื่องจากเมื่อทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ พบว่าการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Z of Method 1) อยู่ในช่วงที่ปฏิเสธสมมติฐาน สังเกตได้จากค่าต่างจากค่าสังเกต = 5.411 มิลลิเมตร อยู่นอกช่วงที่จะยอมรับสมมติฐาน (-5.450 มิลลิเมตร ถึง 4.604 มิลลิเมตร) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องทำการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.1$

One-Sample Test

	Test value = 0.007					
	t	Df	Significant (2-tailed)	Mean Difference(mm.)	90% Confidence Interval of the Difference	
					Lower(mm.)	Upper(mm.)
Error Z of Method 1	0.097	1179	0.000	5.411	-5.260	5.877
Error Z of Method 2	0.078	1483	0.000	6.708	-6.226	6.861

ตารางที่ 4.27 แสดงการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ที่ช่วงความเชื่อมั่น 90%

จากตารางที่ 4.27

เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z จากการดำเนินงานโดยวิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System มีค่าเท่ากับ 7 มิลลิเมตรหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Z of Method 1) มีค่า $t = 0.097$ และค่านัยสำคัญ = 0.010 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.10$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Robotec Survey System (Error Z of Method 2) มีค่า $t = 0.078$ และค่านัยสำคัญ = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.10$ แสดงว่ายอมรับ H_1 ปฏิเสธ H_0 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการดำเนินงานโดยวิธี Method 1 มีค่าแตกต่างจาก 7 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Z of Method 1) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 5.411 มิลลิเมตร และ ค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Robotec Survey System (Error Z of Method 2) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 6.708 มิลลิเมตร ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าวิธี Robotec Survey System มีค่าต่างจากค่าสังเกต (7 มิลลิเมตร) มากกว่าวิธี Laser Theodolite and Target Unit

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาแกน Z วิธีการทำงานแบบ Robotec Survey System เป็นวิธีการวิธีการทำงานที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการทำงานแบบ Laser Theodolite and Target Unit

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8.4 สรุปการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One Sample Test)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 3 แกน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

4.8.4.1 เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error X of Method 1) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 5.453 มิลลิเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน X ของวิธี Robotec Survey System (Error X of Method 2) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 6.081 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี Robotec Survey System มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธี Laser Theodolite and Target Unit

4.8.4.2 เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Y of Method 1) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 2.121 มิลลิเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Y ของวิธี Robotec Survey System (Error Y of Method 2) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 4.824 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี Robotec Survey System มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธี Laser Theodolite and Target Unit

4.8.4.3 เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Laser Theodolite and Target Unit (Error Z of Method 1) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 5.411 มิลลิเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนบนแกน Z ของวิธี Robotec Survey System (Error Z of Method 2) มีค่าต่างจากค่าสังเกต = 6.708 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี Robotec Survey System มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธี Laser Theodolite and Target Unit

ดังนั้น เราสามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่า วิธีการทำงานแบบ Robotec Survey System (Method 2) เป็นวิธีการทำงานสำรวจที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า วิธีการ Laser Theodolite and Target Unit (Method 1)

4.9 การนำเสนอผลการวิจัย

การนำเสนอผลการวิจัยอยู่ในรูปแบบผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิตินำเสนอโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่นำมาใช้ในการจัดการข้อมูลแผนที่และเชื่อมโยงข้อมูลทางสถิติที่ได้จากการทดสอบ ในการวิจัยเลือกใช้โปรแกรม ArcView ที่มีความสามารถในการจัดการข้อมูลแผนที่และเชื่อมโยงข้อมูลทางสถิติ ซึ่งนำเสนอในช่วงที่นำข้อมูลทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

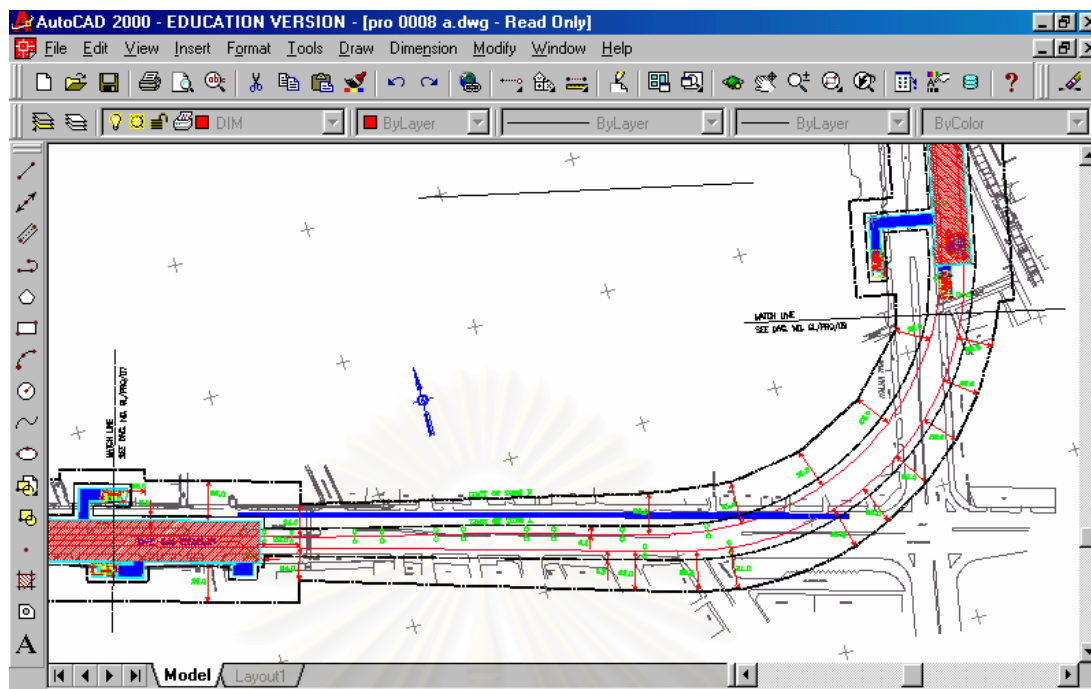
4.9.1 ข้อมูลเชิงแผนที่ ได้แก่ การแสดงตำแหน่งของแนวอุโมงค์ในช่วงที่นำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล แบ่งตามชั้นข้อมูลดังนี้

- 1) ชั้นข้อมูลแสดงตำแหน่งระหว่างสถานีในช่วงอุโมงค์ที่ทำการทดสอบ (Location Map)
- 2) ชั้นข้อมูลแสดงตำแหน่งทิศทางของแนวอุโมงค์ที่ทำการทดสอบ (Tunnel Route)
- 3) ชั้นข้อมูลแสดงตำแหน่งสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (Station)
- 4) ชั้นข้อมูลแสดงแนวเขตความปลอดภัยระบบรถไฟฟ้า (Protection Zone)

4.9.2 ข้อมูลเชิงบรรยาย ได้แก่ การนำเสนอค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งในช่วงที่นำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในรูปแบบของตารางแสดงค่าทางสถิติของแต่ละช่วงที่ทำการทดสอบโดยมีรายละเอียดค่าทางสถิติ ดังนี้

- 1) จำนวนของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ (N)
- 2) ค่าการคำนวณทางสถิติ Mean ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ
- 3) ค่าการคำนวณทางสถิติ Median ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ
- 4) ค่าการคำนวณทางสถิติ Skewness ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ
- 5) ค่าการคำนวณทางสถิติ Standard Error of Skewness ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ
- 6) ค่าการคำนวณทางสถิติ Kurtosis ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ
- 7) ค่าการคำนวณทางสถิติ Standard Error of Kurtosis ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ
- 8) ค่าการคำนวณทางสถิติ Minimum ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ
- 9) ค่าการคำนวณทางสถิติ Maximum ของช่วงข้อมูลที่ทำการทดสอบ

โดยฐานข้อมูลโครงการนั้นนำมาจากฐานข้อมูลในรูปแบบ AutoCAD Drawing (ดังรูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างข้อมูลในรูปแบบของ CAD Drawing

ในการทำวิจัยนั้นสร้างฐานข้อมูลโดยการสร้าง CAD Theme ที่มีลักษณะเหมือนกับ Feature Theme ในรูปแบบอื่นๆ ของ ArcView โดยวิธีการ load CAD Reader Extension ก่อน แล้วนำข้อมูลในรูปแบบของ CAD Drawing เข้ามาเป็น Theme ใน ArcView

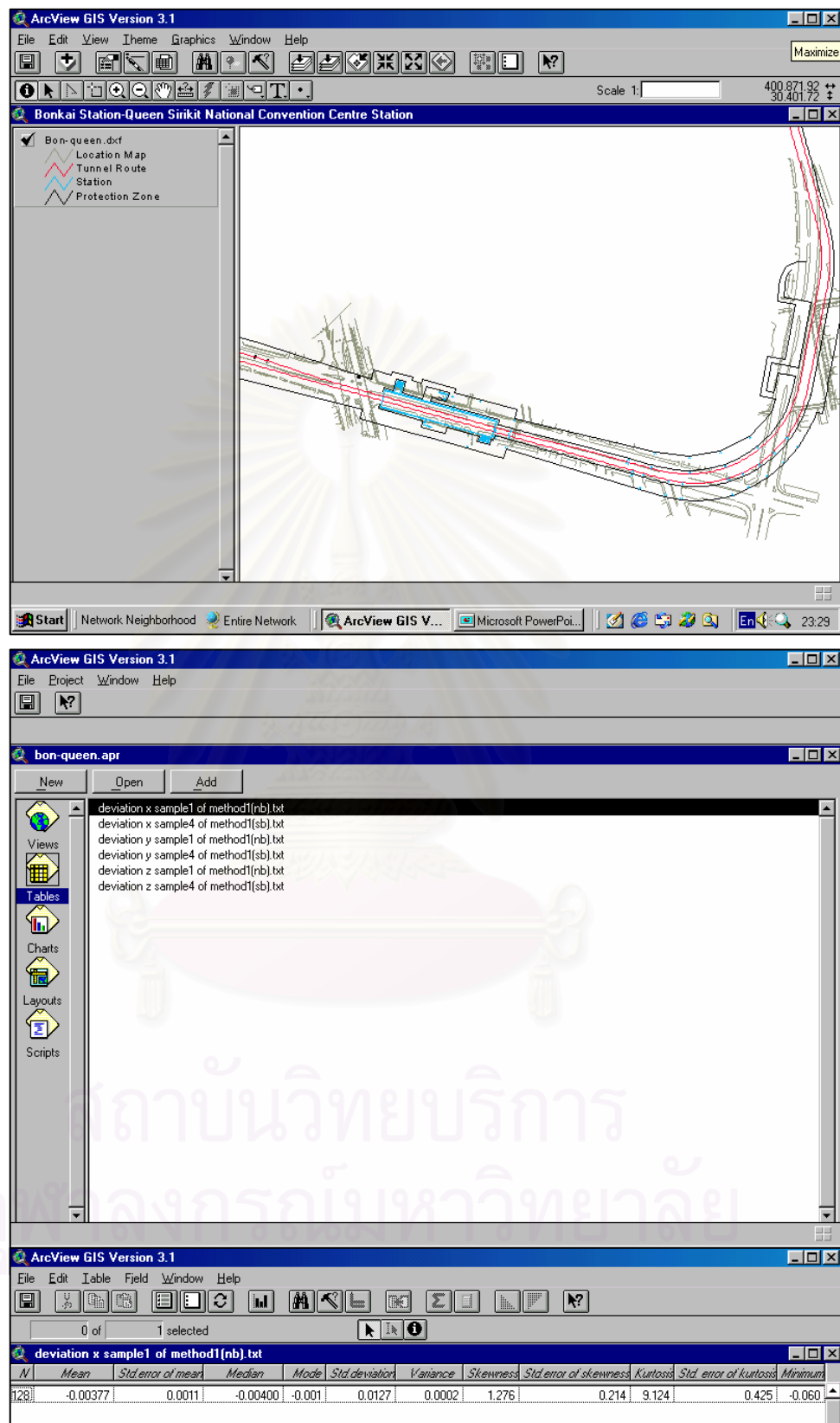
การนำเสนอผลการวิจัยในรูปแบบตารางแสดงผลการคำนวณค่าทางสถิติด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มีรายละเอียดแบ่งออกได้ดังนี้

1) วิธีการทำงานแบบ Laser Theodolite and Target Unit 6 ตำแหน่ง มีรายละเอียดดังนี้

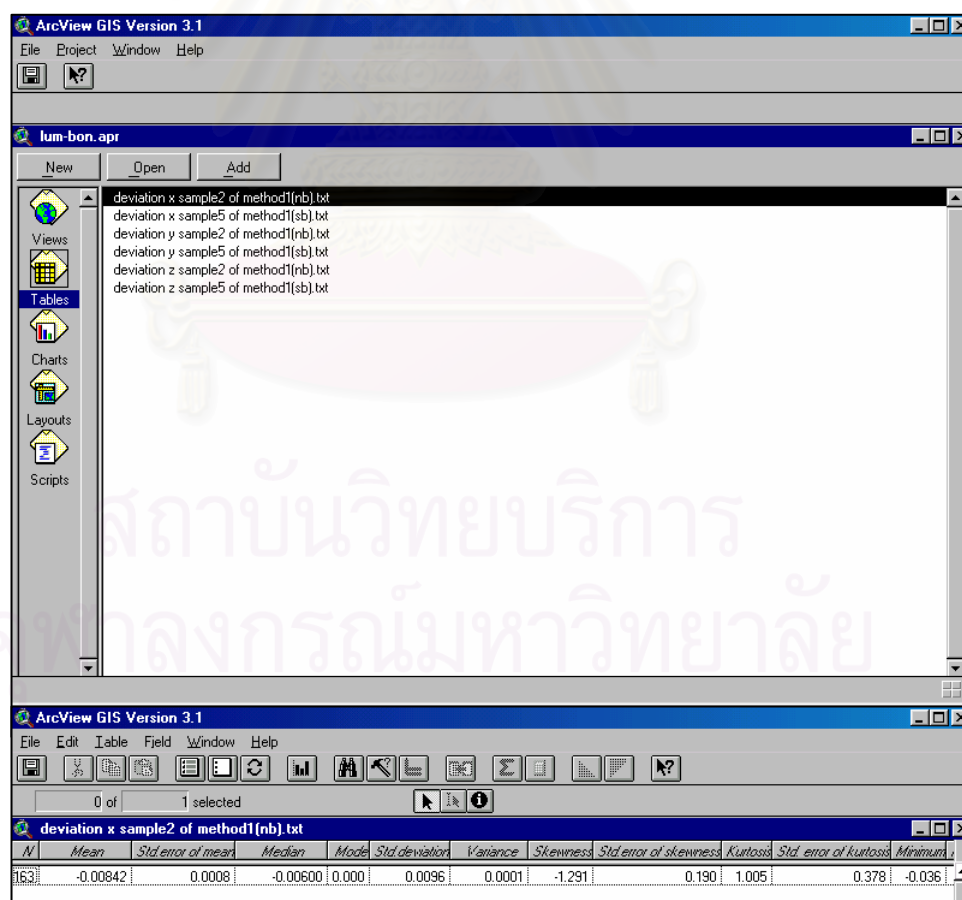
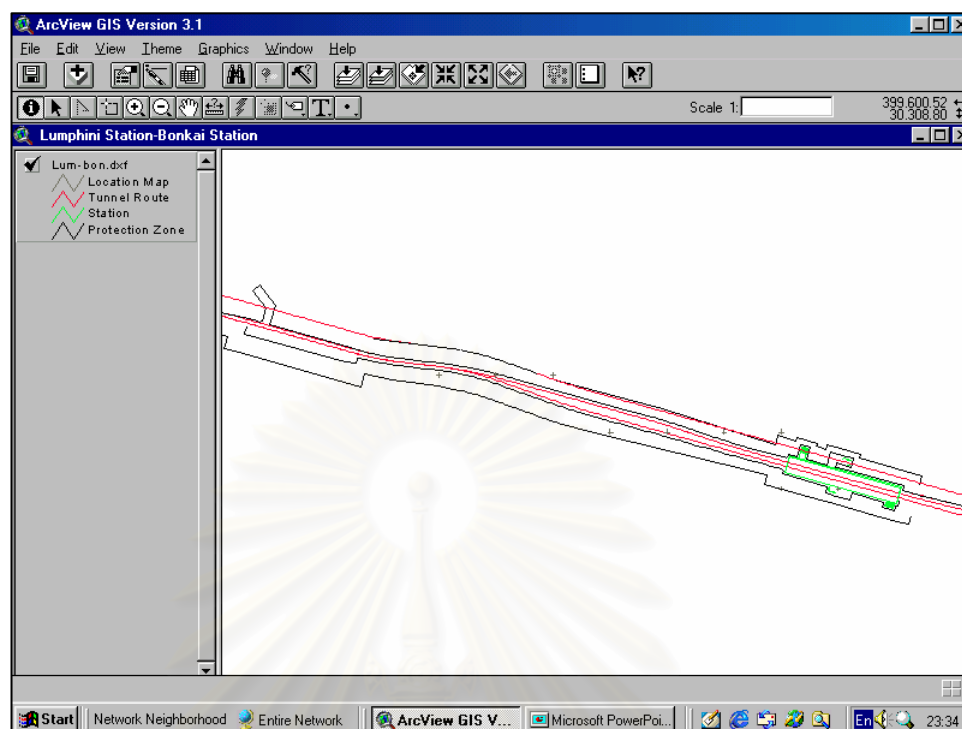
ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่ 2 ตำแหน่ง (ดังรูปที่4.12) ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไอกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินลุมพินี 2 ตำแหน่ง (ดังรูปที่4.13) และช่วงระหว่าง สถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสามย่านกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินหัวลำโพง 2 ตำแหน่ง (ดังรูปที่ 4.14)

2) วิธีการทำงานแบบ Robotec Survey System 6 ตำแหน่ง มีรายละเอียดดังนี้

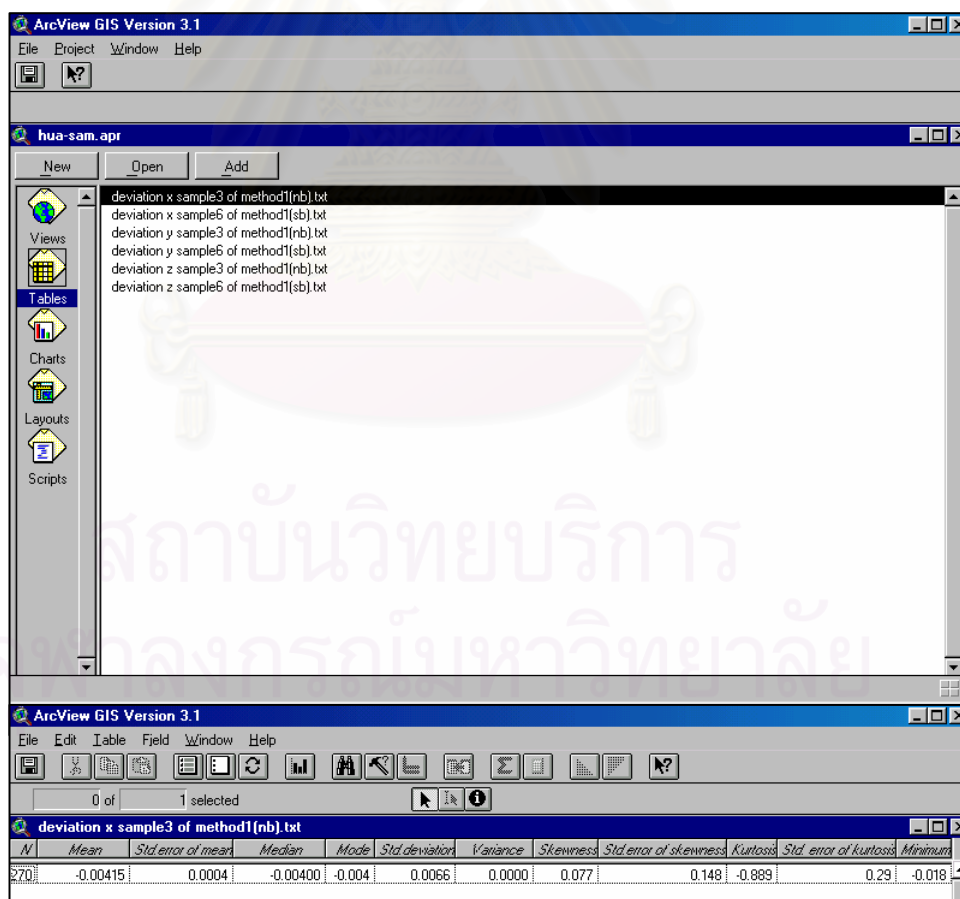
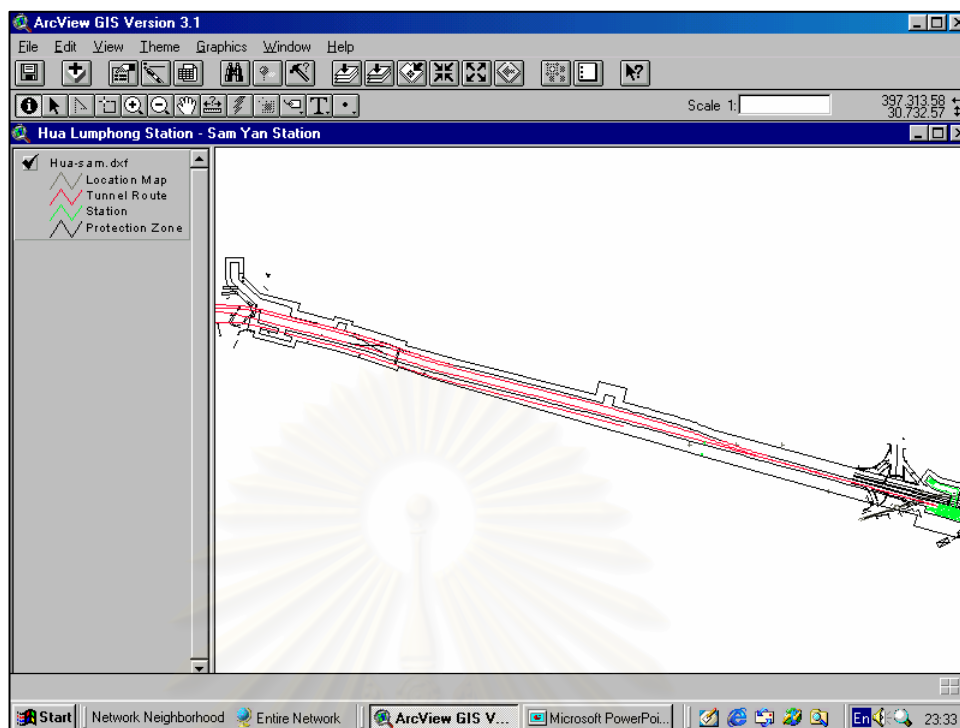
ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินพระราม9กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเพชรบุรี 2 ตำแหน่ง (ดังรูปที่4.15) ช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเพชรบุรีกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท 2 ตำแหน่ง (ดังรูปที่4.16) และช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิทกับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ 2 ตำแหน่ง (ดังรูปที่ 4.17)



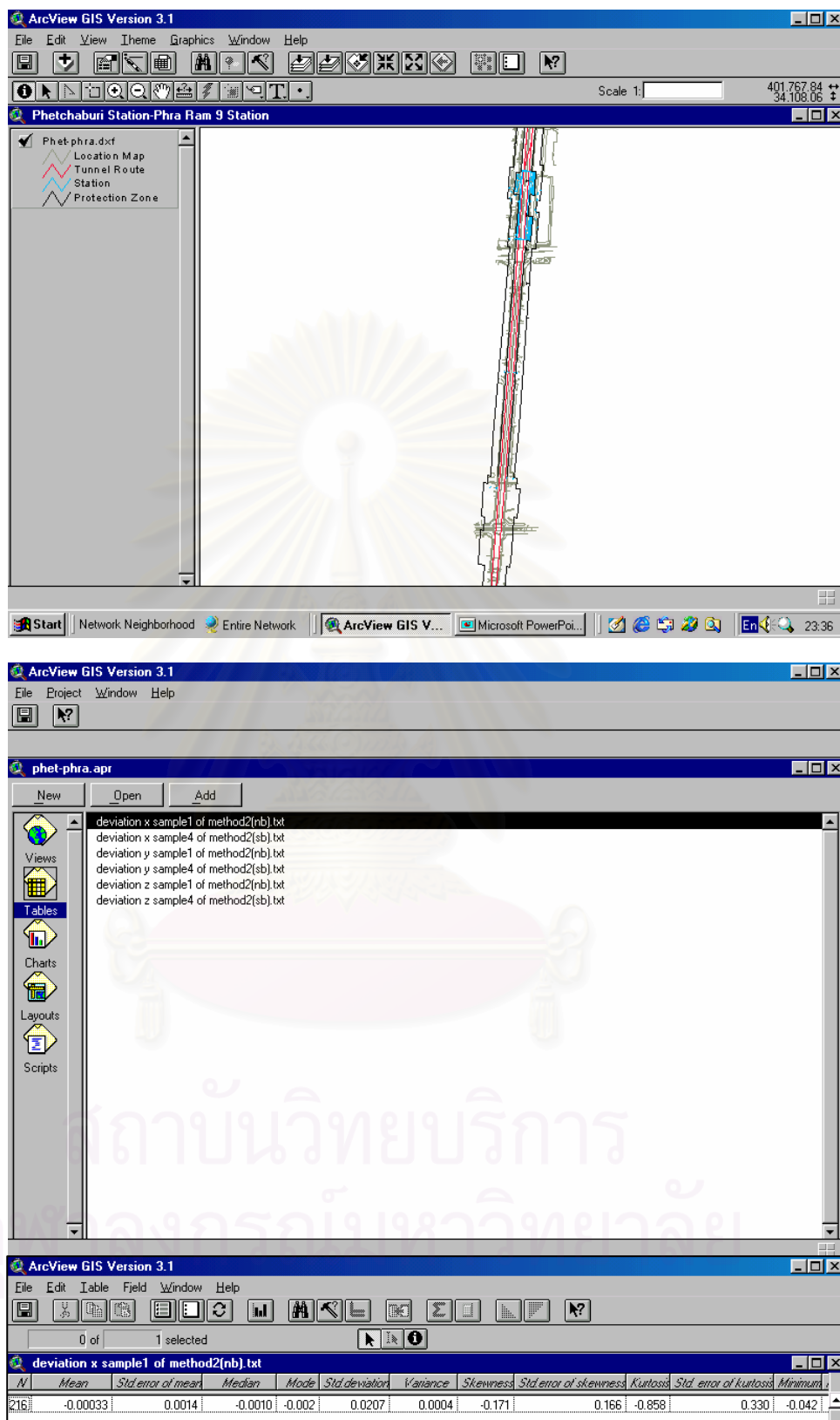
รูปที่ 4.12 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่ 2 ตำแหน่ง (Laser Theodolite and Target Unit)



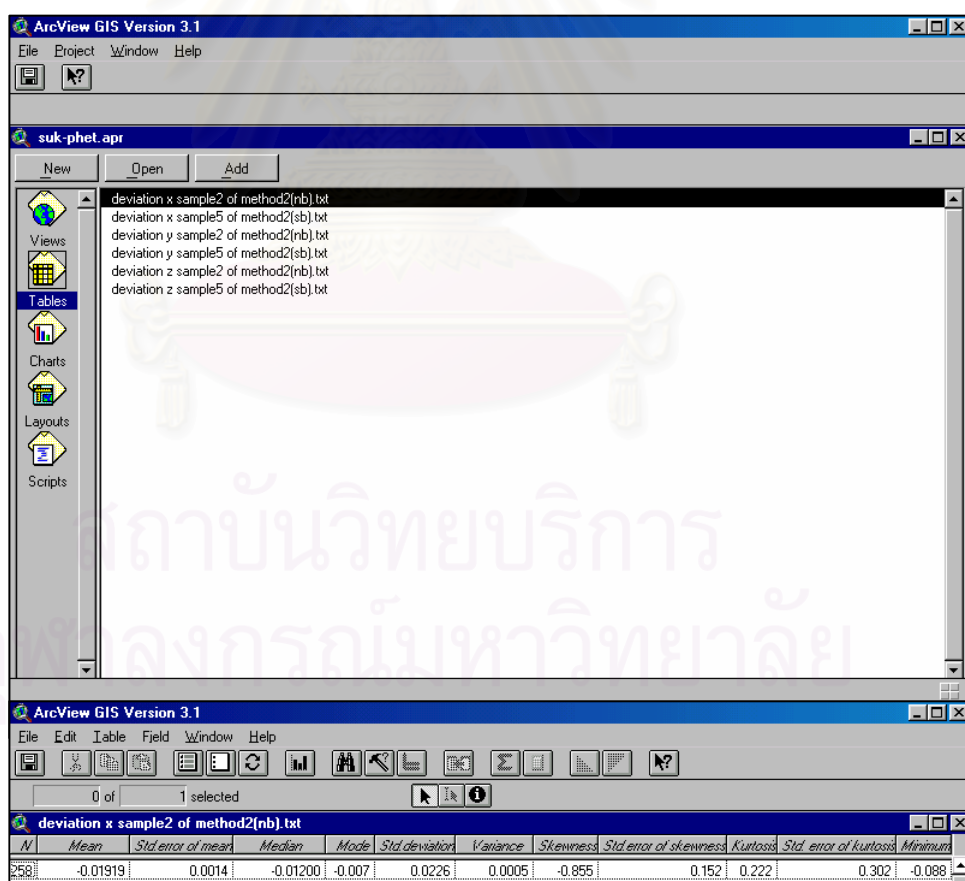
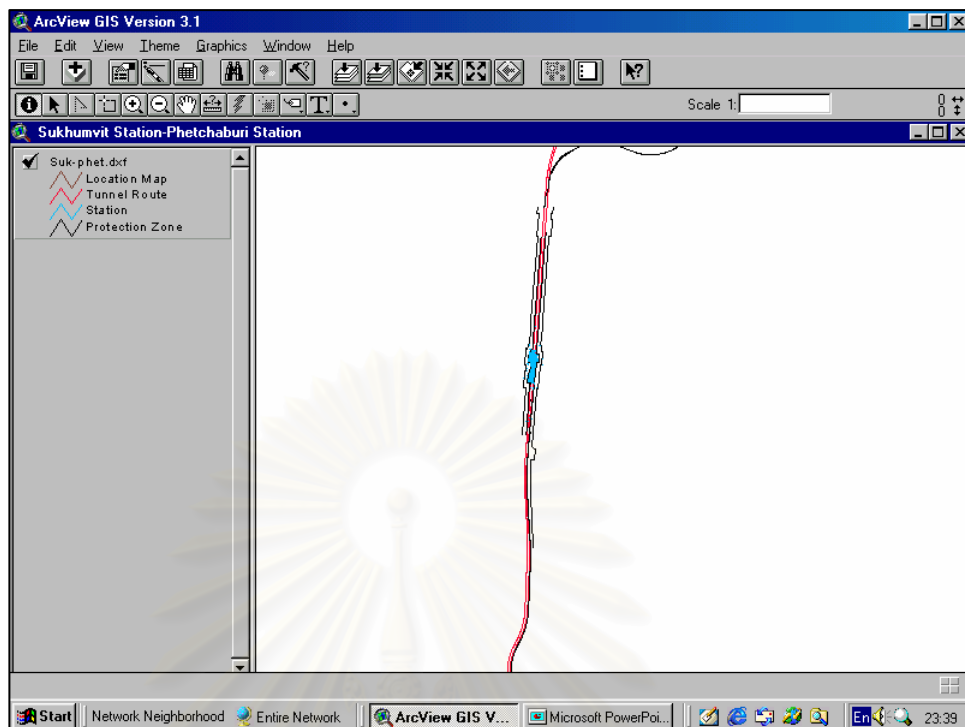
รูปที่ 4.13 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินบ่อนไก่กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินลุมพินี 2 ตำแหน่ง (Laser Theodolite and Target Unit)



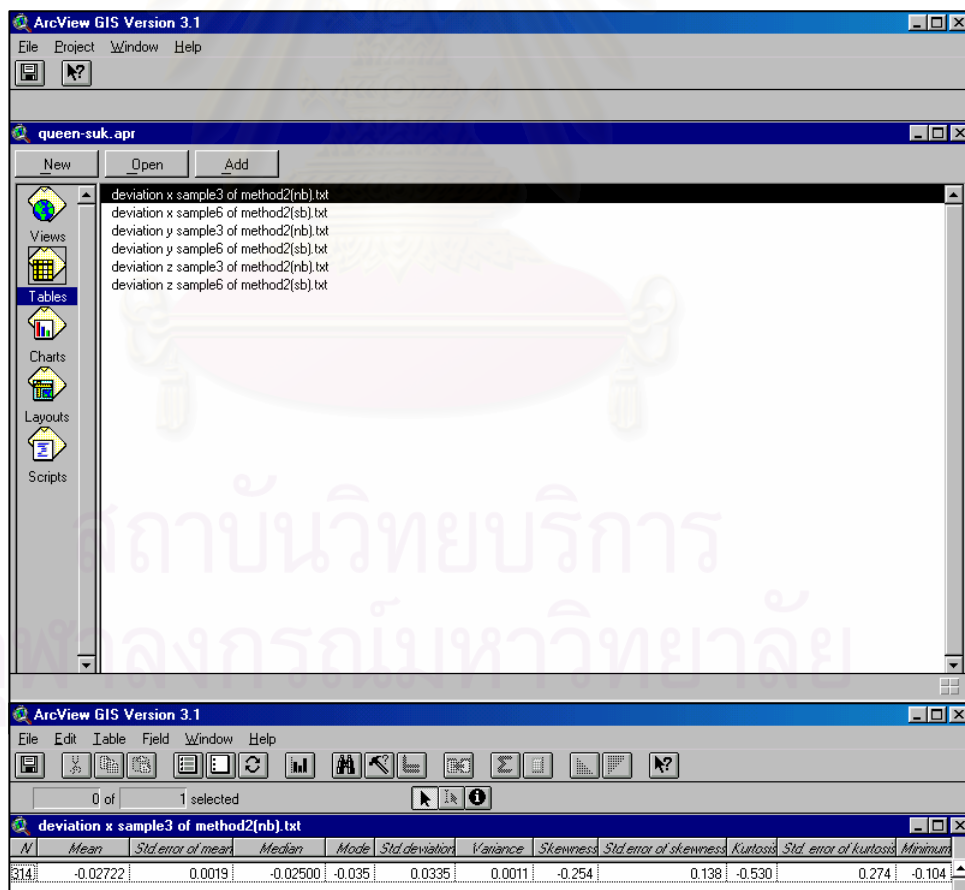
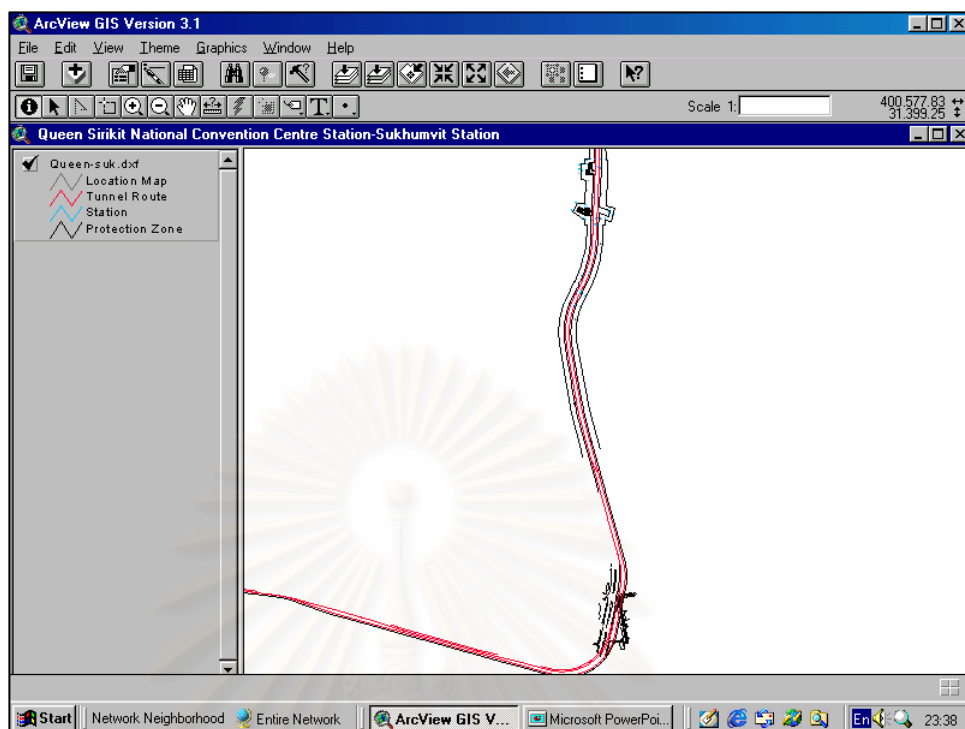
รูปที่ 4.14 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟใต้ดินสามย่าน กับสถานีรถไฟใต้ดินหัวลำโพง 2 ตำแหน่ง (Laser Theodolite and Target Unit)



รูปที่ 4.15 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟใต้ดินพระราม 9 กับสถานีรถไฟใต้ดินเพชรบุรี 2 ตำแหน่ง (Robotec Survey System)



รูปที่ 4.16 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินเพชรบุรี กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท 2 ตำแหน่ง (Robotec Survey System)



รูปที่ 4.17 แสดงการนำเสนอค่าทางสถิติช่วงระหว่างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสุขุมวิท กับสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ 2 ตำแหน่ง (Robotec Survey System)

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปงานวิจัย

จากการศึกษาวิจัยและเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ซึ่งเป็นระบบขนส่งมวลชนใต้ดินระบบแรกของประเทศไทยนั้น ทำให้มีการรวบรวมนิยามและทฤษฎีต่างๆในการทำงานสำรวจ ลำดับขั้นตอนในการทำงานสำรวจ การวางแผนการทำงานสำรวจ วิธีการทำงานสำรวจ ข้อกำหนดงานสำรวจ การประยุกต์วิธีการทำงานสำรวจ การตรวจสอบค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง และการควบคุมทิศทางการขุดเจาะอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย คือ วิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินได้ถูกรวบรวมไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยและค้นคว้าเชิงวิชาการต่อไป

การเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งในการทำงานสำรวจนั้น ผู้ศึกษาวิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลทางตำแหน่งของวิธีการทำงานสำรวจแบบ Laser Theodolite and Target Unit และแบบ Robotec Survey System โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลของวิธีการแบบ Laser Theodolite and Target Unit จำนวน 1,180 ข้อมูล และกลุ่มข้อมูลของวิธีการแบบ Robotec Survey Systems จำนวน 1,440 ข้อมูล และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลออกแบบในแต่ละวิธีการ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้ได้คำตอบว่า “วิธีการทำงานสำรวจวิธีใดมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่มากกว่าหรือมีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่น้อยกว่า” ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวได้มีการคำนวณหาค่าทางสถิติเบื้องต้นของกลุ่มข้อมูลตัวอย่างเพื่อให้ทราบถึงลักษณะข้อมูล การกระจายของข้อมูล ลักษณะแนวโน้มของข้อมูล ค่าเฉลี่ยและข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่าลักษณะของข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวอย่างนั้นมีลักษณะการกระจายของข้อมูลและมีคุณสมบัติต่างๆที่มีค่าใกล้เคียงกัน

จากการคำนวณค่าทางสถิติเบื้องต้นของกลุ่มข้อมูลตัวอย่างนั้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาทดสอบวิเคราะห์โดยการตั้งสมมติฐานเบื้องต้นและการวิเคราะห์สมมติฐานเพื่อทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง แล้วจึงพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มข้อมูล (Compare Mean) และทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (One Sample Test) เพื่อทดสอบ

สมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance Level) ที่ $\alpha = 0.05$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% และทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.1$ หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 90% เพื่อทดสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำงานสำรวจวิธีใดมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่ากันหรือวิธีการทำงานสำรวจวิธีใดเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับการทำงานสำรวจเพื่อการขุดเจาะอุโมงค์สำหรับรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทยมากกว่ากัน โดยกำหนดจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการทำงานสำรวจ คือ ไม่เกิน 7 มิลลิเมตรของสัญญาการออกแบบและการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ในที่นี้การพิจารณาข้อมูลเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุดจะพิจารณาเปรียบเทียบการทดสอบแยกในแต่ละแกนของแต่ละวิธีการ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลทางตำแหน่งค่าพิกัดบนแกน X Y และ Z โดยวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินทั้งสองวิธี คือ วิธีการแบบ Laser Theodolite and Target Unit และวิธีการแบบ Robotec Survey System และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในการออกแบบในแต่ละวิธีการข้างต้นสรุปได้ว่า

เมื่อพิจารณาแกน X พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของแกน X โดยวิธีการแบบ Laser Theodolite and Target Unit (Error X of Method 1) จะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากค่าสังเกต 7 มิลลิเมตร (Mean Difference) เท่ากับ 5.453 มิลลิเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของแกน X โดยวิธีการแบบ Robotec Survey System (Error X of Method 2) จะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากค่าสังเกต 7 มิลลิเมตร เท่ากับ 6.081 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาแกน Y พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของแกน Y โดยวิธีการแบบ Laser Theodolite and Target Unit (Error Y of Method 1) จะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากค่าสังเกต 7 มิลลิเมตร เท่ากับ 2.121 มิลลิเมตรและค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของแกน Y โดยวิธีการแบบ Robotec Survey System (Error Y of Method 2) จะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากค่าสังเกต 7 มิลลิเมตร เท่ากับ 4.824 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาแกน Z พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของแกน Z โดยวิธีการแบบ Laser Theodolite and Target Unit (Error Z of Method 1) จะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากค่าสังเกต 7 มิลลิเมตร เท่ากับ 5.411 มิลลิเมตรและค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของแกน Z โดยวิธีการ

แบบ Robotec Survey System (Error Z of Method 2) จะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากค่าสังเกต 7 มิลลิเมตร เท่ากับ 6.718 มม.

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดินด้วยวิธีการแบบ Robotec Survey System (Method 2) เป็นวิธีการทำงานที่มีความเหมาะสมกับการทำงานสำรวจเพื่อการขุดเจาะอุโมงค์สำหรับรถไฟใต้ดิน

เมื่อพิจารณาวิธีการแบบ Robotec Survey System พบว่าเป็นวิธีการทำงานสำรวจที่ใช้หลักการในการทำงานโดยอาศัยการคำนวณหาค่าพิกัด ซึ่งใช้เข็มทิศไจโรที่ติดตั้งอยู่ภายในหัวขุดเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine Built in Gyro Compass) ร่วมกับกล้องรังวัด (Motorized Theodolite) และระบบนี้จะดำเนินการด้วยกล้องสำรวจอัตโนมัติ (Fully Robotic Total Station Telescope) โดยมีเป้าหมายที่เป้ารับสัญญาณ (Remote-Target Reflector) และเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่ใช้กับเป้ารับสัญญาณ จะเป็นปริซึม (Spectra Precision RMT Prism) ทั้งนี้กล้องอัตโนมัติจะทำการค้นหาเป้าหมายอัตโนมัติทำให้มีความถูกต้องในการทำงานสูง โดยระบบจะเริ่มดำเนินการทันทีที่หัวขุดเจาะเริ่มทำงาน ซึ่งระบบจะเชื่อมต่อกับระบบควบคุมคำนวณหาตำแหน่งทั้งแนวราบและแนวดิ่งในตำแหน่งศูนย์กลางของอุโมงค์และปรับเปลี่ยนแนวการขุดให้อยู่ในค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนด ซึ่งจะเกิดความผิดพลาดในการทำงานน้อยมาก เนื่องจากทุกขั้นตอนการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติทั้งหมดจึงทำให้หมดปัญหาที่อาจจะเกิดจากการทำงานของมนุษย์ จึงทำให้วิธีการทำงานดังกล่าวเป็นวิธีที่มีความเที่ยงตรง แม่นยำ และมีความถูกต้องสูง

เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนใน 2 วิธีการดังกล่าวแล้วพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนทั้ง 2 วิธีนั้นไม่เกินข้อกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการทำงานสำรวจ คือ ไม่เกิน 7 มิลลิเมตร ของสัญญาณการออกแบบและการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการทำงานสำรวจทั้ง 2 วิธีสามารถนำมาปรับใช้ได้สำหรับการทำงานสำรวจในประเทศไทย นอกจากนี้การศึกษาวิจัยทำให้เราทราบว่าวิธีการที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าจะเป็นวิธีการทำงานสำรวจที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากการทำงานในภาคสนามจะมีการปรับแก้ข้อมูลน้อยมาก ทำให้ประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย รวมถึงบุคลากรในการทำงาน ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้จะสามารถนำมาศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟใต้ดินและนำไปใช้ในการพัฒนาวิธีการทำงานสำรวจต่อไป ซึ่งจะสามารถเป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการทำงานสำรวจและเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจในการเลือกใช้วิธีการทำงานที่เหมาะสมต่อไปในอนาคต

การวิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางตำแหน่งด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยโปรแกรม Arc View ในช่วงที่นำข้อมูลมาทำการทดสอบในรูปแบบที่แสดงตำแหน่งของแนวอุโมงค์ ในช่วงที่นำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายเฉลิมรัชมงคล และ ข้อมูลเชิงบรรยายในรูปแบบตารางแสดงค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ในช่วงที่นำข้อมูลมาทดสอบ ค่าทางสถิติ ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้ามาประยุกต์ใช้ในการทำงานสำรวจ เพื่อก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินหรืองานขุดเจาะอุโมงค์ในลักษณะต่างๆ ต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทำงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้วิธีการที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจจะนำข้อมูลจากการทำงานในการขุดเจาะอุโมงค์ในต่างประเทศมาเปรียบเทียบ

5.2.2 ในการวิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลทางตำแหน่งมาสำรวจ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ผลนั้นมีจำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการศึกษาวิจัยได้ ดังนั้น หากมีผู้สนใจทำการศึกษาวิจัยในเรื่องดังกล่าวแล้วควรนำข้อมูลทั้งหมดของโครงการมาศึกษาจะสามารถได้ผลการวิเคราะห์ที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยจะสามารถพัฒนางานวิจัยต่อไปได้ในอนาคต

5.2.3 ควรจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ของประเทศไทยต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

องค์การรถไฟฟ้ามหานคร สำนักนายกรัฐมนตรื. *การออกแบบและก่อสร้างอุโมงค์*. องค์การรถไฟฟ้ามหานคร และกลุ่มบริษัทที่ปรึกษา, 2540.

ธวัชชัย งามสันติวงศ์. *หลักและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่อการวิจัย (SPSS FOR WINDOWS)*, 2543.

ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์. *การประยุกต์ทฤษฎีความน่าจะเป็นและสถิติในงานวิศวกรรมโยธา*. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. มีนาคม, 2526.

รศ.มัลลิกา บุญนาค, รศ.กัลยา ครองแก้ว, รศ.วีชราภรณ์ สุริยาภิวฒน์, รศ.นพรัตน์ รุ่งอุทัยศิริ. *สถิติ*. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ภาษาอังกฤษ

William E. Huxhold. *An introduction to urban Geographic Information Systems*. Oxford University Press, 1991.

Jack R.Benjamin, C.Allin Cornell. *Probability,Statistics and Decision for Civil Engineers*. MacGraw-Hill Book Company.

Mass Rapid Transit Authority of Thailand. *Method Statement for TUNNEL SURVEYING*. Prepare by ION Joint Venture, 1997.

Mass Rapid Transit Authority of Thailand. *Method Statement For EXCAVATION FOR TUNNELING WORK*. Prepare by ION Joint Venture, 1997.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รูปที่ ก.1 แสดงข้อกำหนดของงานวงรอบซึ่งกำหนดขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1974 (อเมริกา)

Classifications	งานชั้นที่1	งานชั้นที่2		งานชั้นที่3				
		Class I	Class II	Class I	Class II			
1. ระยะของหมุดวงรอบ	สำหรับโครงข่ายห่างกัน 10-15กม.งานสำรวจ อื่นๆไม่น้อยกว่า 3 กม.	หมุดของวงรอบห่างกันไม่น้อยกว่า 4 กม.เว้นแต่ในเขตเมืองความห่างของหมุด 0.3 กม.	หมุดของวงรอบห่างกันไม่น้อยกว่า 2 กม.เว้นแต่ในเขตเมืองความห่างของหมุด 0.2 กม.	หมุดของวงรอบห่างกันไม่น้อยกว่า 0.1 กม.เว้นแต่ในเขตเมืองก็แล้วแต่ความเหมาะสมของงานนั้นๆ				
2. การวัดมุมหรือทิศทาง	<ul style="list-style-type: none"> กล้องที่ใช้ต้องอ่านได้ จำนวนศูนย์กลางกล้อง ความผิดที่ต่างจากค่าเฉลี่ยที่จะต้องตัดทิ้ง 	$0.2''$ 16 $4''$	$0.2''$ 8 $4''$	$1.0''$ 12 $5''$	$0.2''$ 6 $4''$	$1.0''$ 8 $5''$	$1.0''$ 4 $5''$	$1.0''$ 2 $5''$
3. การวัดระยะ :- Standard error	1 ใน 600,000	1 ใน 300,000	1 ใน 120,000	1 ใน 60,000	1 ใน 30,000			
4. การส่องมุมสูงแบบสวนกลับ	<ul style="list-style-type: none"> จำนวนและความแตกต่างที่ยอมให้ จำนวนหมุด ที่อยู่ระหว่างหมุดที่รู้ค่าระดับ 	$3 D / R - 10''$ $4 - 6$	$3 D / R - 10''$ $6-8$	$2 D / R - 10''$ $8-10$	$2 D / R - 10''$ $10-15$	$3 D / R - 20''$ $15-20$		
5. การส่อง Azimuth	<ul style="list-style-type: none"> จำนวนกล้องที่ต้องส่อง Azimuth ตรวจจลอบ จำนวนจุดที่ต้องส่องต่อคืน จำนวนคืนที่ต้องส่อง Standard error ผลต่างของ Azimuth เข้าบรรจบกับ Azimuth ดัก 	$5-6$ 16 2 $0.45''$ $1''$ ต่อหมุดหรือ $2''\sqrt{N}$	$10-12$ 16 2 $0.45''$ $1.5''$ ต่อหมุดหรือ $3''\sqrt{N}$ พื้นที่สำรวจในเมืองจะต้องไม่เกิน $4''$ ต่อหมุดหรือ $8''\sqrt{N}$	$15-20$ 12 1 $1.5''$ $2''$ ต่อหมุดหรือ $6''\sqrt{N}$ พื้นที่สำรวจในเมืองจะต้องไม่เกิน $4''$ ต่อหมุดหรือ $8''\sqrt{N}$	$20-25$ 8 1 $3''$ $3''$ ต่อหมุดหรือ $10''\sqrt{N}$ พื้นที่สำรวจในเมืองจะต้องไม่เกิน $6''$ ต่อหมุดหรือ $15''\sqrt{N}$	$30-40$ 4 1 $8''$ $8''$ ต่อหมุดหรือ $30''\sqrt{N}$		
6. ความผิดพลาดทางระยะบรรจบหลังจากปรับแก้ Azimuth แล้วจะต้องไม่เกิน	$0.04\sqrt{K}$ ม. หรือ 1:100,000	$0.08\sqrt{K}$ ม. หรือ 1:50,000	$0.2\sqrt{K}$ ม. หรือ 1:20,000	$0.04\sqrt{K}$ ม. หรือ 1:10,000	$0.8\sqrt{K}$ ม. หรือ 1:5,000			

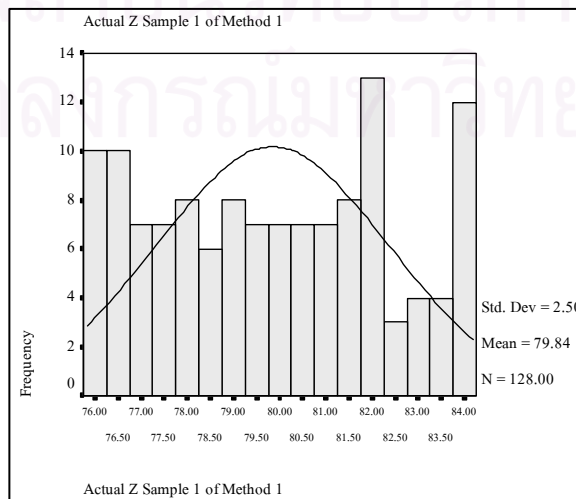
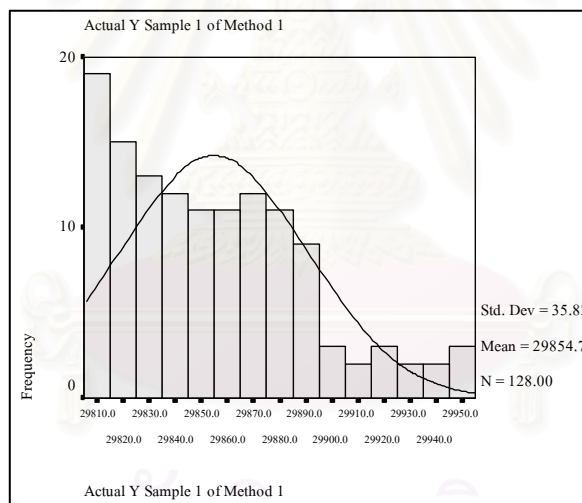
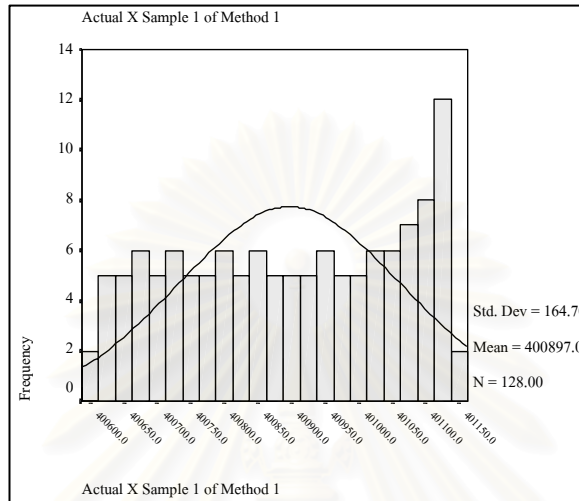
รูปที่ ก.2 แสดงข้อกำหนดของงานระดับ ซึ่งกำหนดขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1974(อเมริกา)

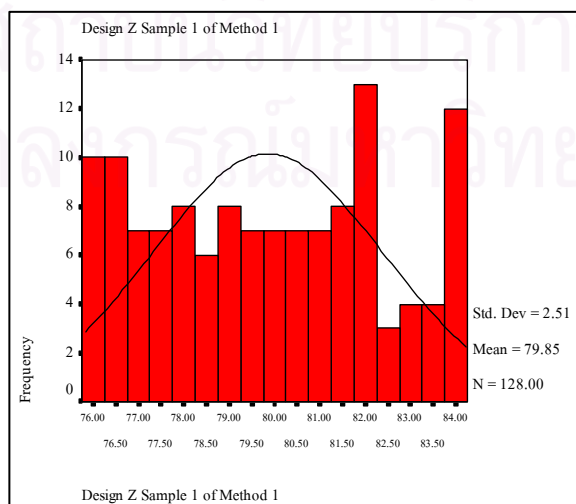
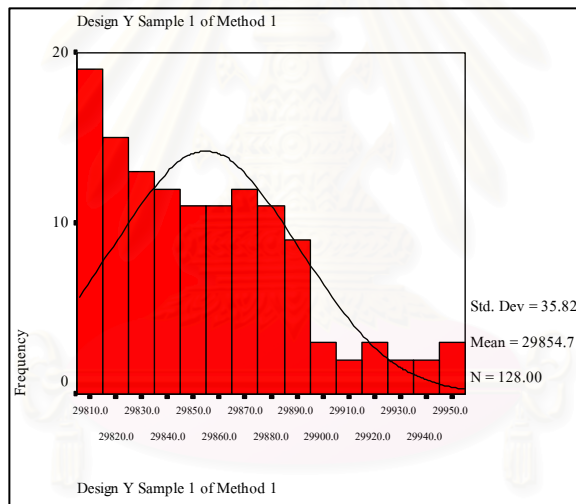
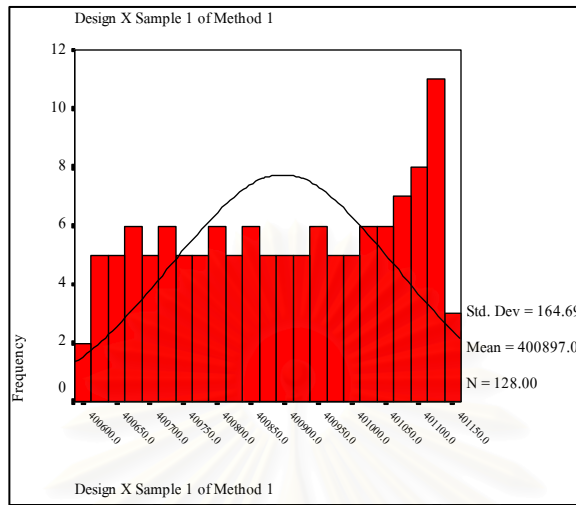
Classification	งานชั้นที่1(First order)		งานชั้นที่2 (Second order)		งานชั้นที่3 (Third order)
	Class I	Class II	Class I	Class II	
1. หลักการใช้ มาตรฐานขั้นต่ำ;ความ ละเอียดมากอาจใช้กับงาน สำรวจที่มีวัตถุประสงค์พิเศษ	ใช้ทำโครงข่ายระดับของงาน ระดับชาติและพื้นที่ในเมืองการหา Geopotential values การสำรวจการ หลุดตัวของพื้นที่โครงการงาน วิศวกรรมที่สำคัญ		ใช้ทำหมุดบังคับทางตั้งชั้นสอง ของประเทศ และพื้นที่ในเมือง โครงการวิศวกรรมขนาดใหญ่ ตลอดจนสำรวจการหลุดตัว	ใช้กับงานวิศวกรรมในท้องถิ่น งานทำแผนที่ภูมิประเทศ และ เพื่อใช้ทำงานชั้น3 การปรับ จะต้องปรับเข้ากับโครงข่ายของ ประเทศ	ใช้ในงานเฉพาะท้องถิ่น อาจไม่ปรับเข้ากับโครงข่าย ของประเทศ ใช้ในงาน วิศวกรรมขนาดเล็กทำแผนที่ ภูมิประเทศที่ใช้มาตรา ส่วนเล็ก การศึกษาการ ระบายน้ำ
2. ความยาวของสายการระดับ • โครงข่ายทั่วประเทศ • การทำหมุดบังคับในเมือง	Net A : 100-300 กม. Class I. Net B : 50-100 กม. Class II. 2-8 กม.		0.5-1กม.	ตามที่ต้องการ	ตามที่ต้องการ
3. ระยะของหมุดBM	1-3 กม.		1-3กม.	ไม่เกิน 3 กม.	ไม่เกิน 3 กม.
4. Gravity Requirement	0.2 x 10 ⁻³ gpu		-	-	-
5. มาตรฐานของเครื่องมือ	Automatic หรือ Tiling Level ประกอบ Parallel Plate Micrometer และ Invar staff		Automatic หรือ Tiling Level ประกอบ Optical micrometer หรือทำระดับ 3สายใย ประกอบ Invar staff	Geodetic LevelและInvar staff	Geodetic Levelและ staff ธรรมดา
6. วิธีปฏิบัติในสนาม • ความยาวของตอน ระดับ • ระยะจากกล้องไปยัง staff • ความแตกต่างของ ระยะทางBS และ FS ในการตั้งกล้อง • ในการตั้งกล้องแต่ละ ครั้ง • ในแต่ละตอนการระดับ	ถ่ายไปกลับ (Double run) ในแต่ละ ตอนการระดับ(Section) 1-2 กม. Class I 50 ม. Class II 60ม. Class I 2 ม. Class II 5 ม. Class I 4 ม. Class II 10ม.		ถ่ายไปกลับ (Double run) ใน แต่ละตอนการระดับ 1-2 กม. 60ม. 5ม. 10ม.	ถ่ายไปกลับหรือเฉพาะไป 1-3 กม.สำหรับถ่ายไปกลับ 70ม. 10ม. 10ม.	ถ่ายไปกลับหรือเฉพาะไป 1-3 กม.สำหรับถ่ายไปกลับ 90ม. 10ม. 10ม.
7. ความยาวของสายการระดับ ที่ยอมให้ระหว่างหมุดเข้า บรรจบ	Net A 300กม. Net B 100กม.		50กม.	50 กม. ถ่ายไปกลับ 25 กม.เฉพาะถ่ายไป	25 กม. ถ่ายไปกลับ 10 กม.เฉพาะถ่ายไป
8. ความผิดในการเข้าบรรจบ • ตอนการระดับระหว่าง ถ่ายไปและถ่ายกลับ • สายการระดับหรือ วงรอบปิด	Class I 3√K มม. Class II 4√K มม. Class I 4√K มม. Class I 4√K มม. Class I 5√K มม.		6√K มม. 6√K มม.	8√K มม. 8√K มม.	12√K มม. 12√K มม.

หมายเหตุ K มีหน่วยเป็น กม. ข้อกำหนดนี้เป็นข้อกำหนดที่กำหนดขึ้นมาใหม่ และใช้กันทั่วไป ข้อกำหนดเก่าๆได้ยกเลิกแล้ว

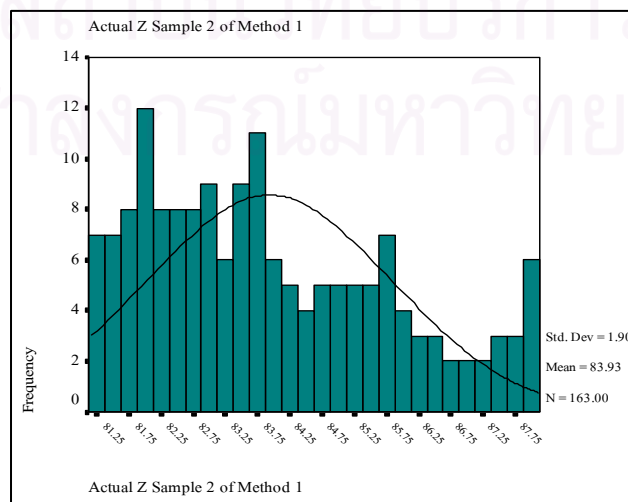
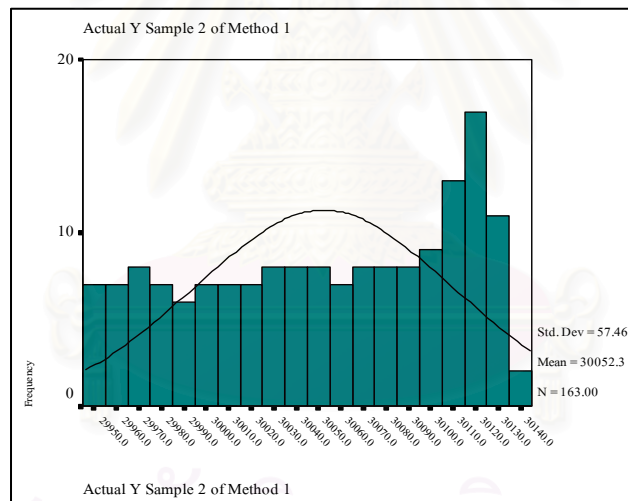
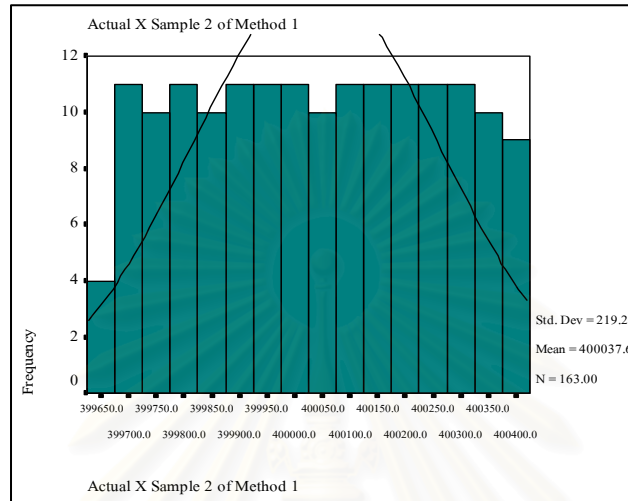
ภาคผนวก ข

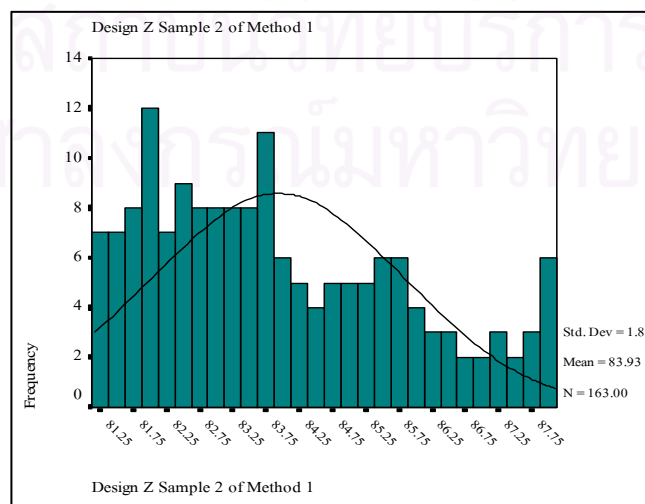
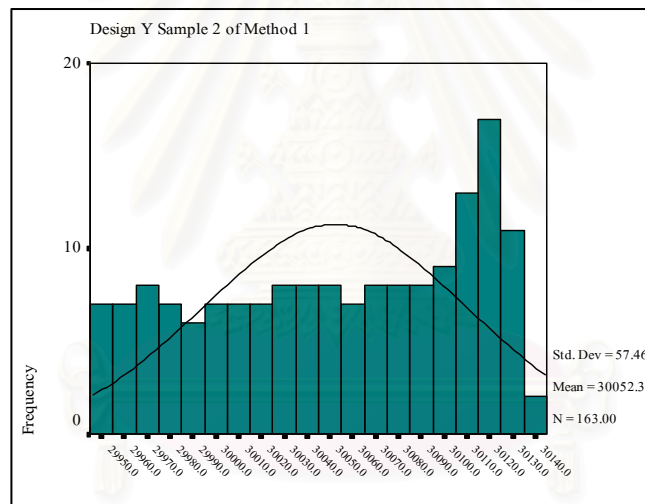
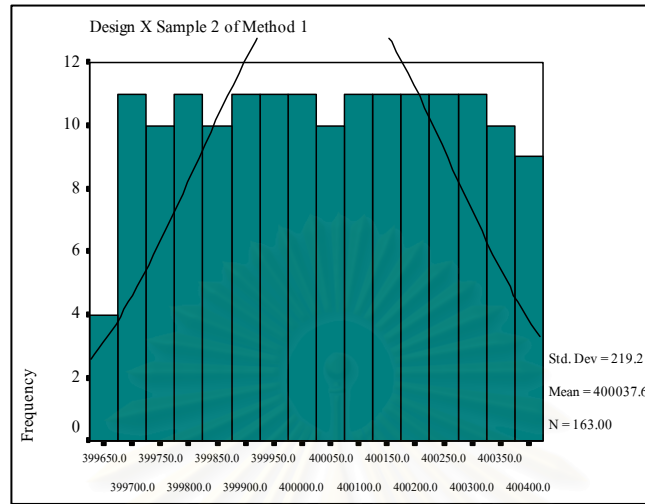
รูปที่ ข.1 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 วิธี Laser Theodolite and Target Unit



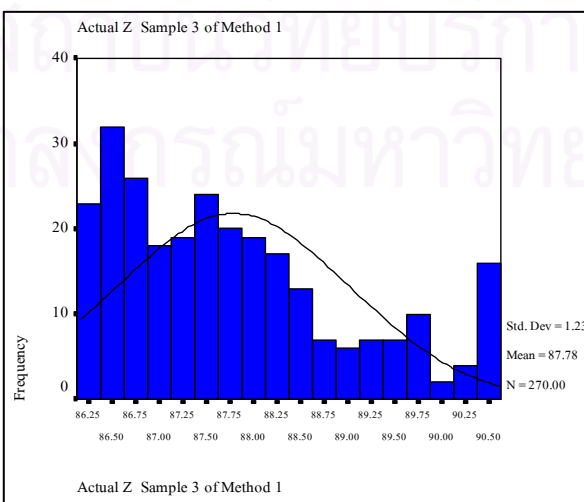
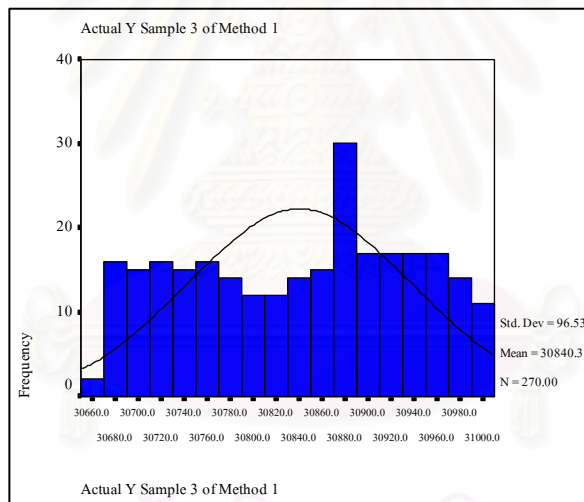
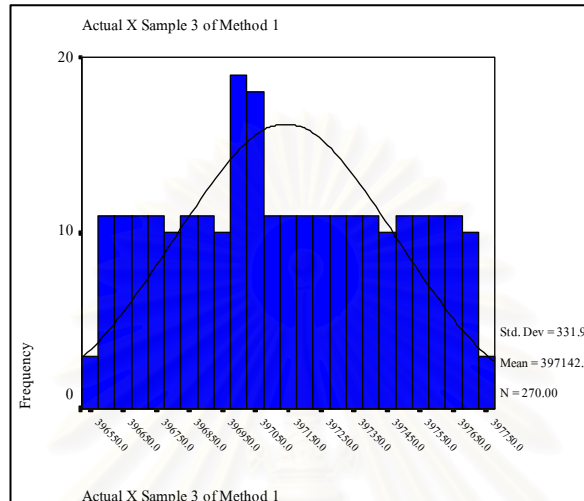


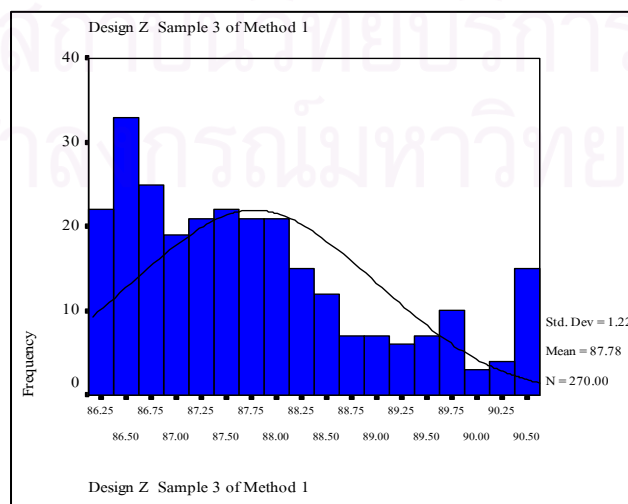
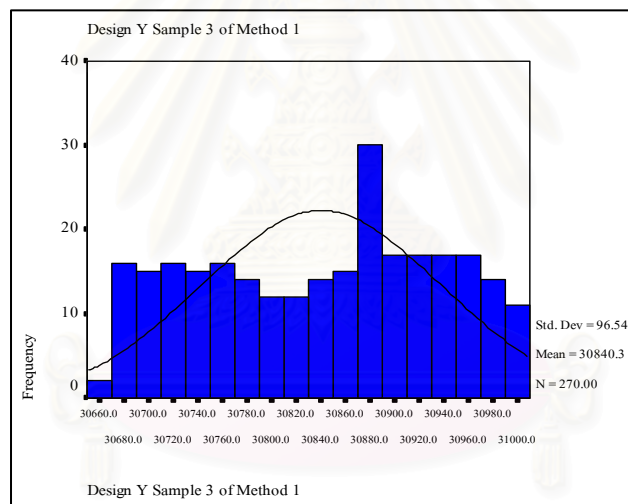
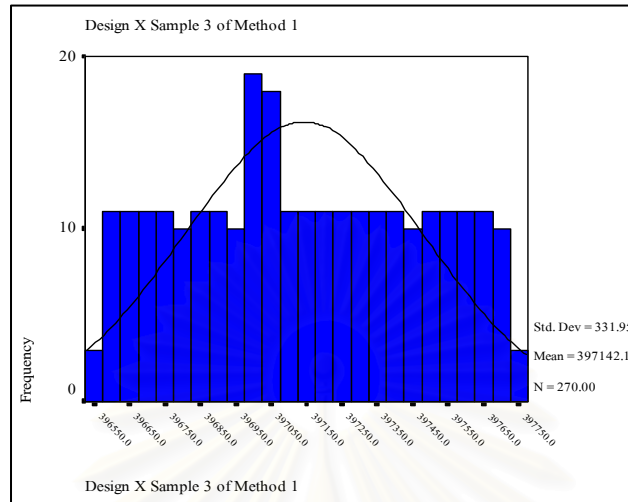
รูปที่ ข.2 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่2 วิธีLaser Theodolite and Target Unit



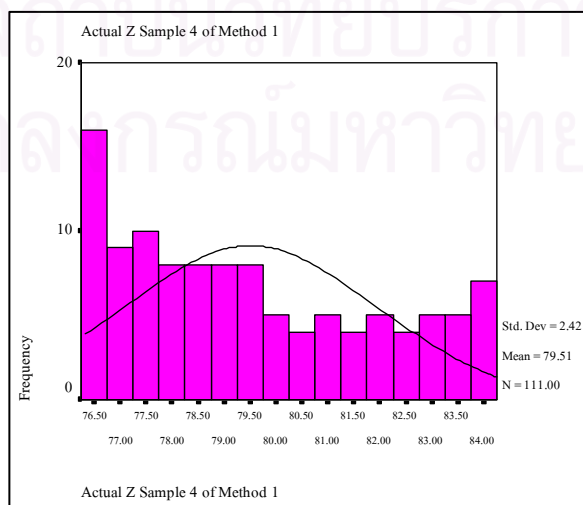
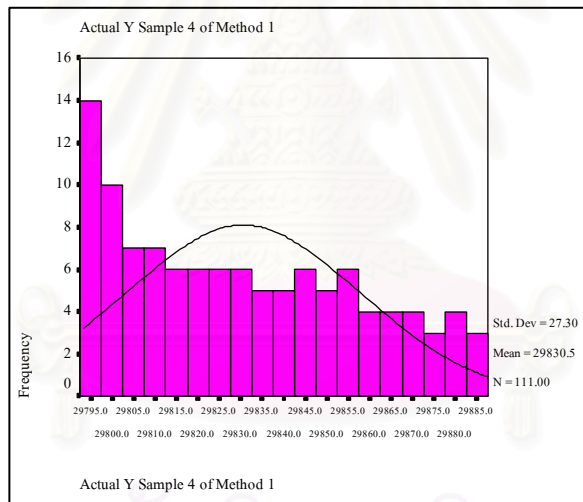
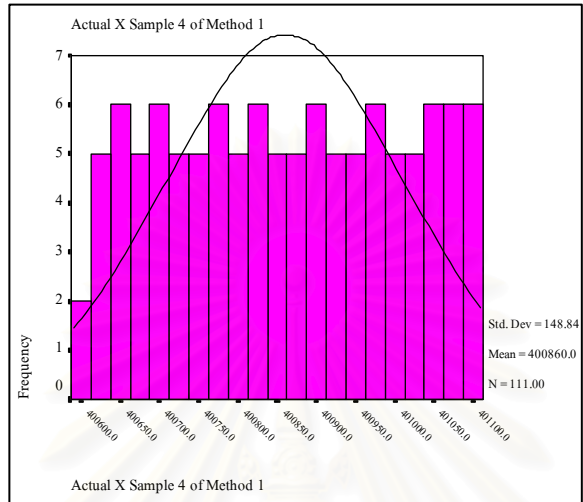


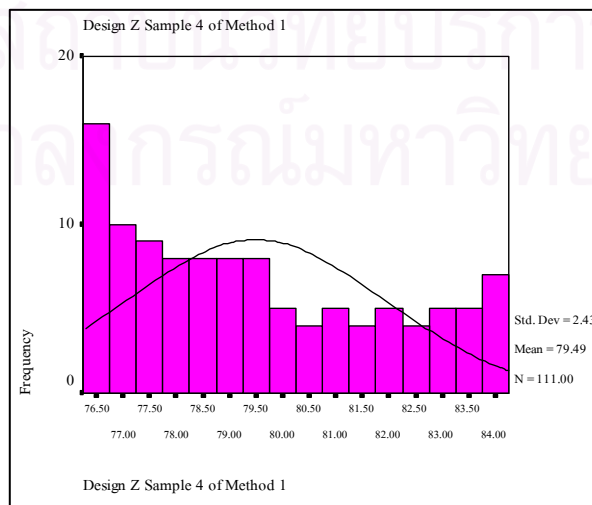
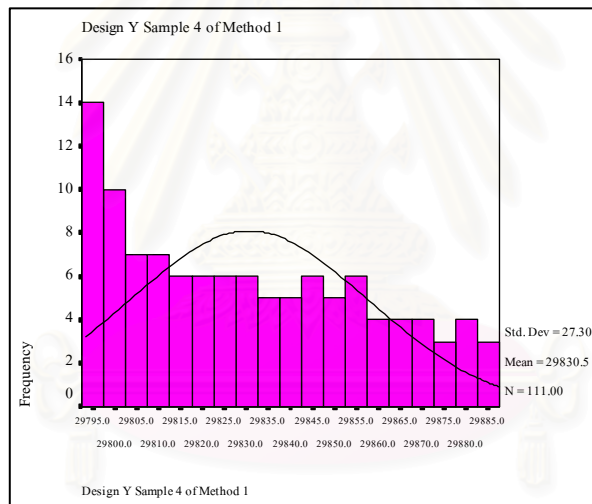
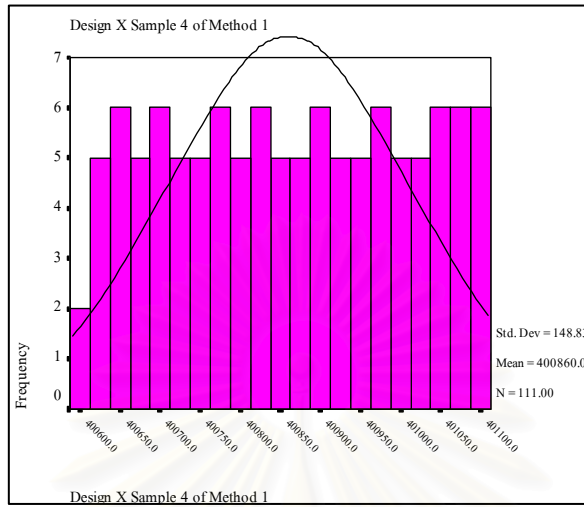
รูปที่ ข.3 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่3 วิธี Laser Theodolite and Target Unit



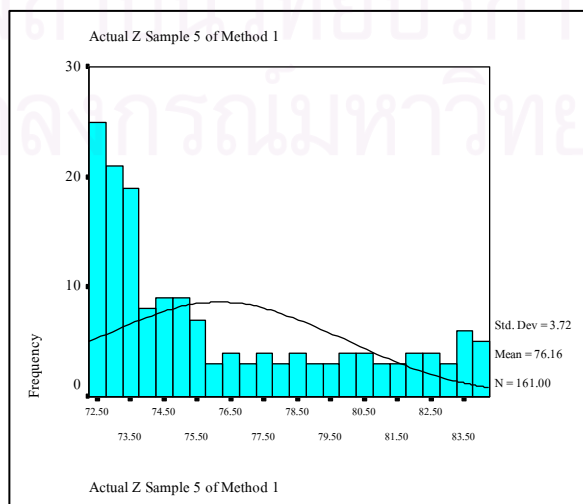
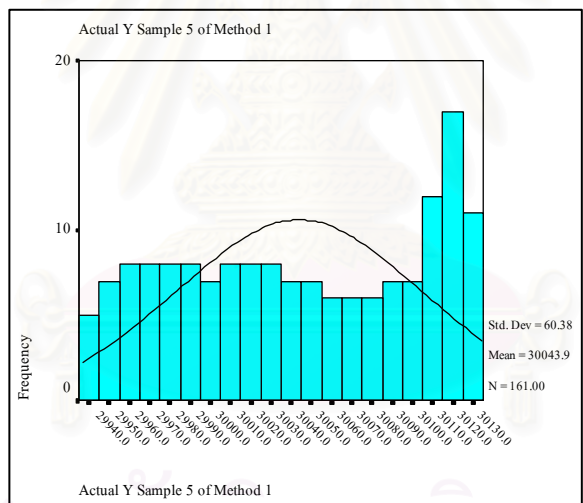
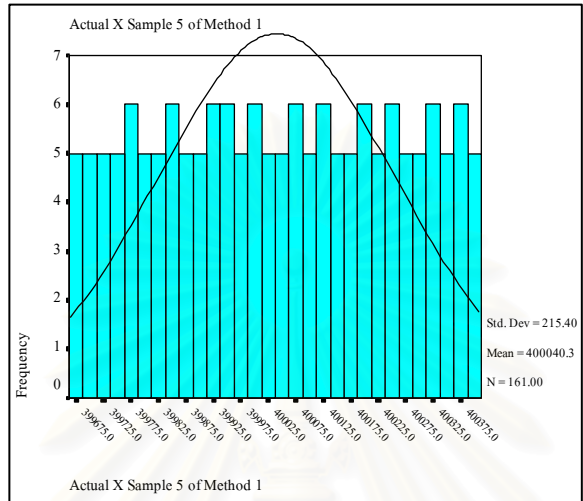


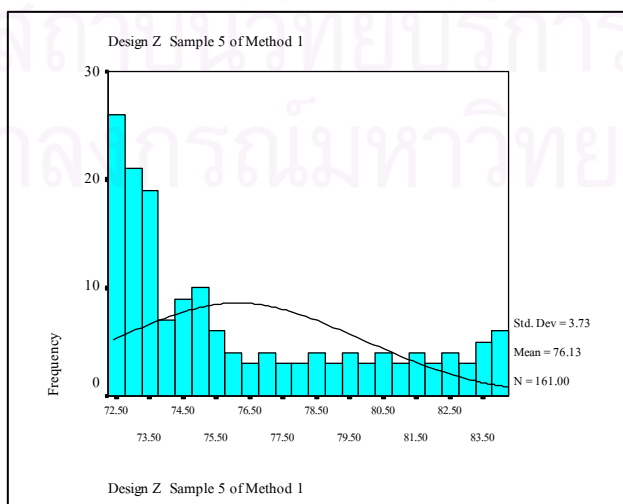
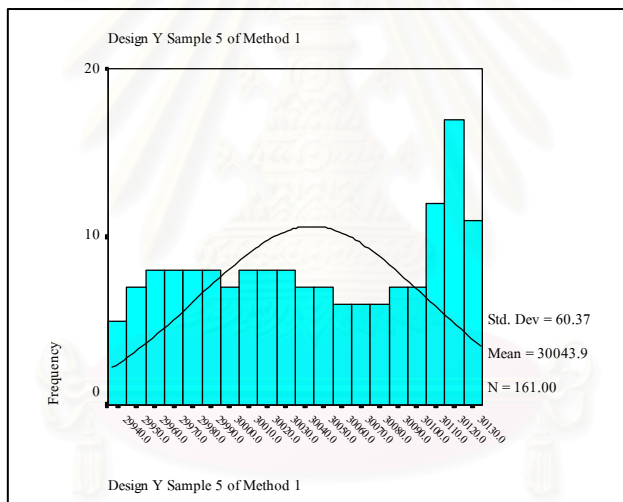
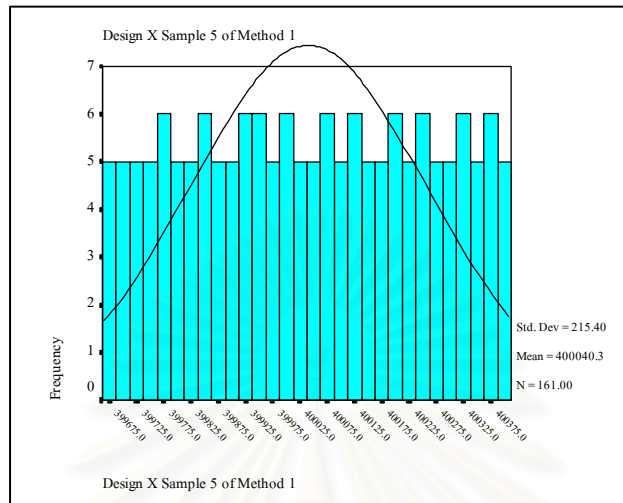
รูปที่ ข.4 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่ 4 วิธี Laser Theodolite and Target Unit



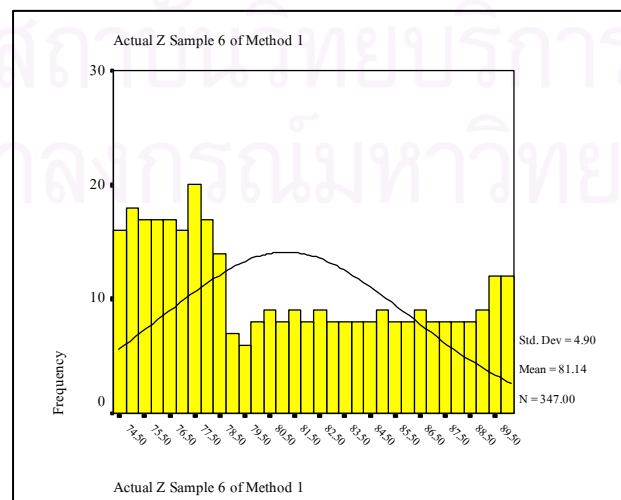
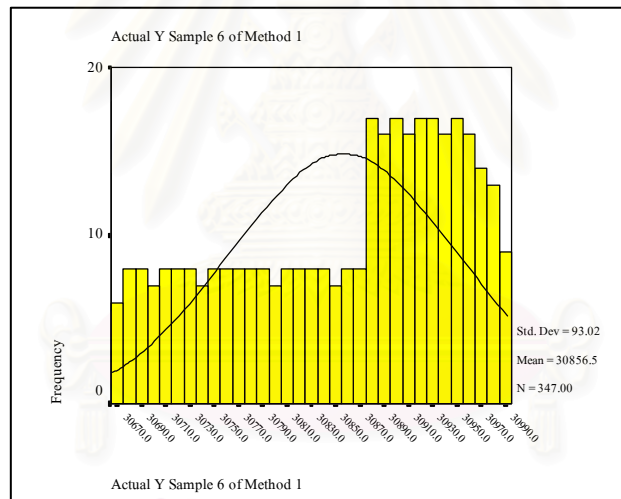
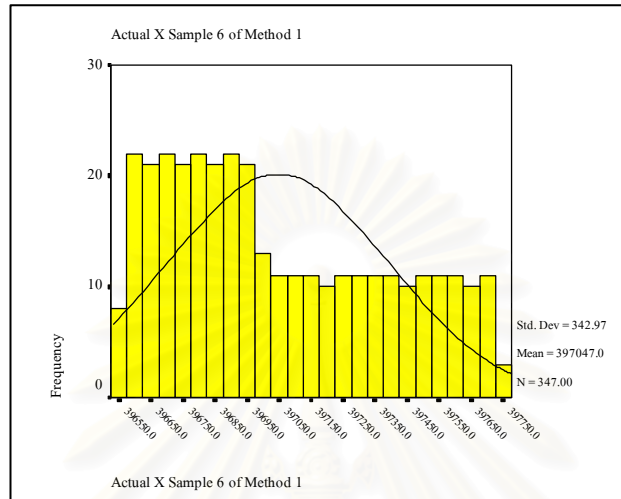


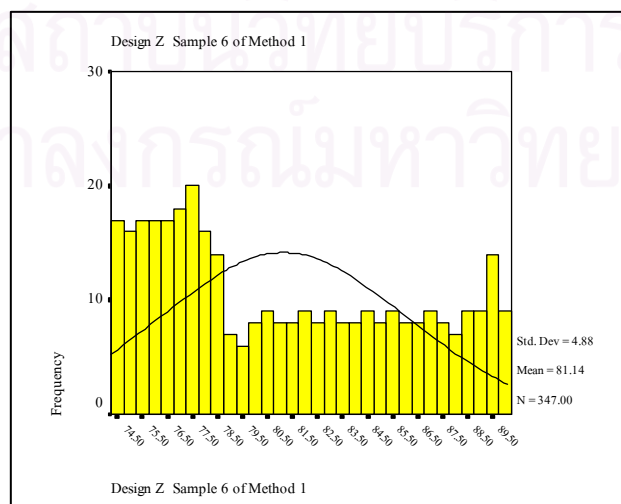
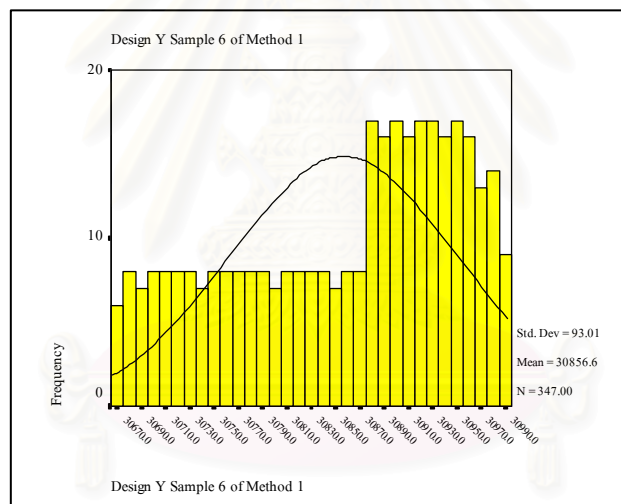
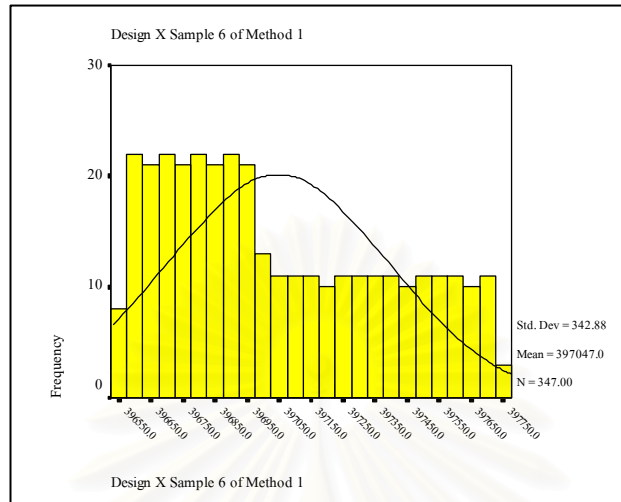
รูปที่ ข.5 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่5 วิธี Laser Theodolite and Target Unit



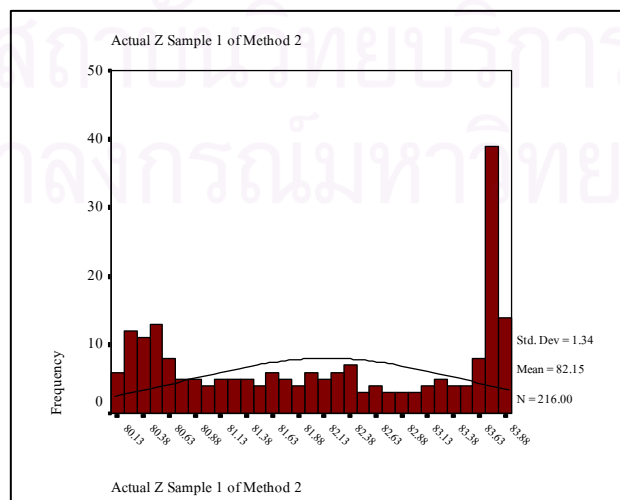
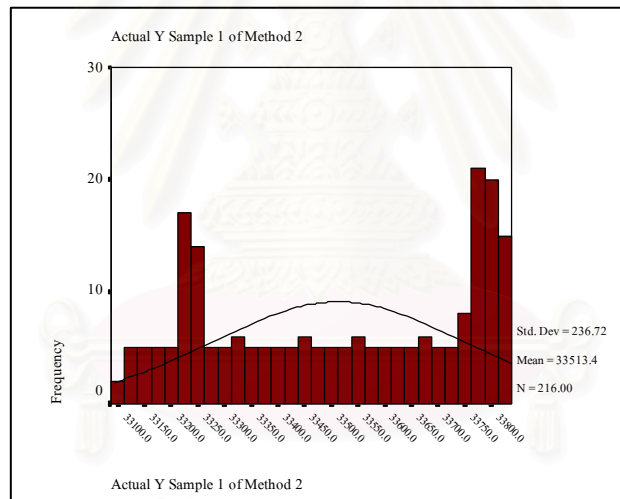
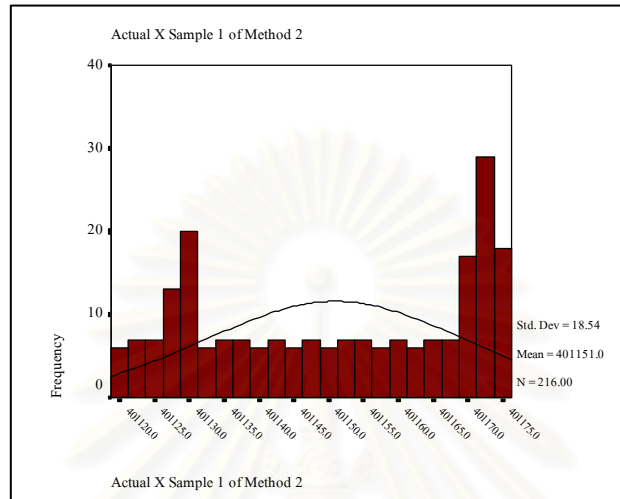


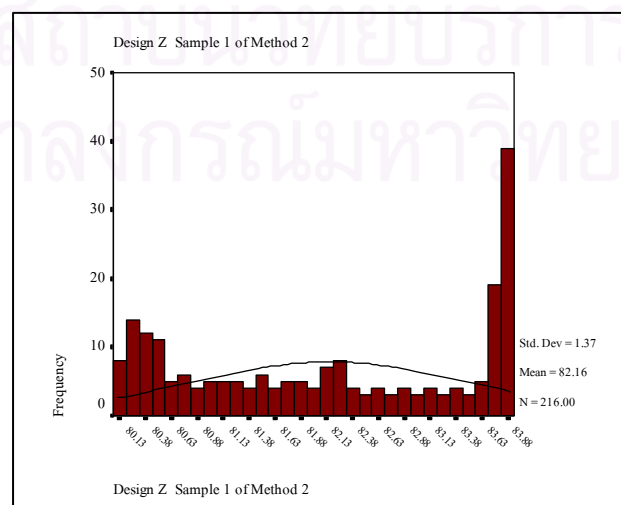
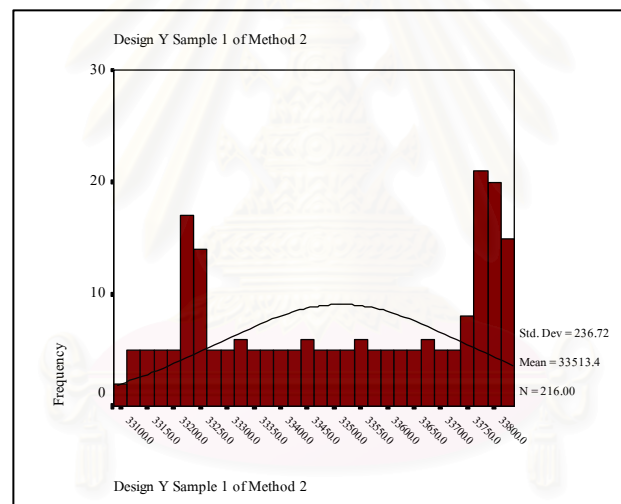
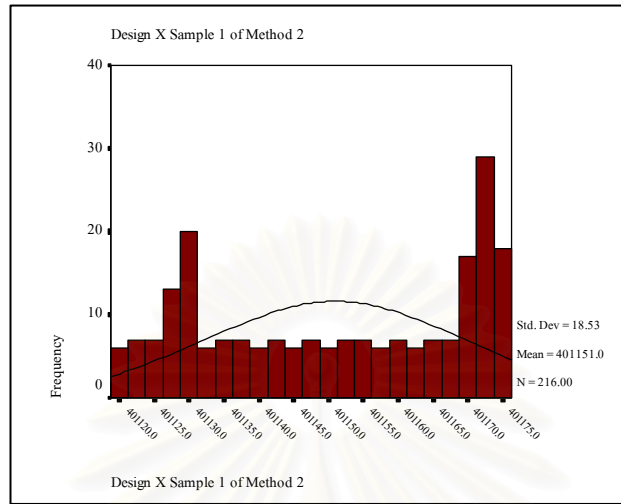
รูปที่ ข.6 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่ 6 วิธี Laser Theodolite and Target Unit



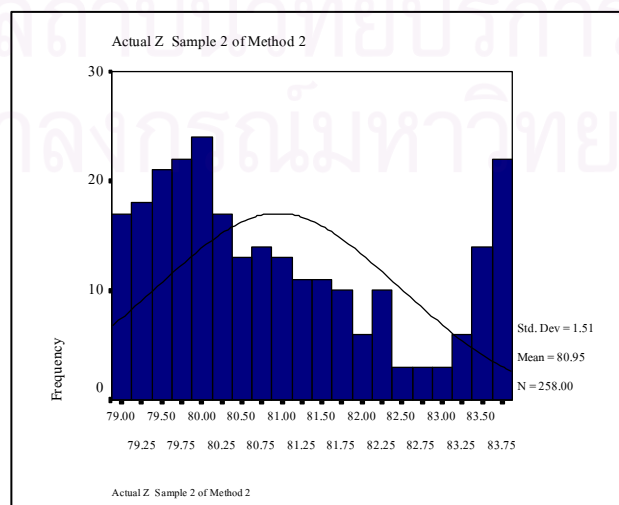
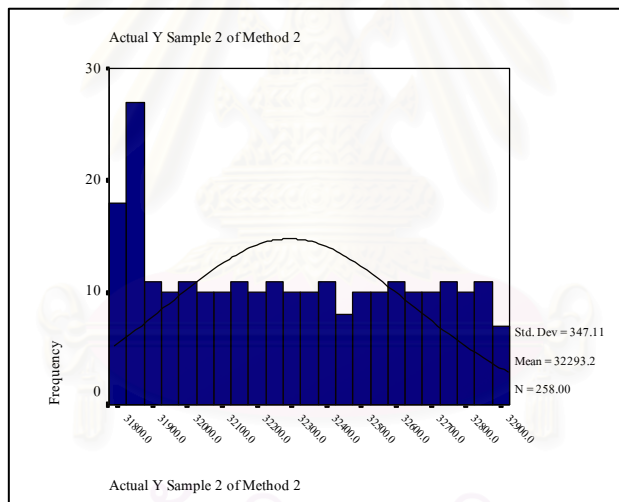
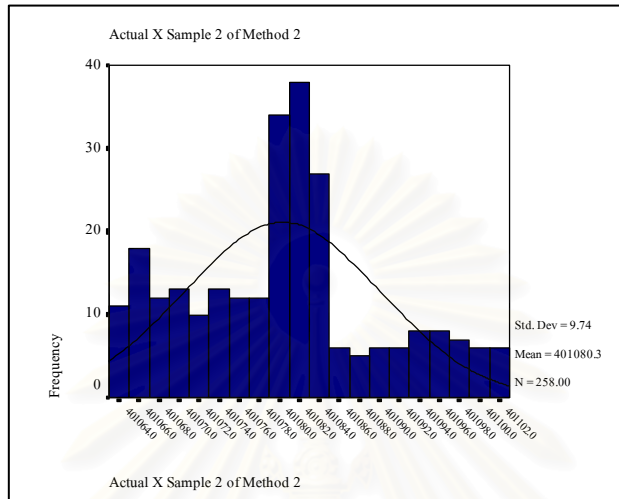


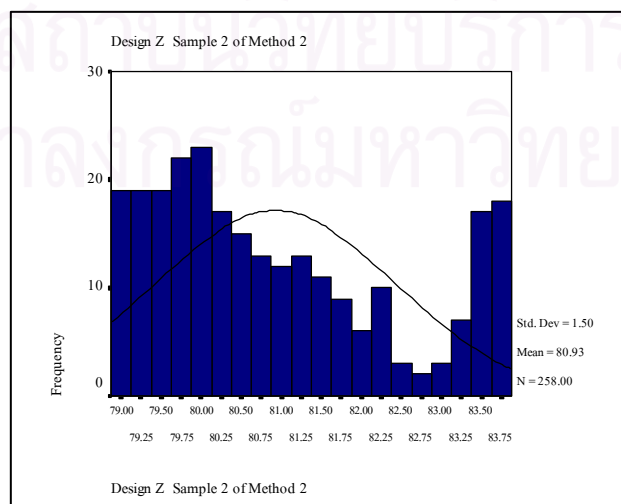
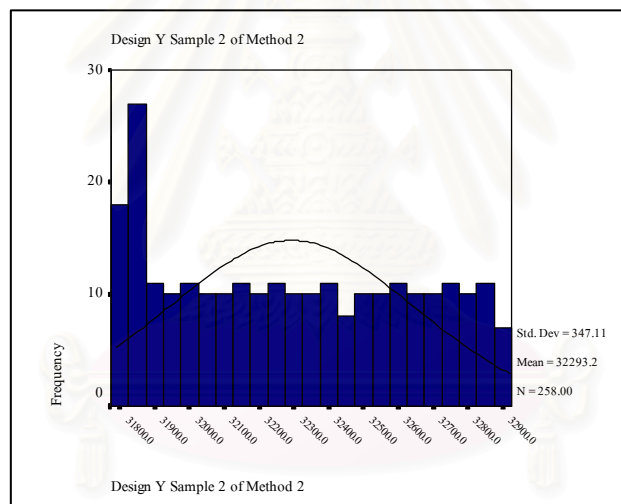
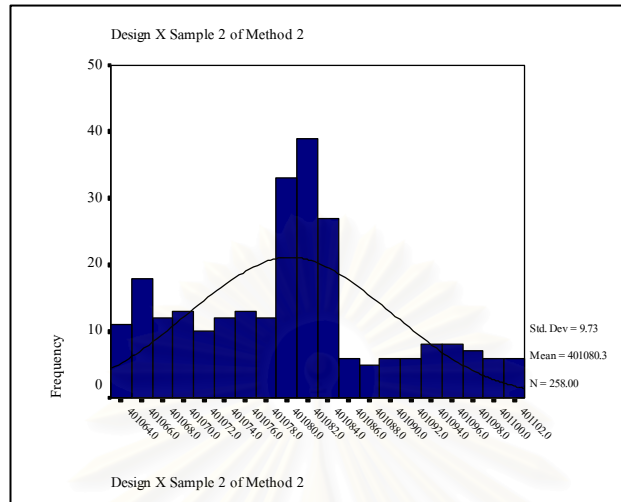
รูปที่ ข.7 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่ 1 วิธี Robotec Survey System



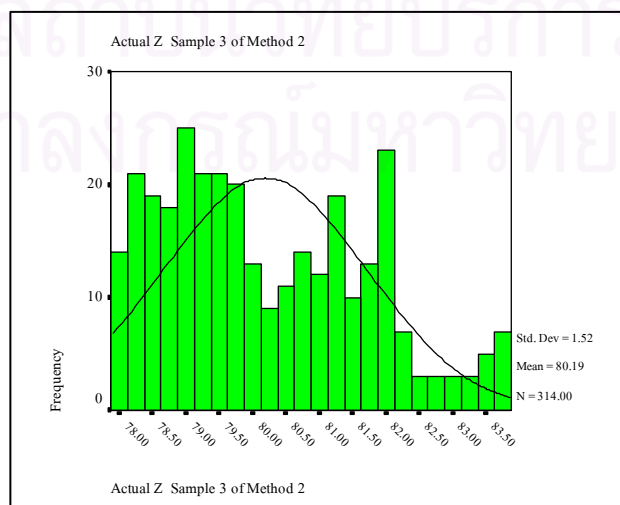
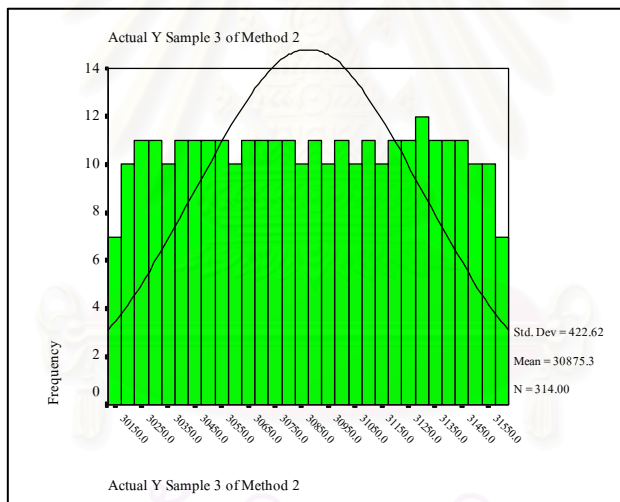
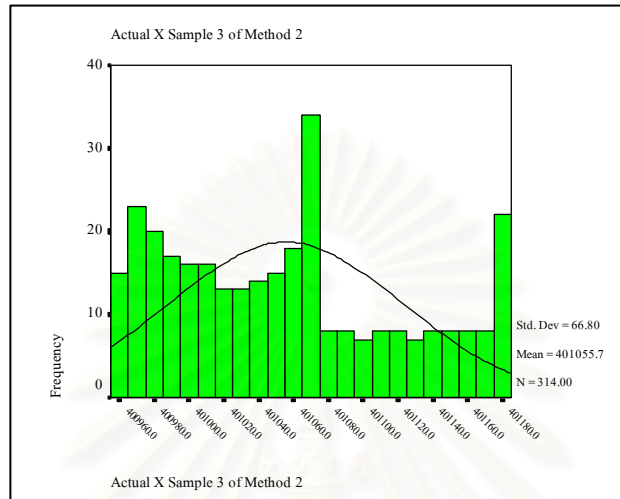


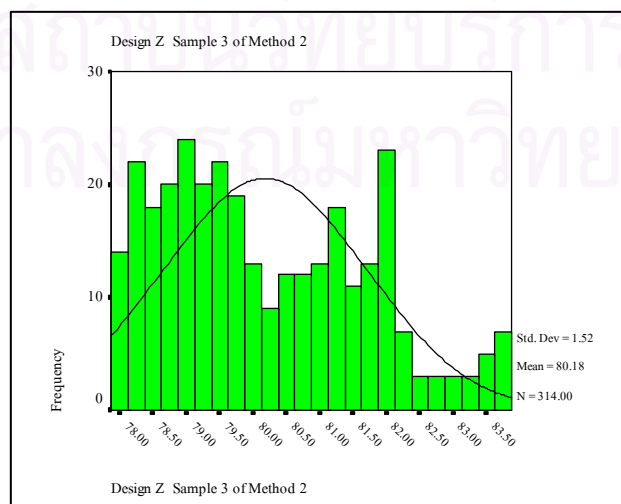
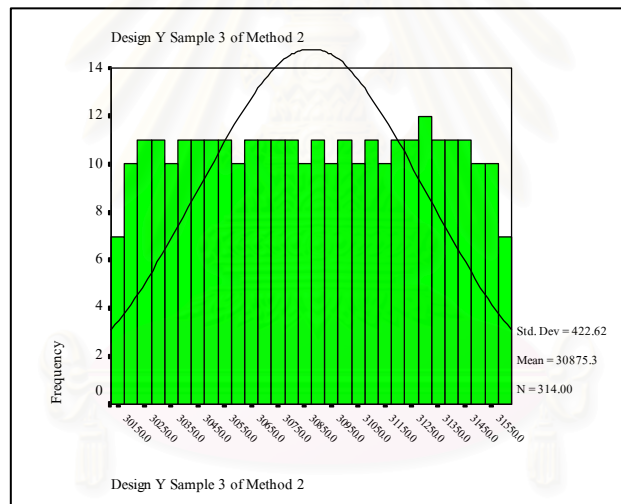
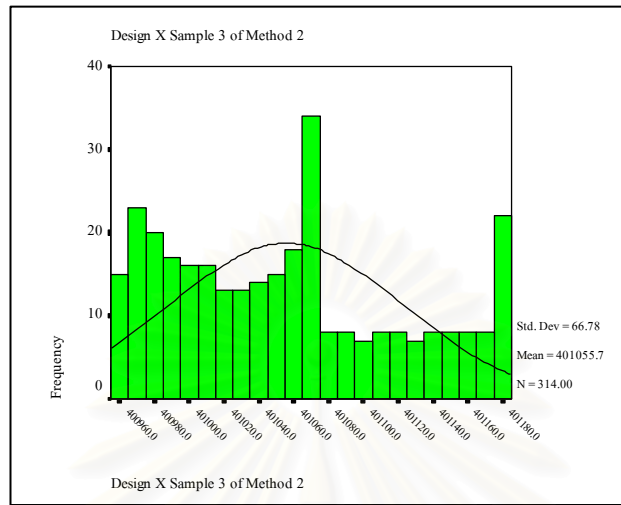
รูปที่ ข.8 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่2 วิธีRobotec Survey System



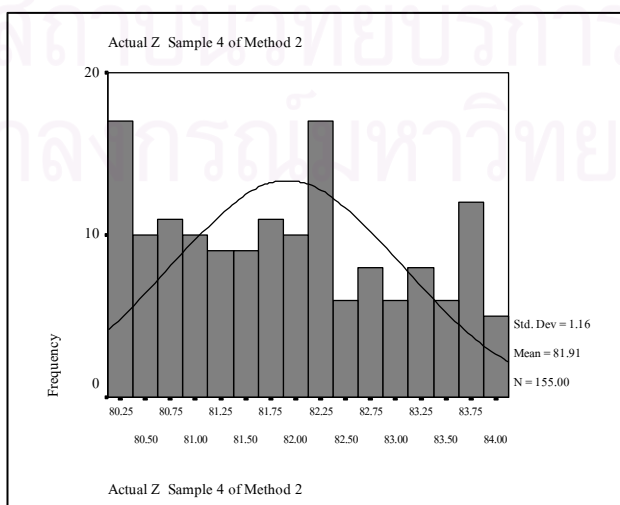
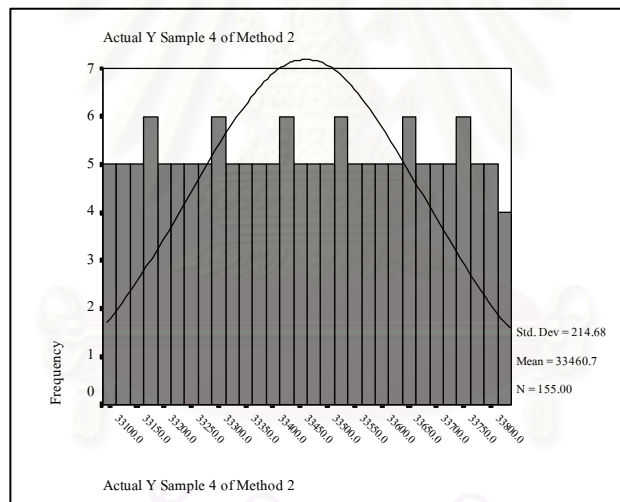
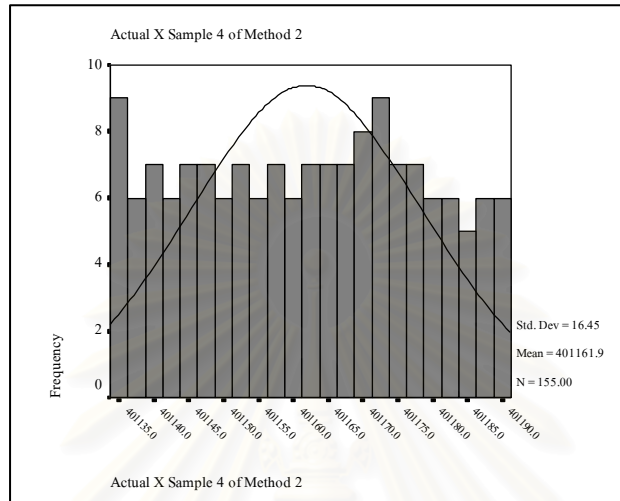


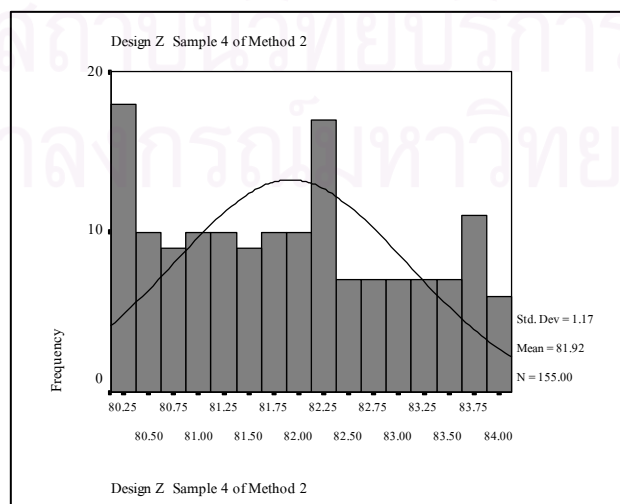
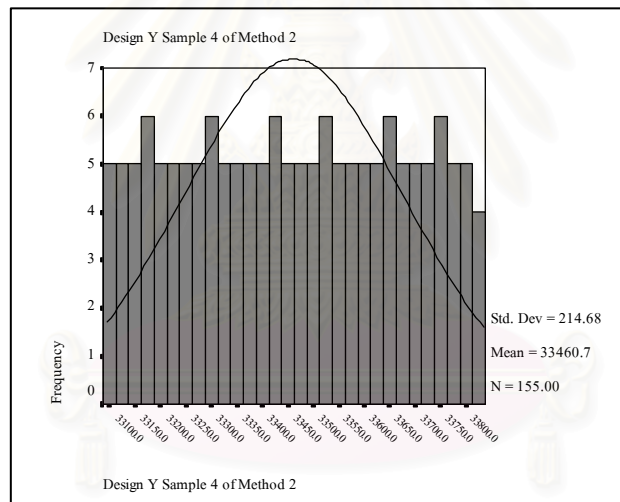
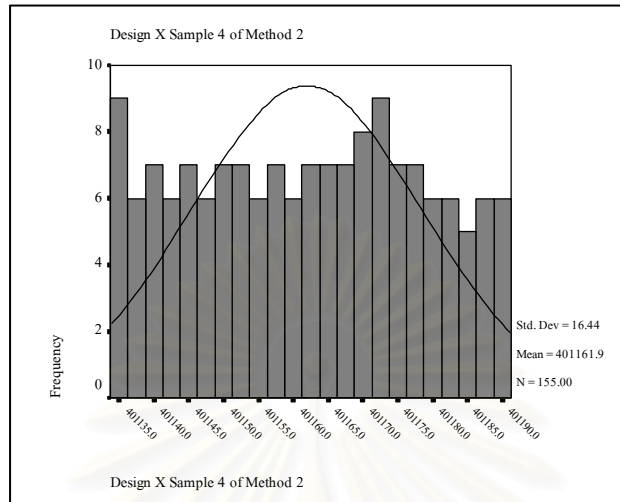
รูปที่ ข.9 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่3 วิธีRobotec Survey System



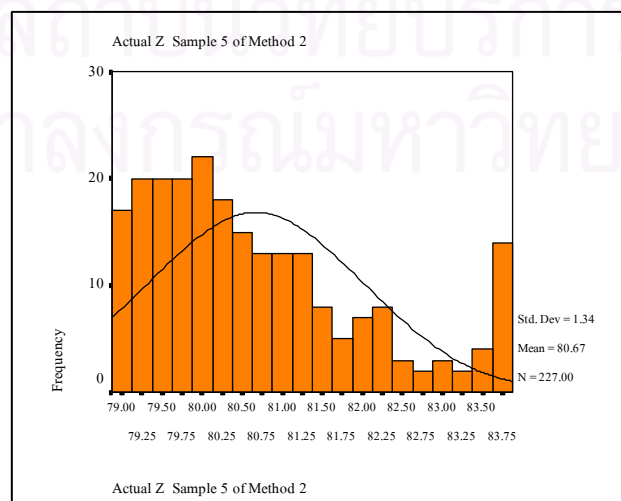
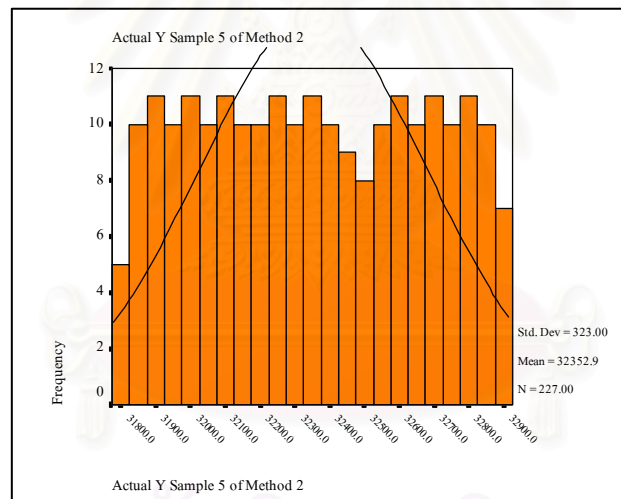
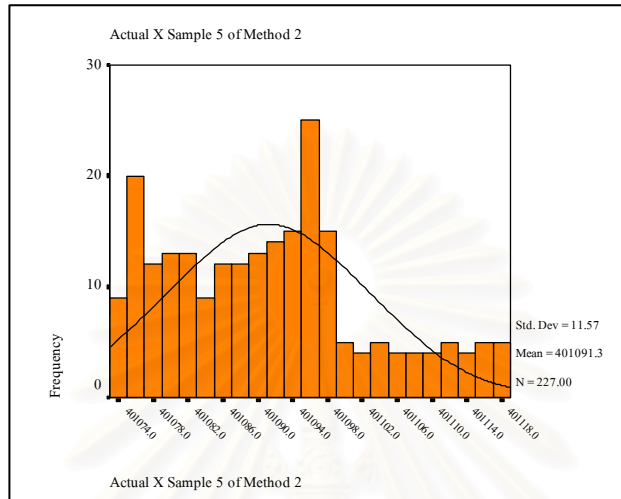


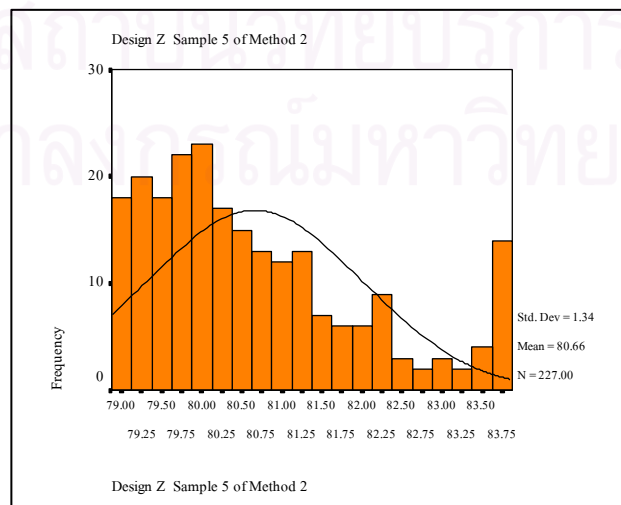
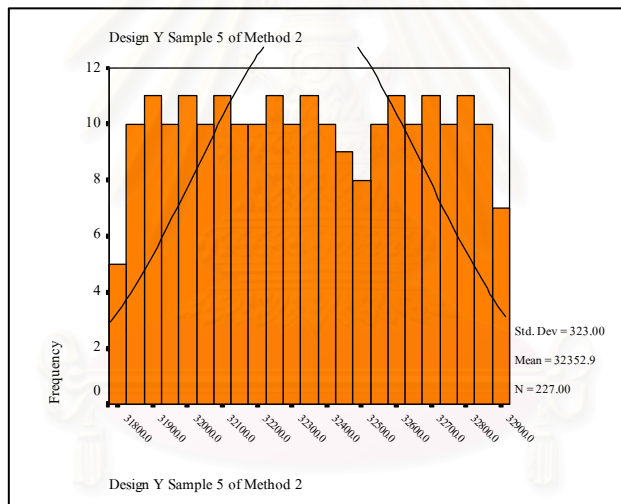
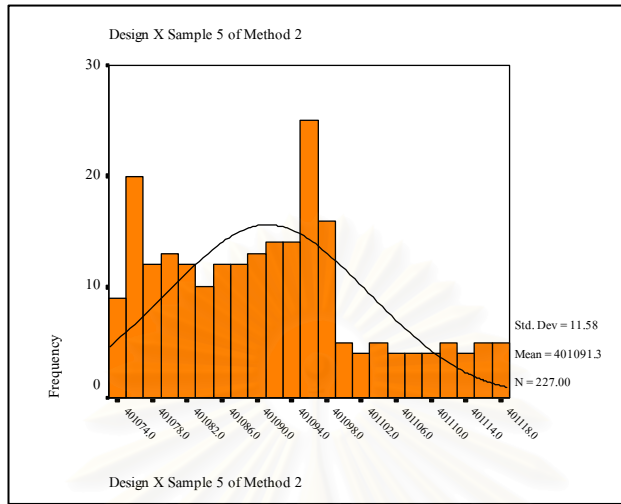
รูปที่ ข.10 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่4 วิธีRobotec Survey System



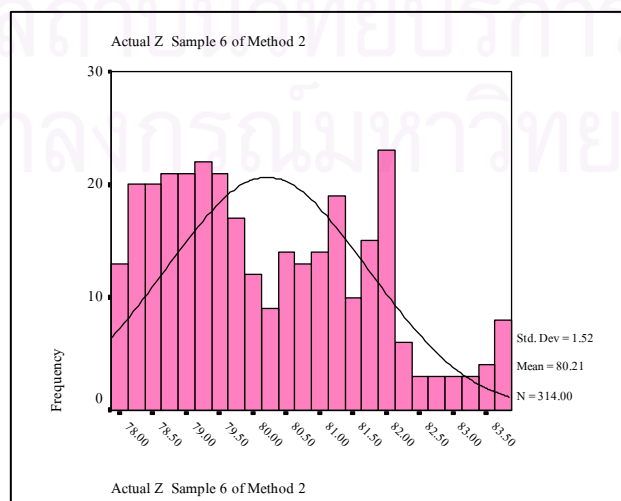
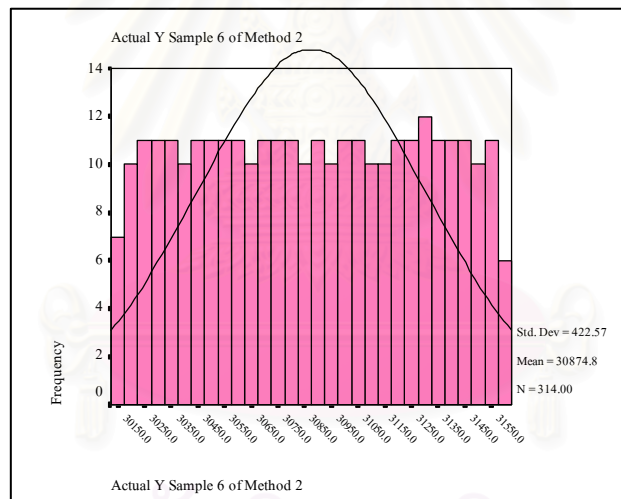
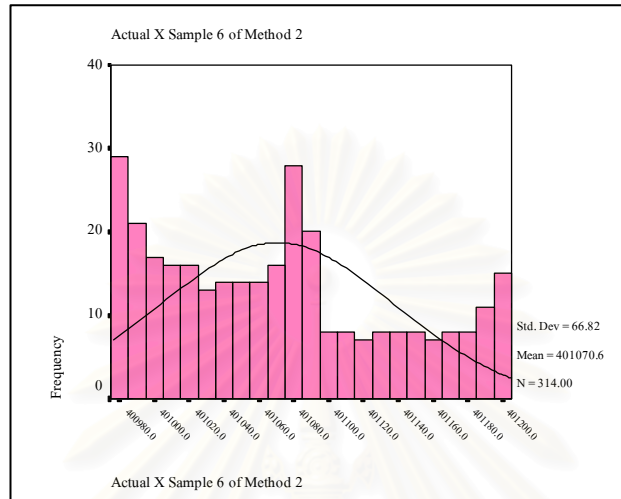


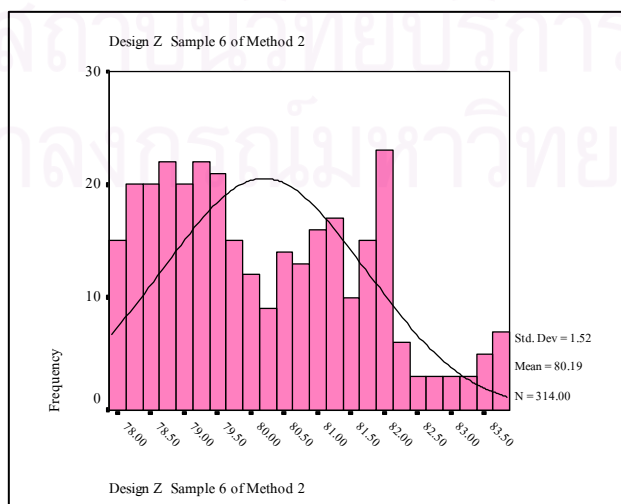
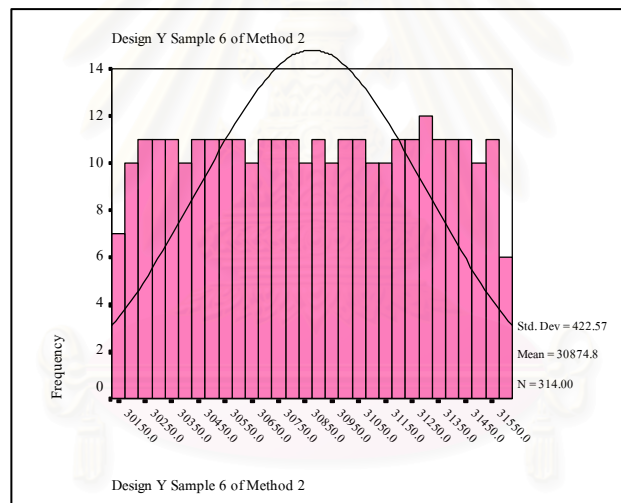
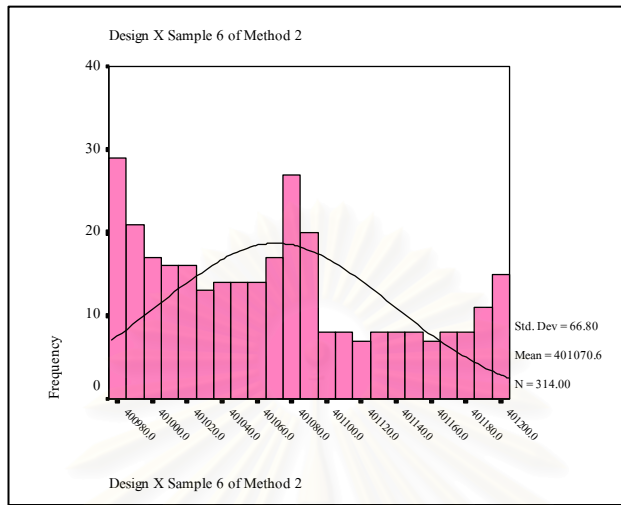
รูปที่ ข.11 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่5 วิธี Robotec Survey System





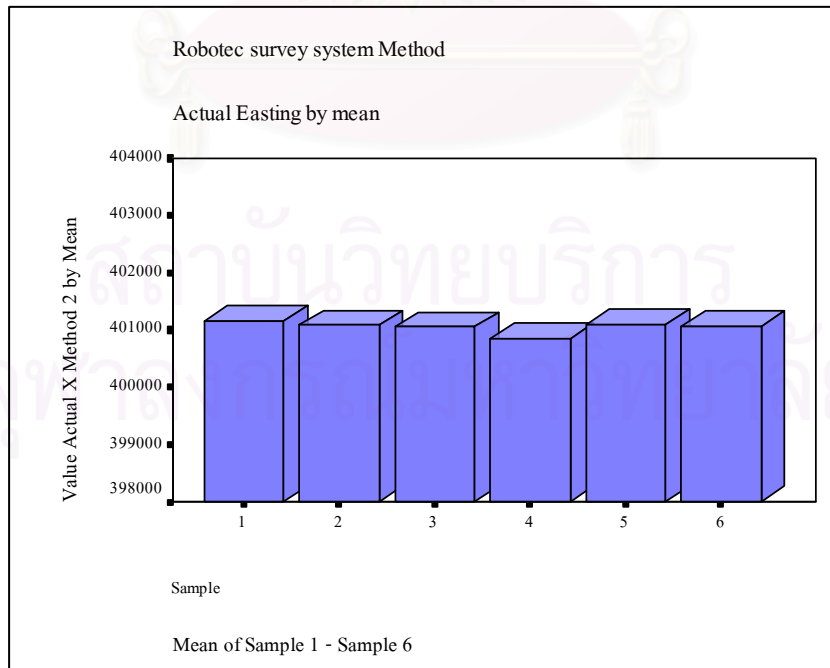
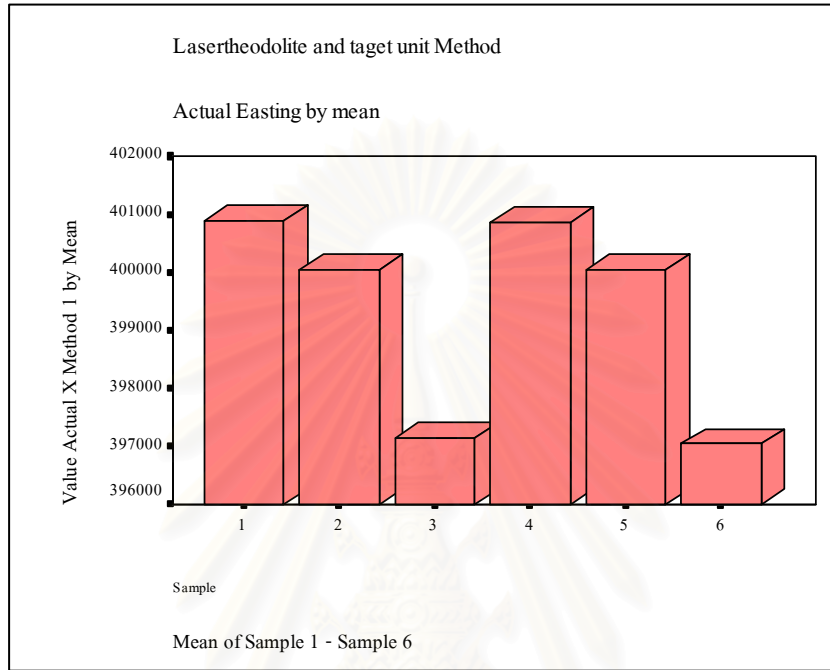
รูปที่ ข.7 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณทางสถิติของ
กลุ่มตัวอย่างที่ 6 วิธี Robotec Survey System



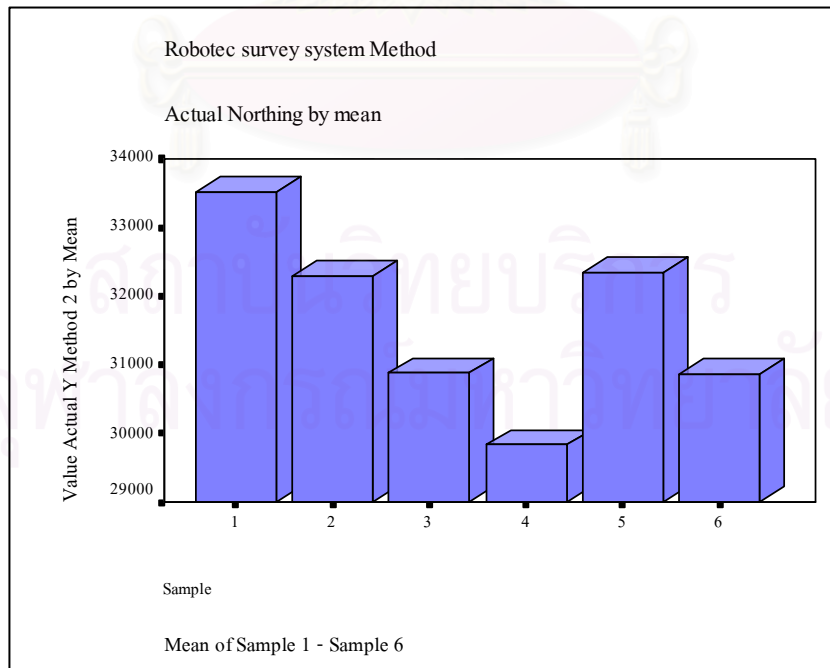
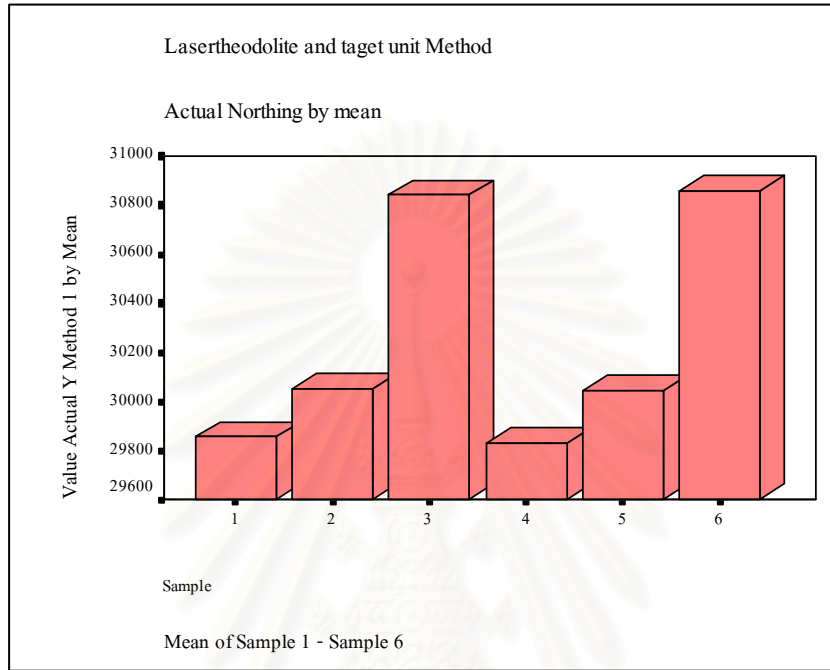


ภาคผนวก ค

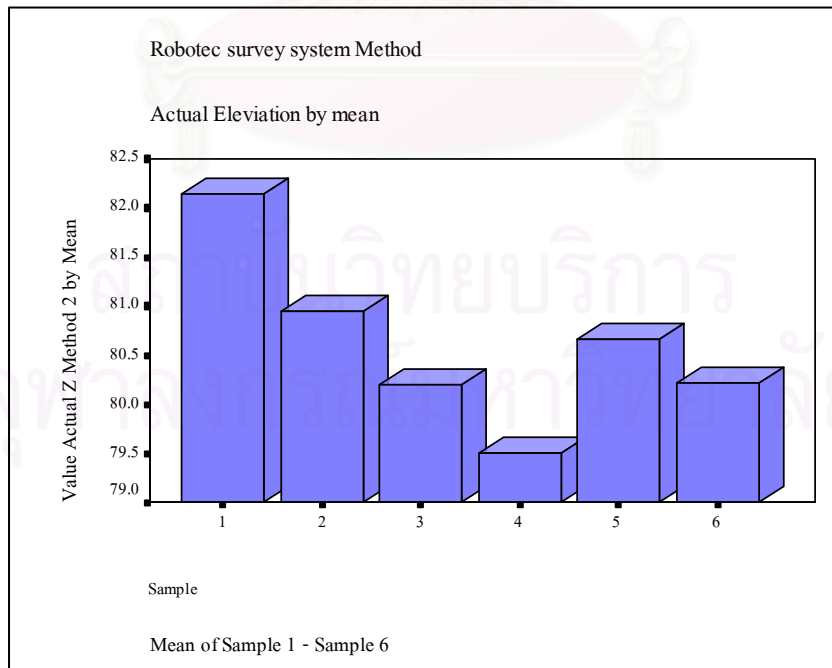
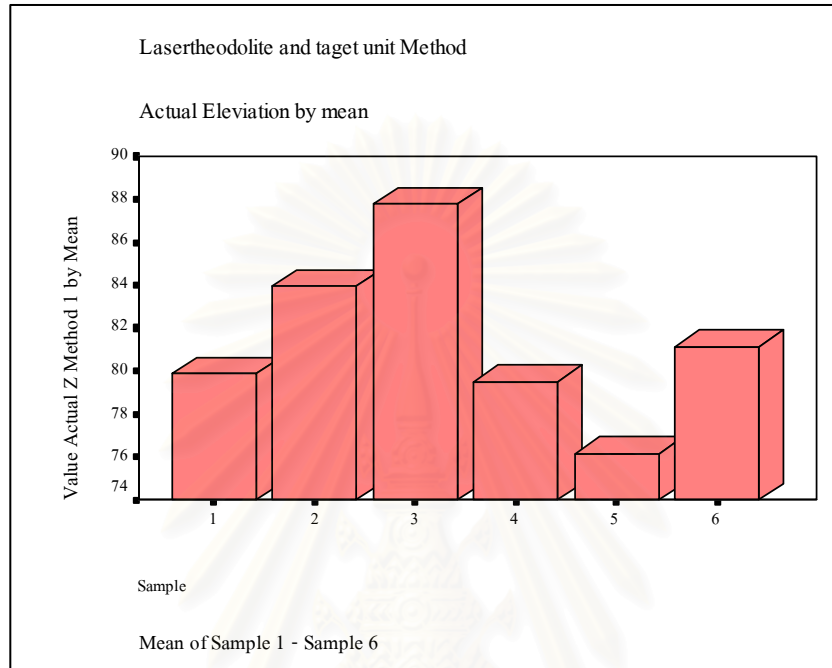
รูปที่ ค.1 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแกน X
วิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System



รูปที่ ค.2 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแกน Y
 วิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System



รูปที่ ค.3 แสดงฮิสโตแกรมของผลการคำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแกน Z
วิธี Laser Theodolite and Target Unit และวิธี Robotec Survey System



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายบารมีนทร์ เจริญพานิช เกิดวันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อปี พ.ศ. 2540 (ทูลพระราชทานพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ) เริ่มทำงานในตำแหน่งวิศวกรโยธา บริษัท ทีคอน จำกัด เมื่อปี พ.ศ. 2541 ปัจจุบันเป็น วิศวกร 4 แผนก วิศวกรรมโครงสร้างสถานี 2 กองบริหารงานก่อสร้าง 2 ฝ่ายก่อสร้าง การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย